

Titre: Caractérisation structurelle des déplacements en transport en commun au regard des données de l'enquête origine-destination et des cartes à puce
Title:

Auteur: Antoine Leroux
Author:

Date: 2017

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Leroux, A. (2017). Caractérisation structurelle des déplacements en transport en commun au regard des données de l'enquête origine-destination et des cartes à puce [Master's thesis, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie.
Citation: <https://publications.polymtl.ca/2585/>

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

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/2585/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Robert Chapleau
Advisors:

Programme: Génie civil
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

CARACTÉRISATION STRUCTURELLE DES DÉPLACEMENTS EN TRANSPORT EN
COMMUN AU REGARD DES DONNÉES DE L'ENQUÊTE ORIGINE-DESTINATION ET
DES CARTES À PUCE

ANTOINE LEROUX

DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

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

JUIN 2017

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

CARACTÉRISATION STRUCTURELLE DES DÉPLACEMENTS EN TRANSPORT EN
COMMUN AU REGARD DES DONNÉES DE L'ENQUÊTE ORIGINE-DESTINATION ET
DES CARTES À PUCE

présenté par : LEROUX Antoine

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

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

M. TRÉPANIÉ Martin, Ph. D., président

M. CHAPLEAU Robert, Ph. D., membre et directeur de recherche

M. SPURR Timothy, Ph. D., membre

REMERCIEMENTS

Tout d’abord, je souhaite remercier le professeur Robert Chapleau, mon directeur de recherche, pour son enseignement et ses connaissances en Transport. Ses réflexions m’ont guidé durant mon projet et me suivront durant toute ma carrière professionnelle. Le groupe MADITUC, et particulièrement Philippe Gaudette, est chaleureusement remercié pour leur aide quant à la réalisation de ce mémoire.

De plus, je voudrais remercier tous les étudiants que j’ai rencontrés durant ces deux années. Leurs échanges ont été bien plus que de simples relations professionnelles. Je souhaite, en particulier, remercier les personnes qui ont partagé mon quotidien au bureau B344. Merci à Stephen, Astrid, Laurence, Arnould, Nico, Samuel, Élodie et bien d’autres ...

Enfin, le dernier mot revient à ma famille sans qui tout cela n’aurait pas été possible. Merci à mes parents de m’avoir permis de réaliser cette aventure et merci à mon frère Maxime pour l’ensemble de ces précieux conseils.

RÉSUMÉ

La collecte passive des informations constitue une des pistes d'avenir dans l'optique d'une meilleure connaissance et opérationnalité des systèmes de transport, relativement à des données récoltées manuellement. Ces données de grande quantité et de faible coût sont de plus en plus répandues, notamment au travers des données de cartes à puce dans les Autorités Organisatrices de Transport. Elles sont une prodigieuse opportunité de mieux caractériser la demande en Transport en Commun. Le traitement et l'intégration de ces données constituent un important défi.

Ce projet vise à étudier les structures spatio-temporelles des déplacements des usagers du Transport en Commun. C'est également l'occasion de comparer les données de l'enquête Origine-Destination avec celles de cartes à puce. D'une part, l'enquête Origine-Destination est une enquête téléphonique faite tous les cinq ans à Montréal basée essentiellement sur les ménages, les personnes et les déplacements. D'autre part, les données de cartes à puce offrent des enregistrements très précis fondés sur la notion de transaction. L'étude explore les biais engendrés par l'enquête Origine-Destination, source de données utilisée pour la planification des transports à l'heure actuelle.

Les analyses se basent sur deux ensembles de données. L'extrait de l'enquête Origine-Destination de Montréal de 2013 contient l'ensemble des déplacements en TC sur la Grande Région de Montréal avec les différents moyens de transport (métro, bus et train). Il possède les déplacements uniquement faits en TC et les déplacements bimodaux qui possèdent au moins un tronçon en TC (Park-and-Ride, Kiss-and-Ride et Autre, notamment le vélo). 29 122 personnes ont été enquêtées en 2013 pour un total de près 724 000 personnes après pondération. Ces personnes ont réalisé 59 088 déplacements en TC (environ 1 475 000 déplacements après pondération). Les données de Cartes à puce contiennent l'intégralité des transactions du jeudi 24 octobre 2013, soit près de 2 millions de transactions. Après reconstitution des déplacements à l'aide de 3 critères, l'ensemble comprend environ 1,4 million de déplacements après traitement. Environ 703 000 titres différents ont été utilisés ce jour-là.

Tout d'abord, l'étude s'intéresse aux déplacements des usagers du Transport en Commun à travers l'enquête Origine-Destination de Montréal de 2013. Elle caractérise la demande (distribution temporelle, usagers uniques au Transport en Commun ou utilisateurs de déplacements bimodaux, à savoir le Park-and-Ride et le Kiss-and-Ride). L'enquête Origine-Destination dispose de

l'ensemble des lignes de Transport en Commun empruntées par les usagers. Ces lignes sont obtenues à la suite de diverses méthodes (de validation, de détermination d'accès au réseau et de simulation d'itinéraire) qui permettent, à partir d'un itinéraire déclaré, d'obtenir un itinéraire décrit. L'étude donne donc l'occasion de spécifier les déplacements en TC selon les Autorités Organisatrices de Transport. Les Autorités Organisatrices de Transports sont agrégées selon le moyen de transport (métro, train ou bus) et le territoire desservi. L'étude révèle que le réseau structurant du Grand Montréal (métro et train) est déterminant dans les structures des déplacements. Le métro est aussi bien utilisé comme mode unique (25% des déplacements en TC sont uniquement effectués en métro), ou comme combinaison d'autres Autorités Organisatrices de Transports (30% des déplacements en TC combinent un tronçon en métro et un tronçon avec une autre Autorité Organisatrice de Transports). L'étude analyse donc les entrées dans le métro et permet d'explorer le rôle des stations et leur influence sur les structures de déplacements. Les stations en périphérie sont principalement atteintes par bus alors que les stations en centre-ville se caractérisent par une très grande majorité d'entrées faites à pied. Enfin, les déplacements sont rarement faits de façon aléatoire. L'étude caractérise, ainsi, les systèmes d'activités selon divers facteurs tels que le nombre de déplacements, le motif des activités, la durée des activités et par les Autorités Organisatrices de Transport prises sur l'ensemble d'une journée.

Dans la seconde partie, l'étude s'attarde à traiter les cartes à puce et à comparer les résultats obtenus avec l'enquête Origine-Destination. La demande en transport d'un point de vue global met en évidence une surestimation des déplacements faits en période de pointe (+18% de déplacements en TC) et une sous-estimation lors de la période hors pointe (-17%) à travers l'enquête Origine-Destination. L'étude des titres révèle un nombre de titres unitaires bien supérieur dans les données de Cartes à puce (+79 000 titres) et un nombre de déplacements par titre bien inférieur (1,36 contre 1,84 dans l'Enquête Origine-Destination). Ainsi, les personnes utilisent plusieurs titres unitaires lors d'une même journée. Les personnes possédant un titre forfaitaire sont surestimées (+69 000 personnes) dans l'Enquête OD, mais avec une mobilité sous-estimée (2,28 contre 2,08 dans l'Enquête OD).

Ce projet permet donc de confirmer les biais de l'Enquête OD à l'échelle métropolitaine (surestimation de la population francophone utilisant le TC, inégalités temporelles, faible précision temporelle des déplacements, informations manquantes concernant le trajet en Transport en Commun, etc.). Il permet également de confirmer les avantages des cartes à puce (intégralité des

transactions, précision des heures de transactions, etc.) et leurs inconvénients (manque de connaissance de certaines catégories d’usagers notamment les usagers aux déplacements bimodaux et les usagers du train, variabilité des journées). Ce projet est ainsi une première étape dans une possible future fusion des deux ensembles de données pour enrichir et compléter les modèles de micro-simulation basés sur les Enquêtes OD.

ABSTRACT

The passive collection of information is one of the avenues of the future with a view to improve knowledge and operationality of transport systems in the face of data collected manually. These massive quantities of data at a low cost are increasingly widespread, especially through smart card data within the public transport authorities. They are an excellent opportunity to better characterize the demand for public transport. Processing and integrating these kinds of data is an important challenge.

The aim of this project is to study the spatial and temporal structures of public transport users' trips. It is also an opportunity to compare Origin-Destination survey data with smart card data. On the one hand, the Origin-Destination survey is a telephone survey conducted every five years in Montreal, focusing on household characteristics, people and travels. On the other hand, smart card data offers very precise records based on the concept of transaction. The study explores the biases generated by the Origin-Destination survey, which contains the data used for transport planning by the current transit agencies.

The analyses are based on two sets of data. The dataset extracted from the Montreal Origin-Destination survey of 2013 contains all the public transit trips in the Greater Montreal area using various means of transport (metro, bus and train). The dataset contains trips exclusively made using public transit and bimodal trips with at least one public transit stretch (Park-and-Ride, Kiss-and-Ride and Other, including cycling). 29 122 people were surveyed in 2013 for a total of nearly 724,000 people weighted. These individuals completed 59 088 trips using Public Transport (approximately 1 475 000 post-weighted trips). The smart card data contains all transactions from Thursday, October 24, 2013, which equates to almost 2 million transactions. After reconstructing trips using 3 criteria, the set includes about 1,4 million trips after treatment. Approximately 703 000 different transport tickets were used that day.

Firstly, the study looks at public transit travel through the Origin-Destination survey of Montreal conducted in 2013. It characterizes demand (temporal distribution, users who are unique to public transit or users of bimodal trips, namely the Park-and-Ride and the Kiss-and-Ride modes). The Origin-Destination survey contains all the Public Transport routes used by commuters. These routes are obtained following various methods (validation, determination of access to the network and route simulation), in order to obtain a described itinerary, from a declared one. The study is

the occasion to provide a description of public transit-based trips according to public transport authorities. The latter have been aggregated according to the mode of transport (metro, train or bus) and covered by their transit network. The study reveals that the structuring network of the Greater Montreal (metro and train) is decisive in trip structures. The metro is also used as a single mode (25% of public transport trips are made only by metro), or as a combination of other public transport authorities (30% of public transport trips combine metro use with a stretch pertaining to another public transport authority). The study therefore analyzes the metro boardings and allows for an exploration into the role of the stations and their influence on the structures of trips. Stations located in outskirts are mainly reached by bus, while downtown stations are characterized by a large majority of pedestrian boardings. Finally, the study characterizes the activity systems according to various factors such as the number of trips, the reason for the activities, the duration of activities and the public transport authority used over a whole day.

In the second part, the study focuses on processing smart cards and comparing the results obtained with the Origin-Destination survey. Demand for transport from a global perspective has shown an overestimation of peak travel (+18% of trips) and an underestimation during the off-peak period (-17%) of the Origin-Destination survey. The study of transport tickets shows a much higher number of single one-way tickets in smart card data (+79 000 tickets) and a much lower number of trips per ticket (1.36 versus 1.84 in the Origin-Destination Survey). Thus, people use several single one-way tickets on the same day. People with a standard pass are overestimated (+69 000 people) in the Origin-Destination Survey but with an underestimated mobility (2.28 trips per person versus 2.08 in the OD Survey).

This project allows us to confirm the bias of the OD survey at the metropolitan level (overestimation of the French-speaking population using public transit, temporal inequalities, low temporal accuracy of trips, missing information concerning the transit route, etc.). It also makes it possible to confirm the advantages of smart cards (entire set of transactions, accuracy of transaction times, etc.) and their disadvantages (lack of knowledge of certain categories of users, in particular bimodal users and train users, variability according to the day of the week). This project is therefore a first step in a possible future fusion of these two datasets, to broaden and complement the micro-simulation models based on the Origin-Destination Surveys.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	III
RÉSUMÉ.....	IV
ABSTRACT	VII
TABLE DES MATIÈRES	IX
LISTE DES TABLEAUX.....	XII
LISTE DES FIGURES.....	XIV
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XVII
LISTE DES ANNEXES.....	XVIII
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Contexte et problématique	1
1.1.1 La redistribution des tarifs intégrés	1
1.1.2 Connexions entre les systèmes de transport (intermodalité).....	2
1.2 Objet d'étude	3
1.2.1 Objectifs du projet.....	3
1.2.2 Zone d'étude et données disponibles	4
1.3 Contenu et structure du mémoire	4
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE	6
2.1 Les enquêtes Origine-Destination et les cartes à puce	6
2.1.1 Les enquêtes Origine-Destination	6
2.1.2 Les cartes à puce	9
2.2 Confrontation entre Enquête Origine-Destination et Cartes à puce.....	12
2.2.1 Comparaison structurelle entre les EOD et des CAP.....	12
2.2.2 Avantages et limites des EOD et des CAP.....	14

2.2.3	Études comparant EOD et CAP	15
2.2.4	Enrichissement des données de CAP	17
2.3	La structure des déplacements (systèmes d'activités).....	17
2.3.1	Concepts et définitions	18
2.3.2	Catégorisation des chaînes	19
2.3.3	Résultats de différentes études	21
CHAPITRE 3	MÉTHODOLOGIE	25
3.1	Le lieu d'étude.....	25
3.1.1	Le territoire et les différentes entités administratives	25
3.1.2	Le système de transport en commun	26
3.2	Les données	31
3.2.1	Les enquêtes Origine-Destination	31
3.2.2	Les données de cartes à puce.....	35
3.3	Méthodologie de traitement	36
CHAPITRE 4	EXPLORATION ET TRAITEMENT DES DONNÉES DE L'ENQUÊTE ORIGINE-DESTINATION	38
4.1	La situation actuelle à travers l'Enquête Origine-Destination de 2013	38
4.1.1	Les systèmes d'activités	38
4.1.2	Caractéristiques d'un déplacement à travers l'Enquête Origine-Destination	54
4.1.3	Le réseau structurant	67
4.2	Les évolutions entre 2008 et 2013.....	78
4.2.1	La demande en transport	79
4.2.2	Caractéristiques d'un déplacement.....	80
4.2.3	Le réseau structurant : le métro	83
CHAPITRE 5	COMPARAISON DES RÉSULTATS À L'AIDE DES CARTES À PUCE ...	85

5.1	Les systèmes d'activités	85
5.1.1	Les titres utilisés	86
5.1.2	Le nombre de déplacements	87
5.1.3	La distribution temporelle	89
5.1.4	Les durées d'activités	92
5.2	Caractéristiques d'un déplacement.....	94
5.2.1	La séquence des entités	94
5.2.2	Les correspondances	99
5.3	Le réseau structurant	100
5.3.1	L'accès aux stations de métro	100
CHAPITRE 6 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS		106
6.1	Résultats et contributions	106
6.1.1	Portrait de mobilité grâce aux données d'EOD.....	106
6.1.2	Confrontation avec les données de CAP	107
6.2	Perspectives	108
6.2.1	Limites	108
6.2.2	Fusionner les deux ensembles	109
6.2.3	Incidences sur le système tarifaire	110
BIBLIOGRAPHIE		111
ANNEXES		116

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Comparaison des caractéristiques des données des EOD et de CAP à Montréal (adapté de (Spurr, 2015))	13
Tableau 2.2 : Avantages et inconvénients des CAP	15
Tableau 2.3 : Description des chaînes	21
Tableau 2.4 : Nombre moyen d'activités par chaîne selon l'activité (Primerano et al., 2007)	23
Tableau 3.1 : Correspondance entre les entités et les abréviations	29
Tableau 3.2 : Mode de transport présent dans l'EOD 2013	33
Tableau 3.3 : Correspondance entre le mode de transport issu de l'EOD et les modes empruntées	34
Tableau 4.1 : Répartition des titres	40
Tableau 4.2 : Caractérisation des systèmes d'activités selon le nombre de déplacements par personne	43
Tableau 4.3 : Motifs de déplacements des systèmes d'activités	46
Tableau 4.4 : Matrice d'activité	50
Tableau 4.5 : Structures les plus utilisées selon les entités prises	53
Tableau 4.6 : Symétrie des structures de déplacements	53
Tableau 4.7 : Nombre de transactions selon l'entité	57
Tableau 4.8 : Séquences des déplacements avec une ou deux entités	64
Tableau 4.9 : Nombre de correspondances par déplacement	65
Tableau 4.10 : Nombre de correspondances (avec prise en compte des lignes de métro)	66
Tableau 4.11 : Évolution des modes de TC	80
Tableau 4.12 : Évolution du nombre de correspondances	83
Tableau 5.1 : Répartition des personnes et des déplacements par titre avec les CAP	86
Tableau 5.2 : Variation du nombre de transactions entre EOD et CAP	94

Tableau 5.3 : Nombre de correspondances par déplacement	100
---	-----

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Modèle concentrique d'une ville	2
Figure 1.2 : Cadre conceptuel et structure du projet	5
Figure 2.1 : Modèle orienté objet de l'EOD (Trépanier & Chapleau, 2001)	8
Figure 2.2 : Système d'information de CAP (Trépanier, Tranchant, & Chapleau, 2007)	10
Figure 2.3 : Modèle orienté objet de la CAP (Trépanier et al., 2007).....	11
Figure 2.4 : Différence de structure entre EOD et CAP.....	12
Figure 2.5 : Distribution temporelle des entrées dans le métro avec les données d'EOD et de CAP (Spurr et al., 2014).....	16
Figure 2.6 : Chaîne avec deux boucles.....	18
Figure 2.7 : Chaîne simple	20
Figure 3.1 : Territoire du GM et découpage régional	26
Figure 3.2 : Organisation des organismes de transport	27
Figure 3.3 : Regroupement des AOT des couronnes Nord et Sud	28
Figure 3.4 : Organisation des entités sur le réseau montréalais	29
Figure 3.5 : Carte du métro montréalais.....	30
Figure 3.6 : Carte du réseau structurant	31
Figure 3.7 : Structure du fichier d'EOD (Trépanier & Chapleau, 2001)	32
Figure 4.1 : Nombre de déplacements par titre	39
Figure 4.2 : Répartition du nombre de déplacements quotidiens par titre	40
Figure 4.3 : Traitement des systèmes d'activités	41
Figure 4.4: Choix de la base de données à analyser.....	44
Figure 4.5 : Période de départ et de retour des activités	45
Figure 4.6 : Distribution temporelle des déplacements (par période de 30 minutes).....	47

Figure 4.30 : Comparaison des séquences des entités entre l'EOD 2008 et celle de 2013	81
Figure 4.31 : Variation du nombre de déplacements selon les séquences entre l'EOD de 2008 et de 2013	82
Figure 4.32 : Évolution de l'usage du réseau structurant pour les usagers de PR et KR	84
Figure 5.1 : Comparaison des titres utilisés entre EOD et CAP	87
Figure 5.2 : Nombre de personnes selon leur nombre de déplacements en TC (EOD et CAP).....	88
Figure 5.3 : Symétrie des structures de 2 et 4 déplacements.....	89
Figure 5.4 : Distribution temporelle des entrées sur le réseau	90
Figure 5.5 : Distribution temporelle des déplacements selon l'EOD et les CAP.....	91
Figure 5.6 : Variation du nombre de déplacements par période de 30 minutes	91
Figure 5.7 : Nombre de déplacements selon le début et la fin de l'activité	93
Figure 5.8 : Début et fin d'activités selon la période de la journée.....	93
Figure 5.9 : Comparaison des séquences des entités entre l'EOD 2013 et les CAP.....	96
Figure 5.10 : Variation des séquences entre EOD et CAP	98
Figure 5.11 : Variation du nombre de déplacements selon la séquence et la période.....	99
Figure 5.12 : Variation du nombre d'entrées selon le moyen d'accès	101
Figure 5.13 : Comparaison du nombre d'entrées entre EOD et CAP	102
Figure 5.14 : Achalandage des stations de métro et leurs accès	103
Figure 5.15 : Variation du nombre d'entrées par station selon le moyen d'accès à la station	105

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AOT	Autorité Organisatrice de Transports
CAP	Cartes à puce
CIT	Conseil Intermunicipal de Transport
CMM	Communauté Métropolitaine de Montréal
EOD	Enquête Origine-Destination
GM	Grand Montréal
KR	Kiss-and-Ride
MADIGAS	MADITUC Interactive Graphic Analysis System
MADITUC	Modèle d'Analyse Désagrégée des Itinéraires de Transport Urbain Collectif
MRC	Municipalité Régionale de Comté
PR	Park-and-Ride
RMM	Région Métropolitaine de Montréal
TC	Transport en Commun

LISTE DES ANNEXES

Annexe A – Carte du territoire de l'enquête Origine-Destination de 2013 (Agence Métropolitaine de Transport, 2015)	116
Annexe B – Matrice d'activité d'après l'enquête Origine-Destination.....	117
Annexe C – Séquences d'entités les plus empruntées.....	118

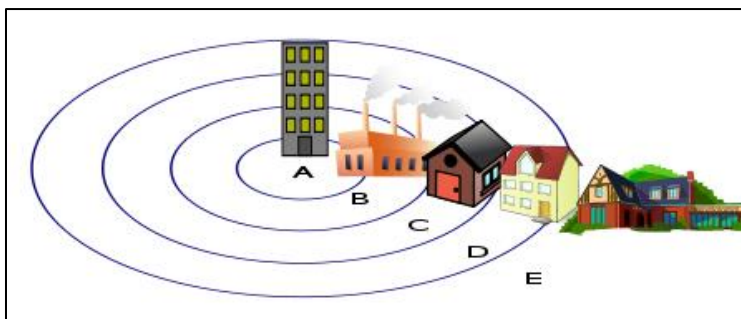
CHAPITRE 1 INTRODUCTION

1.1 Contexte et problématique

L'urbanisation de la planète est un mouvement historique qui désigne l'augmentation de la population vivant en ville par rapport à l'ensemble de la population. Ce mouvement s'accroît de façon exponentielle. Ainsi, actuellement, plus de la moitié de la population vit dans des villes. Cette tendance est loin de s'atténuer et les scientifiques prévoient qu'en 2050, environ 66% de la population mondiale vivra dans une ville (Organisation des Nations Unies, 2014). Ce chiffre atteint 82% en considérant seulement l'Amérique du Nord. Les villes font donc face à de nouveaux problèmes (gestion de l'espace, de l'eau, des déchets, préservation des terres agricoles, etc.). La mobilité est l'un des grands enjeux de cette urbanisation rapide et dans le cadre d'un développement durable des villes (intégrant environnement, société et économie), il convient d'analyser, de comprendre et de planifier les solutions de mobilité de demain. Le transport en commun fait partie de ces solutions pour améliorer le futur.

1.1.1 La redistribution des tarifs intégrés

L'espace urbain ne s'organise pas de façon aléatoire et les villes ont tendance à suivre des schémas semblables. De nombreuses métropoles mondiales, particulièrement nord-américaines, s'appuient sur un centre-ville concentrant les emplois et s'étendant sur leur territoire avec des banlieues moins densément peuplées. Ces villes suivent le « Concentric ring model » mis en évidence par Ernest Burgess (Bailly, 1973). Cette vision, bien que très simpliste, peut s'appliquer au Grand Montréal (GM). Pour être plus précis, la forme circulaire est influencée par les axes de transport. Ainsi, le territoire n'a pas une forme circulaire, mais plutôt étoilée. Dans le cas de la région de Montréal, le centre-ville avec le quartier international de Montréal représente l'épicentre des cercles.



(https://fr.wikipedia.org/wiki/Ernest_Burgess#/media/File:Burgess_model.svg)

Figure 1.1 : Modèle concentrique d'une ville

Ces villes concentriques appliquent couramment une tarification intégrée des transports collectifs dépendant de la zone où le déplacement a été effectué. La tarification des transports collectifs de Montréal ne déroge pas à la règle. Ainsi, la redistribution des recettes entre les différentes Autorités Organisatrices de Transports (AOT) qui composent le Grand Montréal (aire métropolitaine de Montréal) est une question primordiale, surtout dans un contexte où les ressources financières sont limitées (Direction des Affaires corporatives et du développement durable, 2014). L'équité est l'un des principaux objectifs de la redistribution qui se base actuellement sur l'enquête Origine-Destination (EOD). L'équité est souvent confondue avec l'égalité bien qu'étant deux notions légèrement différentes. L'équité est une forme d'égalité « qui fait référence à la justice et à l'impartialité » selon la définition du dictionnaire Larousse alors que l'égalité fait référence à une justice sans aucune discrimination qu'elle soit positive ou négative. Une bonne connaissance de l'utilisation des réseaux permet de mieux répartir les recettes de façon équitable et de cibler les efforts à produire (Direction des Affaires corporatives et du développement durable, 2014).

1.1.2 Connexions entre les systèmes de transport (intermodalité)

En outre, les agglomérations possèdent généralement un éventail de solutions de mobilité pour les habitants. La voiture n'est plus la seule solution pour se déplacer efficacement dans des villes de plus en plus congestionnées. Le terme d'intermodalité est devenu à la mode dans les politiques urbaines de transport depuis les années 2000 (Richer, Meissonnier, & Rabaud, 2016). Il est souvent associé à un développement plus durable de la ville et à une meilleure performance du système de transport. L'intermodalité se définit comme la mobilité combinée de plusieurs modes et/ou AOT lors d'un même déplacement. Le Transport en Commun (TC) est généralement un moyen de

promotion de l'intermodalité avec des aménagements adaptés (pôle d'échanges, parkings-relais, etc.).

1.2 Objet d'étude

1.2.1 Objectifs du projet

La mobilité se complexifie d'année en année, que ce soit à cause de l'étalement urbain ou de l'émergence de nouveaux modes alternatifs (vélo en libre-service, autopartage, covoiturage, Uber, etc.). La structure des déplacements, particulièrement pour les usagers du TC, est encore mal connue dans la littérature scientifique. De nombreux auteurs s'intéressent au type de chaîne (Hensher & Reyes, 2000 ; Sicotte, 2014 ; Valiquette, 2010) et aux motifs liés aux déplacements. Cependant, peu d'études s'intéressent à la question des différents opérateurs ou du type de transport en commun (bus, métro, etc.) pour comprendre la structure des déplacements des usagers du TC.

Par ailleurs, l'émergence du Big Data touche également le monde du transport et particulièrement le TC. Les cartes à puce (Lathia & Capra, 2011) sont devenues le mode de transaction de référence dans la majorité des villes (Pelletier, Trépanier, & Morency, 2010 ; Trépanier & Chapleau, 2001). Elles apportent une quantité de données importante qu'il faut réussir à analyser. Cette nouvelle base de données est à confronter avec l'EOD qui est une base de données relativement ancienne à Montréal (1970), souvent exploitée et avec un grand potentiel d'utilisation.

Ce projet s'inscrit plus généralement dans une démarche de compréhension des avantages et des inconvénients des EOD et des cartes à puce. Sur le territoire de la Grande Région de Montréal, la présence des deux types de données va permettre un portrait précis et plus fiable de la mobilité en TC pour faciliter au final la prise de décision en matière de planification.

L'objectif de ce projet est donc de mieux comprendre les structures spatio-temporelles des déplacements en TC. Les CAP peuvent-elles remplacer les données récoltées lors de l'EOD ? Quels sont les biais de l'EOD et des CAP ? Sur quelles données devrait se baser la redistribution des tarifs intégrés ?

Dans le détail, les tâches du projet peuvent être synthétisées de la manière suivante :

- Déterminer les structures d'un déplacement réalisé en TC ;

- Déterminer les chaînes de déplacements des usagers du TC ;
- Faire une comparaison entre les résultats obtenus avec l'enquête Origine-Destination de 2013 et les données de cartes à puce de cette même année ;
- Observer les évolutions de comportements dans les EOD entre 2008 et 2013.

1.2.2 Zone d'étude et données disponibles

Ce projet de recherche se déroule sur le territoire du Grand Montréal avec les données suivantes :

- Les enquêtes Origine-Destination de Montréal de 2008 et de 2013 ;
- Les données de cartes à puce de la région montréalaise du 24 octobre 2013.

1.3 Contenu et structure du mémoire

La structure de ce mémoire est présentée à la Figure 1.2 suivante. Tout d'abord, une revue de littérature des différents concepts abordés au cours du projet sera réalisée (chapitre 2). Ensuite, le chapitre 3 décrit la méthodologie employée avec la présentation des données utilisées et du lieu d'étude. Le chapitre suivant analysera les résultats obtenus grâce à l'EOD (chapitre 4). La comparaison entre l'EOD et les CAP fera l'objet du chapitre 5. Enfin, une conclusion exposera les principales réalisations, les limites et les perspectives de recherche (chapitre 6).

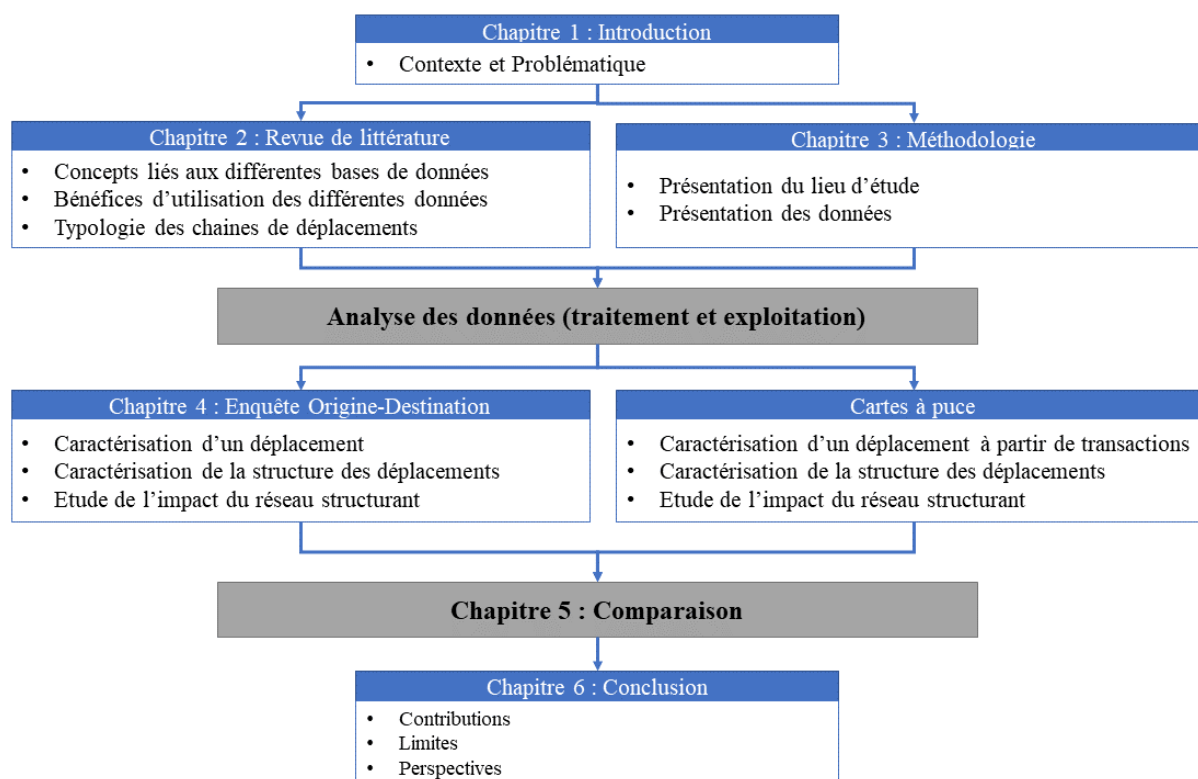


Figure 1.2 : Cadre conceptuel et structure du projet

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

Ce chapitre traite de la revue de littérature dans l'objectif de mieux comprendre les différents sujets qui seront abordés. C'est pourquoi la première partie se focalise sur les concepts des deux ensembles de données étudiés, à savoir l'EOD et les CAP. Ensuite, il convient de s'intéresser aux comparaisons faites entre ces deux types de données et des techniques de traitement de ces données. Enfin, une section considère les études réalisées sur le sujet des structures de déplacement.

2.1 Les enquêtes Origine-Destination et les cartes à puce

Cette première section va expliquer les concepts des deux ensembles de données traités dans ce projet.

2.1.1 Les enquêtes Origine-Destination

Les enquêtes Origine-Destination (EOD) sont la déclinaison des enquêtes de déplacements dans la région montréalaise. Les enquêtes de déplacements sont communément appelées Enquête Ménages Déplacements en France ou « Household Travel Survey » dans le monde anglophone. Les EOD permettent de recueillir les habitudes de déplacements dans une zone géographique donnée. Elles recensent l'ensemble des déplacements des ménages interviewés. Ces enquêtes sont aujourd'hui utilisées dans le monde entier dans des formats pas toujours identiques. Nous allons nous intéresser, particulièrement, à l'enquête Origine-Destination de la région montréalaise.

2.1.1.1 Historique montréalais

Depuis les années 1970, des EOD ont lieu tous les cinq ans dans la région montréalaise. La dernière date de 2013. Elle est généralement effectuée sur 4 mois (de septembre à décembre) sur un échantillon d'environ 4% de la population totale. L'enquête comporte trois volets :

- Les ménages : lieu de résidence, nombre de personnes et d'automobiles ;
- Les personnes : âge, sexe, possession d'un permis de conduire ;
- Les déplacements : description de tous les déplacements faits la veille de l'entretien téléphonique (lieu de départ, lieu d'arrivée, mode de transport, lignes si mode de transport collectif utilisé).

En 1987, le géocodage des extrémités des déplacements fut implémenté à partir des codes postaux (jusqu'à la géolocalisation précise aux coordonnées x-y aujourd'hui). Cette avancée a permis d'augmenter considérablement le nombre de lieux et de pouvoir faire une analyse totalement désagrégée. Les découpages géographiques sont toujours disponibles pour une agrégation a posteriori.

2.1.1.2 Approche totalement désagrégée et orientée objet

Dans les années 1980, le groupe de recherche MADITUC (Modèle d'Analyse Désagrégée des Itinéraires de Transport Urbain Collectif) a mis en place une approche totalement désagrégée concernant les EOD. Cette méthode se fonde sur une caractérisation précise des déplacements de chaque personne : origine, destination, correspondances, point d'entrée et de sortie du réseau, lignes de transport en commun, temps d'accès, temps d'attente, temps en véhicule, séquence de modes, motif, etc. Le fichier produit contient à la fois l'ensemble des déclarations obtenues par l'enquête, mais également des informations ajoutées, tel que le géocodage des lieux d'origine et de destination et la validation des lignes de transport collectif (Trépanier & Chapleau, 2001). L'approche totalement désagrégée permet d'augmenter le niveau de précision pour chacun des trois objets (ménages, personnes, déplacements). L'agrégation est toujours réalisable par la suite à des fins d'analyse géographique. Grâce à cette méthode désagrégée, un découpage territorial peut-être réalisé selon l'objet d'étude.

L'approche orientée objet est de plus en plus utilisée, car la réalité des problèmes semble mieux correspondre aux systèmes d'objets. L'approche orientée objet pour l'EOD est représentée à travers la Figure 2.1. En transport, 4 types d'objets peuvent être définis :

- Les objets statiques possèdent une localisation fixe dans le temps et l'espace. Leur rôle est de décrire le territoire. Quelques exemples : les générateurs de déplacements (écoles, hôpitaux, etc.), les codes postaux, les secteurs de recensement, les zones ;
- Les objets dynamiques sont les acteurs du transport. Ces objets « décident » et contribuent à leur mouvement. Ils représentent soit un groupe de personnes (ménages et collections de personnes), soit un objet mobile (train, automobile) soit une masse déplacée (telle qu'une marchandise) ;

- Les objets cinétiques sont les descripteurs du mouvement. Par exemple, le déplacement, la chaîne de déplacements, le trajet, la ligne d'autobus sont des objets cinétiques ;
- Les objets systémiques sont des groupes d'objets interreliés. Ils peuvent être opérationnels (réseau routier, réseau de métro), informationnels (enquêtes, recensements) ou multifonctionnels (centre-ville, banlieue).

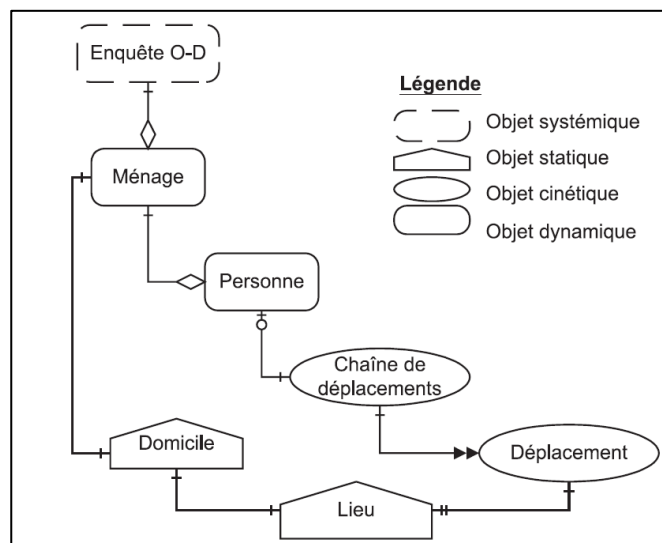


Figure 2.1 : Modèle orienté objet de l'EOD (Trépanier & Chapleau, 2001)

2.1.1.3 Enrichissement des données

D'après la figure précédente, l'EOD est constituée de peu d'objets. Diverses méthodes sont appliquées aux objets pour valider, traiter et compiler les données. Elles se fondent sur des bases de données externes pour pouvoir employer des procédures d'enrichissement de données. Ces procédures vont notamment servir à associer les objets d'enquête et le réseau de TC. Les principales opérations (Trépanier & Chapleau, 2001) sont :

- Le géocodage : Tous les déplacements (extrémités et points de jonction) sont géolocalisés avec des coordonnées x-y dans le système UTM. Les différents lieux sont localisés grâce à une base de données externe ;
- La validation : Durant l'entrevue, les déclarations sur les ménages, les personnes et les déplacements sont validées interactivement pour ne pas obtenir de réponses improbables (lignes de TC inexistantes, correspondances impossibles) ;

- La détermination de l'accès et de chargement : Les déplacements réalisés en TC sont transformés en itinéraires. Pour connaître les nœuds d'accès et de sortie du réseau de TC, une méthode détermine les arrêts autour des lieux d'origine et de destination. Ainsi, la méthode crée une séquence de nœuds-lignes qui constitue l'itinéraire ;
- La simulation des itinéraires : Après avoir obtenu la séquence nœuds-lignes, la méthode de simulation calcule le chemin le plus probable entre les nœuds. La fonction d'impédance multimodale considère les temps d'accès à l'origine et à la destination, le temps d'attente et le temps passé en véhicule (Chapleau, Allard, & Trépanier, 1996).

L'ensemble de ces procédures permet un enrichissement progressif du modèle orienté objet de l'EOD. De nouveaux objets se rajoutent au modèle basique initial tels que l'objet Activité, qui résulte de la chaîne de déplacements. Les méthodes fabriquent ainsi, à partir d'un itinéraire déclaré, un itinéraire décrit.

2.1.2 Les cartes à puce

2.1.2.1 Le fonctionnement

Les cartes à puce représentent une technologie de plus en plus utilisée par les agences de TC (Lathia & Capra, 2011). Cette technologie est apparue bien plus tôt dans d'autres secteurs tels que le secteur bancaire. Ce mode de transaction est maintenant implanté dans de très nombreux domaines (sécurité sociale, banque, gouvernement, commerce, et transport). Les CAP ont un double but : collecter les revenus et recueillir les données relatives à la transaction.

Les CAP utilisées dans le Grand Montréal (depuis 2008) sont des cartes sans contact. Les systèmes de collection automatique des titres de transport (Smart card automated fare collection systems) sont largement implantés dans le monde, surtout en Europe et au Japon. Ce système est également présent au Québec et notamment à Montréal. Le fonctionnement général d'un système de collecte automatique des titres de transport est le suivant (Figure 2.2). L'utilisateur détient une CAP. La validation, dans un bus, équipé parfois d'un système automatique de localisation (AVL : Automatic Vehicle location) et d'un système de comptage automatique (APC : Automatic Passenger Counter) ou dans le métro, par le passage d'un tourniquet, crée une transaction stockée dans le système à

bord puis sur un serveur (asynchrone dans un garage). Dans le système montréalais, la transaction contient les informations suivantes : date et heure de validation, statut de la transaction (embarquement accepté, embarquement refusé et transfert), identifiant de la carte, type de titre, identifiant de la ligne, direction de la ligne, identifiant du bus, identifiant du conducteur, identifiant de la course et identifiant de la base de données interne.

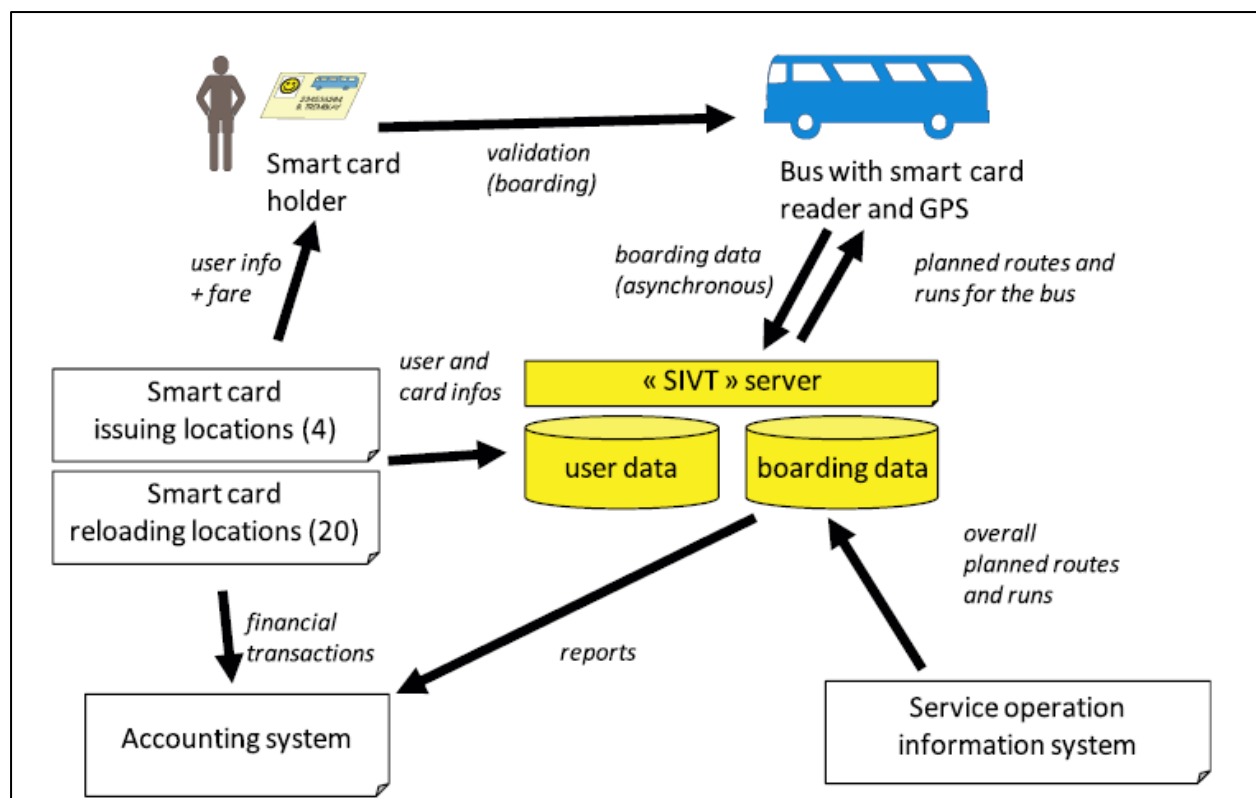


Figure 2.2 : Système d'information de CAP (Trépanier, Tranchant, & Chapleau, 2007)

La figure suivante (Trépanier et al., 2007) montre le modèle orienté objet d'un système lié à la CAP. Ce modèle utilise les mêmes objets que ceux employés avec l'EOD : les objets dynamiques, les objets cinétiques, les objets statiques et les objets système. Dans le cadre de la CAP, l'ensemble des objets peuvent être regroupés en 4 catégories :

- Le réseau (lignes et arrêts) ;
- Les opérateurs (chauffeurs, véhicules) ;
- Les objets administratifs (cartes, points de vente, transactions) ;

- Les objets « demande » (usagers (dans la très grande majorité des cas, une carte est attribuée à un usager), déplacement).

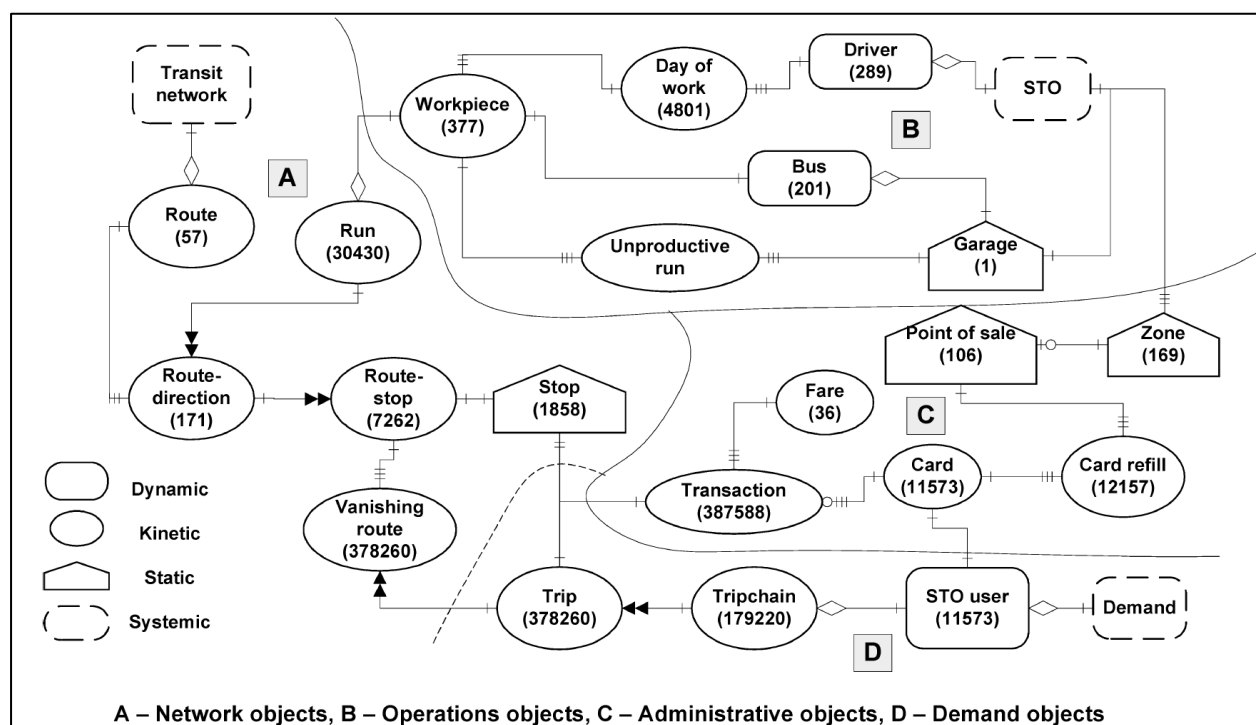


Figure 2.3 : Modèle orienté objet de la CAP (Trépanier et al., 2007)

2.1.2.2 Les possibilités

Les nouvelles techniques de data-mining permettent de faire une analyse du comportement de l'utilisateur à partir des enregistrements collectés. La principale difficulté réside dans l'identification du débarquement du bus ou du métro. L'identification automatisée de l'arrêt requiert un système de localisation, procédé qui n'est pas encore généralisé à une flotte complète de bus (Chu & Chapleau, 2007). Montréal est en train d'équiper progressivement tous les bus de système de géolocalisation. Une fois l'arrêt déterminé, de multiples analyses peuvent être réalisées. Le data-mining (Agard, Morency, & Trépanier, 2006) consiste à déduire des structures, potentiellement inconnues et utiles, à partir d'un grand jeu de données. Les principales tâches, parfois complémentaires, sont les suivantes : Classification, Estimation, Segmentation, Description et Visualisation. On peut par exemple, segmenter la population selon différents attributs (âge, sexe, etc.) pour trouver une homogénéité de comportements dans les différents groupes dans le but de cibler différents marchés. Avec ces données, il est également possible de reconstruire des matrices

Origine-Destination (Devillaine, Munizaga, & Trépanier, 2012). De nombreuses possibilités s'offrent avec cette grande quantité de données.

2.2 Confrontation entre Enquête Origine-Destination et Cartes à puce

Cette deuxième section va décrire le traitement et la comparaison entre les données d'EOD et de CAP. Tout d'abord, nous verrons les différences structurelles. Ensuite, nous aborderons les avantages et les limites de ces deux types de données.

2.2.1 Comparaison structurelle entre les EOD et des CAP

Si les données d'EOD et celles de CAP traitent toutes les deux de mobilité des personnes, la section précédente a montré que leurs caractéristiques sont très différentes. D'une part, l'EOD a pour principaux objets les ménages, les personnes et les déplacements. Les chaînes de déplacements permettent de déterminer les activités qui sont une composante déterminante dans la mobilité des personnes. D'autre part, les CAP se basent essentiellement sur trois objets : les titres qui sont l'équivalent des personnes dans l'EOD, les transactions et le véhicule. Les transactions ont une dimension dynamique que l'EOD ne permet pas de retranscrire.

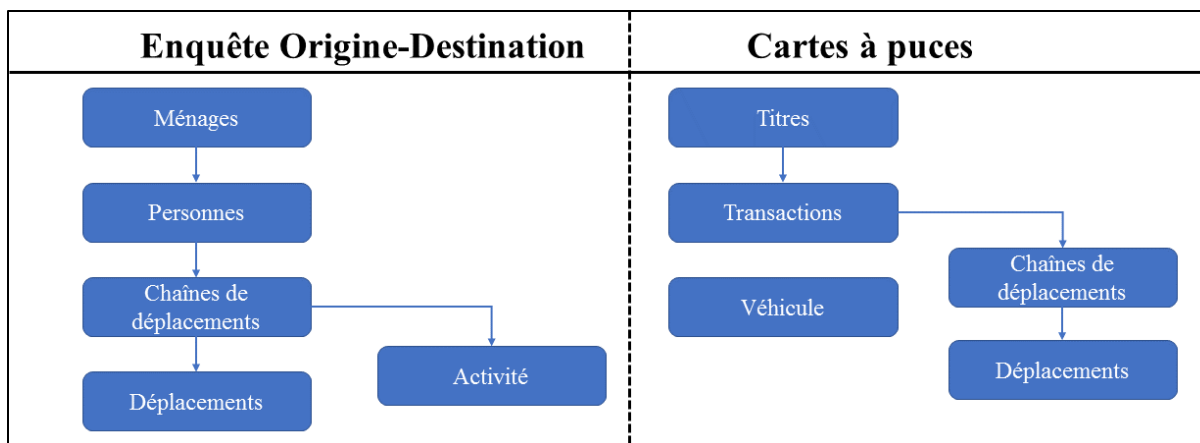


Figure 2.4 : Différence de structure entre EOD et CAP

Le Tableau 2.1 résume les principales différences entre EOD et CAP liées aux déplacements dans le contexte montréalais (Spurr, Chu, Chapleau, & Piché, 2015). Les EOD ont plus d'attributs

différents. Cependant, les CAP ont une précision plus fine par rapport l'EOD lorsque l'information est renseignée.

Tableau 2.1 : Comparaison des caractéristiques des données des EOD et de CAP à Montréal (adapté de (Spurr, 2015))

	EOD	CAP
Individu	Voyageur	Carte Opus
Titre utilisé	Possession d'un titre mensuel (avec connaissance de l'opérateur)	Titre associé à chaque transaction
Motif	11 motifs	Non disponible
Origine	Coordonnées x,y	Non disponible
Heure de départ	Déclaré (+/- 15min)	Non disponible
Accès au transport	Attribuable	Non disponible
Lieu du premier embarquement	Ligne	Ligne
Heure du premier embarquement	Attribuable (+/- 1h)	À la seconde
Arrêts de correspondance	Ligne	Ligne (non disponible si changement de ligne de métro)
Heure de correspondance	Attribuable (+/- 1h)	À la seconde
Arrêt du débarquement	Attribuable	Attribuable
Heure du débarquement	Attribuable (+/- 1h)	Attribuable
Accès à la destination	Attribuable	Non disponible
Lieu de destination	Coordonnées x,y	Non disponible
Heure à la destination	Attribuable	Non disponible

2.2.2 Avantages et limites des EOD et des CAP

Les données de l'EOD, récoltées dans la région de Montréal, se sont avérées suffisantes à des fins de projets à l'échelle métropolitaine. Cependant, elles présentent plusieurs limites dans des contextes particuliers. Data Management Group (2008), qui est en charge de l'EOD à Toronto, décrit 5 sources de problèmes liés aux EOD :

- La non-représentativité de l'échantillon (par exemple, les personnes qui n'ont pas de téléphone fixe) ;
- Le délai entre l'exécution du sondage et le choix de l'échantillon ;
- La différence de comportements de déplacements face à ses critères sociodémographiques ;
- La sous-estimation du nombre de déplacements, surtout lorsqu'un membre du ménage répond pour l'ensemble du ménage ;
- Des informations erronées parce qu'elles sont soit mal transmises par l'interviewé soit mal codées dans le formulaire de l'enquête.

On peut noter également un échantillonnage insuffisant (Chu & Chapleau, 2007) qui va de pair avec le problème de non-représentativité de l'échantillon. Pourtant, les EOD québécoises sont relativement bien fournies avec près de 5% de la population interrogée (Agence Métropolitaine de Transport, 2015). Cependant, cette quantité de données est problématique lorsqu'on s'intéresse, par exemple, aux usagers de transports en commun dans des secteurs suburbains. Cette finesse de précision est également utile lors de la planification opérationnelle des réseaux de transport.

Les CAP présentent, tout comme les EOD, des avantages et des inconvénients (Pelletier et al., 2010). Nous nous intéressons seulement aux impacts de la CAP sur l'analyse du transport. Le tableau suivant résume les principales informations.

Tableau 2.2 : Avantages et inconvénients des CAP

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Collecte passive des données ; • Plus grande base de données ; • Meilleure opérationnalité du TC ; • Meilleure précision sur les heures de prise des TC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aucune information sur le motif du déplacement ; • La destination et l'origine du déplacement ne sont pas connues, à moins d'appliquer une méthode pour la déduire ; • Nécessité de réaliser des enquêtes (pas forcément une EOD) pour confirmer l'analyse faite par les CAP.

2.2.3 Études comparant EOD et CAP

Ainsi, les deux ensembles de données possèdent leurs propres avantages et avant de pouvoir faire le lien entre ces deux ensembles de façon claire et précise, il faut pouvoir les analyser et les comparer. Ces études comparatives sont de plus en plus nombreuses. Elles se sont d'abord focalisées sur l'étude du métro, car toutes les entrées dans le métro ont l'avantage d'être plus facilement localisables, contrairement au bus, car les transactions sont faites sur des équipements fixes (tourniquets, portes-vantaux, etc.). Par exemple, une étude, menée par Munizaga, Devillaine *et autres* (2014), a présenté une méthode de validation des matrices Origine-Destination du TC à Santiago du Chili grâce à des données d'EOD dans le métro et des données de CAP. Cette méthode a permis de prouver que 90% des estimations faites à partir de l'EOD se sont confirmées avec l'EOD.

Nous allons nous intéresser plus précisément aux précédentes études réalisées à Montréal (Spurr, Chapleau, & Piché, 2014 ; Spurr et al., 2015). L'étude a été menée sur le métro montréalais. Tout d'abord, à propos de structure temporelle des déplacements en TC, les auteurs ont révélé deux inégalités grâce aux CAP :

- Une sous-estimation des déplacements lors des périodes hors pointes (de 21% pour les déplacements incluant le métro) dans les EOD ;
- Une surestimation des déplacements lors des périodes de pointes (de 24% pour les déplacements incluant le métro) dans les EOD.

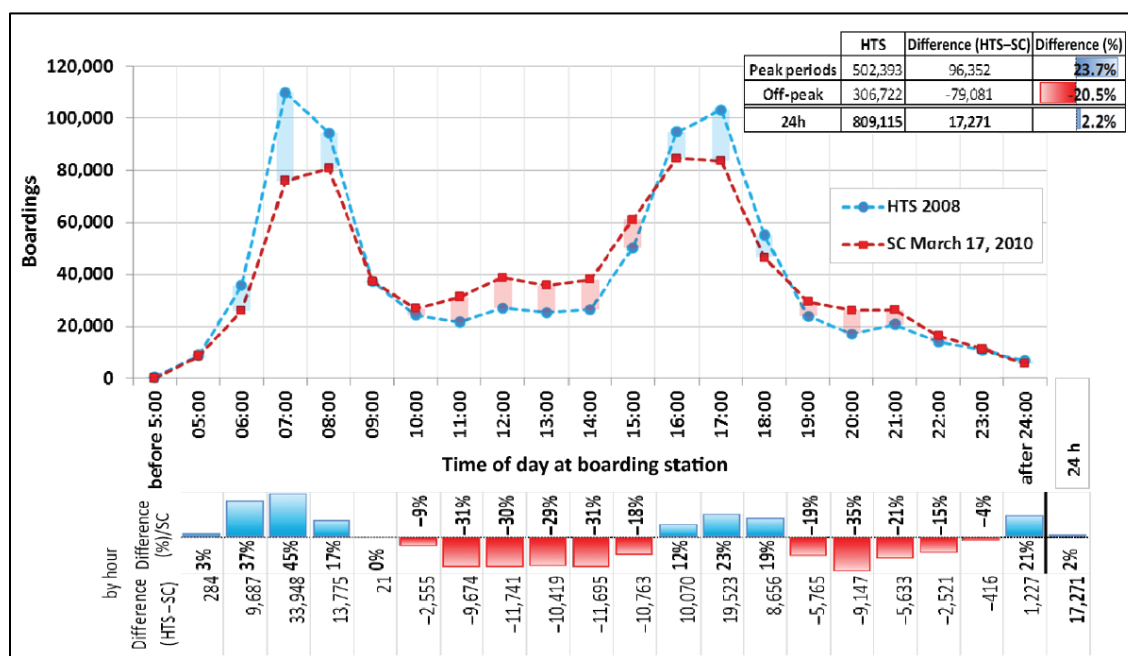


Figure 2.5 : Distribution temporelle des entrées dans le métro avec les données d'EOD et de CAP (Spurr et al., 2014)

Ces inégalités temporelles sont aussi géographiques, concernant les stations de métro. La surestimation est particulièrement significative aux stations terminales, situées principalement dans des zones francophones alors que les zones à majorité non francophones sous-estiment le nombre de déplacements. La surestimation peut être corrigée en appliquant une nouvelle pondération aux déplacements réalisés avant 9h. Cependant, la sous-estimation est toujours persistante dû à un probable problème d'échantillonnage. La sous-estimation est expliquée par la sous-évaluation faite par les interviewés de leurs déplacements qui n'ont pas pour origine ou destination le domicile (« non-home-based trips »). Elle s'explique également par le manque de réponse et donc de représentativité de certains groupes spécifiques. Une des solutions, selon les conclusions des auteurs, est de pondérer plus faiblement les ménages utilisant le métro pour compenser la surestimation.

2.2.4 Enrichissement des données de CAP

Les CAP offrent un nombre conséquent de données. Il faut donc réussir à bonifier ces données en les enrichissant pour obtenir le plein potentiel. Les deux contraintes principales liées aux CAP sont l'absence de motif du déplacement et la non-connaissance des lieux exacts de l'origine et de la destination. Différentes méthodes ont été testées pour attribuer un motif au déplacement (Axhausen, 1996 ; Zhong, Huang, Arisona, Schmitt, & Batty, 2014). Par contre, l'obtention des lieux exacts des origines et des destinations est compliquée. La première étape est la détermination de l'arrêt final en considérant que l'origine du déplacement suivant est la destination de ce déplacement (Bouman et al., 2012 ; Kusakabe & Asakura, 2014). Les lieux exacts peuvent être obtenus en examinant les déplacements avec une série de contraintes telles que le type de générateurs de déplacements, le type de carte (titre unitaire ou forfaitaire), l'heure de déplacement (Yuan, Wang, Zhang, X.Xie, & Sun, 2013). La carte OPUS dans la région montréalaise n'est utile que pour le transport, mais dans un système où la carte de transport est utilisable pour d'autres transactions (magasins, bibliothèques, etc.), les transactions, autres que celles faites en transport, permettent d'enrichir les données de CAP du motif et du lieu (Yuan et al., 2013).

Par ailleurs, avoir une EOD de bonne qualité et ne pas l'exploiter serait regrettable. Il faut donc pouvoir lier d'une certaine façon EOD et CAP. Les auteurs, Spurr, Chu *et autres* (2015) ont développé une méthode pour identifier la carte avec le répondant sans leur demander, mais également d'évaluer la précision des réponses des interviewés lors des EOD.

2.3 La structure des déplacements (systèmes d'activités)

Il est nécessaire d'analyser les chaînes de déplacements et les systèmes d'activités d'un jour moyen de semaine. Un système d'activité est la combinaison des différentes activités sur une journée. Ces activités sont interreliées par des déplacements effectués par les individus. Les différents déplacements réalisés lors d'une journée sont rarement faits de façon aléatoire. Généralement, les personnes cherchent à minimiser leur temps de trajet en réalisant le plus d'activités. Ainsi, combiner plusieurs activités ferait gagner 15 à 20% de temps de déplacements (S. Vande Walle & Steenberghen, 2006). C'est pourquoi il est important de prendre l'ensemble des déplacements effectués pour cet ensemble d'activités, et non pas de façon individuelle. Par exemple, une personne qui irait déposer son enfant à l'école puis irait au travail s'interprète plus objectivement

dans sa globalité. L'analyse des chaînes et des systèmes d'activités doit donc être privilégiée pour analyser la mobilité quotidienne des personnes.

2.3.1 Concepts et définitions

La prochaine section détaille les concepts et les définitions liés aux chaînes de déplacements.

2.3.1.1 Activités

Les activités sont généralement divisées en deux catégories : les activités primaires et les activités secondaires. L'activité primaire est l'activité principale de la chaîne, c'est-à-dire celle qui engendre généralement le déplacement. Dans la majorité des cas, l'activité primaire est le travail ou les études. Cependant, si aucune des deux activités citées précédemment n'est présente dans la chaîne, l'activité ayant la durée la plus longue sera considérée comme activité primaire. Toute autre activité (par exemple, magasinage) présente dans une chaîne sera considérée comme secondaire.

2.3.1.2 Boucle

Une boucle est l'ensemble des déplacements entre le moment de départ et le moment d'arrivée à un même endroit nommé point d'ancrage. Selon plusieurs auteurs, dont Primerano, Taylor *et autres* (2007), les seuls lieux d'ancrage possibles sont les lieux de domicile, de travail et d'études. Ce concept est légèrement différent de la notion de chaîne. Une chaîne de déplacement est l'ensemble des déplacements entre le départ et l'arrivée au domicile alors qu'une boucle est l'ensemble des déplacements entre le départ et l'arrivée à un point d'ancrage. Ainsi, plusieurs boucles peuvent être comprises dans une chaîne. Par exemple, dans la figure suivante, en supposant que le lieu « A » est le domicile, le système d'activité est composé d'une chaîne, elle-même composée de deux boucles.

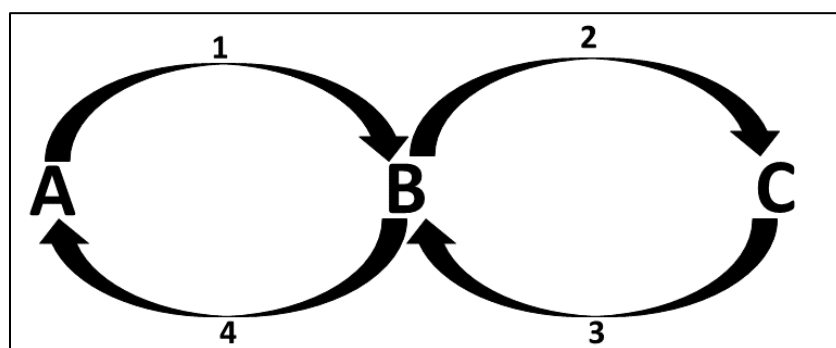


Figure 2.6 : Chaîne avec deux boucles

2.3.2 Catégorisation des chaînes

La définition de chaîne de déplacements diffère selon les auteurs. Les auteurs ne sont pas toujours d'accord quant aux concepts d'origine et de destination des chaînes. Parfois, les chaînes de déplacements sont définies comme une série de déplacements effectués entre deux points d'ancrage (McGuckin & Murakami, 1999). D'autres auteurs, Primerano, Taylor *et autres* (2007) et Hensher & Reyes (2000) caractérisent les chaînes comme l'ensemble des déplacements réalisés entre le domicile et le retour à celui-ci. Deux catégories de chaînes sont ainsi distinguables : les chaînes simples et les chaînes complexes. Les chaînes simples comportent une seule activité. Elles sont aussi qualifiées de chaîne avec un seul motif pour une seule destination, Single Purpose-Single Destination (SPSD). Les chaînes complexes ont au minimum deux activités. Ces activités se regroupent, comme vues dans la section 2.3.1.1 en activités primaires et en activités secondaires. Ces chaînes peuvent être décomposées en chaînes avec plusieurs motifs pour plusieurs destinations, Multiple Purposes-Multiple Destinations (MPMD) ou en chaînes avec plusieurs motifs pour une seule destination, Multiple Purposes-Single Destination (MPSD).

Les auteurs de « Trip chaining as a barrier to the propensity to use public transport » (Hensher & Reyes, 2000) ont développé une nomenclature pour classifier les différentes chaînes de déplacements. Les chaînes de déplacements peuvent être vues de deux façons différentes : une suite de lieux caractérisés par des activités ou une suite d'activités. Par exemple, la chaîne la plus basique, qui consiste de partir de son domicile pour se rendre à son travail, puis de faire un deuxième déplacement qui est l'inverse du premier déplacement peut être défini de deux manières :

- Domicile - Lieu de Travail - Domicile
- Travail - Retour au Domicile

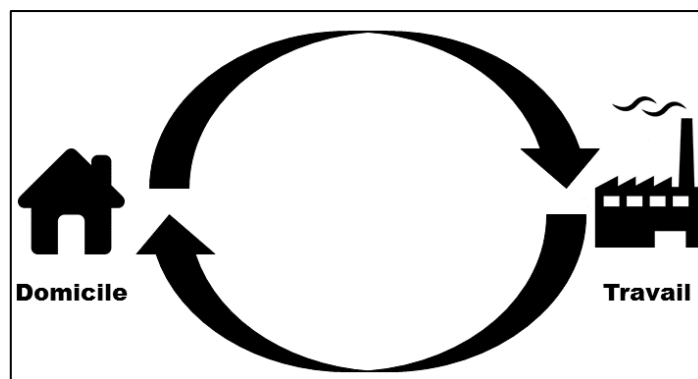


Figure 2.7 : Chaîne simple

Nous allons retenir la première dénomination, car elle prend en compte les chaînes Multiple Purposes-Single Destination, c'est-à-dire les activités qui ont lieu au même endroit. Nous nous baserons sur la classification suivante faite par Hensher & Reyes (2000). Les lieux dénommés « w » pour « work » regroupent les lieux qui ont pour activités « Travail » et « Études ». Les autres lieux sont répertoriés dans « nw » pour « non work ». Le Tableau 2.3 présente les 7 différentes chaînes que les auteurs ont gardées. À travers l'enquête Origine-Destination de Sydney de 1991-1992, les auteurs ont traité et nettoyé les données pour respecter trois règles. Ces règles seront dans la mesure du possible conservées dans ce mémoire. Les trois règles sont les suivantes :

- Les chaînes doivent commencer et finir au domicile selon la définition de Shiftan (Shiftan, 1998);
- Les informations pour chaque déplacement doivent être complètes ;
- Le changement de mode ne fait pas apparaître deux déplacements.

Deux types de chaînes sont simples et sont différenciés selon que l'activité primaire soit Travail ou Étude soit une autre activité. Les 5 autres types de chaînes définissent des chaînes complexes. Elles définissent les différents cas possibles (présence d'une boucle, activité avant et/ou après l'activité primaire, plusieurs activités autres qu'Étude ou Travail).

Tableau 2.3 : Description des chaînes

Trip chain identifier	Description	Sequence
1	Simple work	$h - w (- w -) - h$
2	Complex to work	$h - nw (- nw/w -) - w - h$
3	Complex from work	$h - w (- nw/w -) - nw - h$
4	Complex to and from work	$h - nw - (- nw/w -) - w - (- nw/w -) - nw - h$
5	Complex at work	$h - w - (- nw/w -) - nw - (- nw/w -) - w - h$
6	Simple non-work	$h - nw - h$
7	Complex non-work	$h - nw - (- nw -) - h$

h = home, w = work, nw = non work. The bracketed terms represent additional trips that may be in the chain.

2.3.3 Résultats de différentes études

Cette section va révéler quelques résultats importants d'études antérieures. Cette section ne se veut pas être exhaustive, mais plutôt un aperçu et un avant-goût des possibles comparaisons qui seront à réaliser avec les structures de déplacements des usagers du TC. Le nombre d'activités, la longueur, la durée, les motifs des chaînes et également la structure modale seront les thèmes abordés dans cette partie.

2.3.3.1 Nombre d'activités

La structure des déplacements est grandement influencée par le nombre d'activités à effectuer dans une journée. Plus il y a d'activités, plus le temps doit être optimisé afin de réaliser l'ensemble des activités. L'après-midi ou le soir sont plus propices à la réalisation de chaînes complexes lors du retour au domicile. Les personnes réalisent généralement des activités pour motif magasinage, rendez-vous, etc. sur le trajet du retour au domicile. Ainsi, l'étude menée par Kumar & Levinson (1995) a montré que 31% des déplacements, en période de pointe du soir avec pour origine le travail et pour destination le domicile, ont réalisé au moins un arrêt alors que seuls 15% des déplacements, en période de pointe du matin avec pour origine le domicile, ont réalisé au moins un arrêt sur le trajet pour se rendre au travail.

2.3.3.2 Longueur du déplacement

Par ailleurs, la distance pour se rendre à l'activité primaire est déterminante dans la structure de la chaîne. En effet, plus le déplacement principal est long, plus les gens ont tendance à joindre plusieurs activités (Kumar & Levinson, 1995). Cela semble assez logique, car les personnes rentabilisent leur temps de déplacements. De plus, les distances entre le domicile et les lieux d'activités sont souvent plus grandes en banlieue qu'au centre de la ville. Des déplacements plus longs sont alors nécessaires pour accéder aux différentes activités (supermarché, médecin, sports, etc.). Ainsi, les arrêts, lors des déplacements du domicile vers le travail et surtout du travail vers le domicile, pour le magasinage sont deux fois plus élevés pour les résidents de la banlieue et du milieu rural que les résidents de la ville (Kumar & Levinson, 1995). Au centre-ville, la présence de commerces de proximité est beaucoup plus importante qu'en banlieue. Les déplacements sont donc courts et peuvent être faits par des modes actifs (vélo, à pied, etc.). À Montréal, la longueur moyenne des chaînes de déplacements est de 13,20 km pour les chaînes simples et de 21,81 km pour les chaînes complexes (Valiquette, 2010).

2.3.3.3 Motifs de déplacement

Les différents motifs de déplacements de la chaîne jouent un grand rôle dans la structure des déplacements. Les activités primaires influencent beaucoup les chaînes de déplacements. L'étude menée par Kumar & Levinson (1995) a démontré que le type d'activité varie selon la période de la journée. Les déplacements avec pour activité autre que Travail et Études (Magasinage, Loisir, etc.) ont généralement lieu l'après-midi. De plus, certaines activités sont plus susceptibles d'être couplées avec d'autres activités et d'allonger la chaîne de déplacements. Le tableau suivant montre la longueur (c'est-à-dire le nombre d'activités) moyenne de la chaîne et la proportion d'activités secondaires selon l'activité. Plus une activité a un pourcentage élevé d'activités secondaires, plus la longueur moyenne de la chaîne est longue. Par exemple, les chaînes qui contiennent un déplacement pour motif Rendez-vous d'affaires ont une longueur moyenne de 3,36 activités. Les chaînes avec un déplacement Études sont globalement courtes (1,62 activité par chaîne) alors que les chaînes avec l'activité Travail ont généralement une autre activité (2,18 activités par chaîne).

Tableau 2.4 : Nombre moyen d'activités par chaîne selon l'activité (Primerano et al., 2007)

Table 4 For each activity type, the average number of activities undertaken while the primary activity, the number of times an activity is secondary and as a proportion of all trips that involves the activity type in metropolitan Adelaide in 1999

Activity	Activities per chain	As secondary activity	All occurrences	Percentage of secondary activities
Drop-off/pick-up	2.10	108,028	264,153	41
Education	1.62	9,360	162,695	6
Employer's business	3.36	105,971	140,702	75
Personal business	1.78	123,056	219,708	56
Serve passenger/accompanying	1.88	131,379	239,523	55
Shopping	1.69	209,260	443,285	47
Social and recreation	1.19	279,522	511,340	55
Social welfare/medical	1.75	20,057	49,729	40
Work	2.18	131,677	442,119	30

2.3.3.4 Structure modale

Le choix du mode de déplacement résulte beaucoup du nombre et du type d'activités à effectuer dans la journée. Plus la chaîne est complexe, plus l'automobile est privilégiée (S. Vande Walle & Steenberghen, 2006). La principale raison est que l'automobile est un mode de transport flexible qui permet d'optimiser les temps de trajets plus efficacement. Lors de la planification de ces déplacements, le temps de déplacement est l'un des critères les plus importants quant au choix du mode de transport utilisé. Or, avec l'étalement urbain, la distance entre le domicile et le lieu du travail a fortement augmenté depuis 25 ans. Cependant, le temps de déplacement n'a pas évolué également augmenté (Steenberghen, Toint, & Zuallaert, 2005). Cela explique notamment la forte part modale de l'automobile, surtout dans les secteurs éloignés du centre-ville. La part moindre du TC dans les déplacements s'explique également par le « lien manquant », terme créé par Steenberghen, Toint *et autres* (2005) pour exprimer le fait que certains déplacements sont très difficiles en TC. Or, le choix du mode se fait sur l'ensemble des déplacements de la chaîne. Donc le choix de l'automobile se fait au détriment du TC. Le motif le plus contraint par le « lien manquant » est la visite à la famille/amis contrairement aux motifs Travail et Étude, généralement bien desservie en TC. Par ailleurs, l'utilisation du TC diminue avec l'augmentation de la longueur de la chaîne dans une étude menée à l'échelle de la Belgique (S. Vande Walle & Steenberghen, 2006). Des études ont été également faites dans la région montréalaise (Chapleau, Allard, Laviguer, & Grondines, 1995). Basés sur les EOD de 1987 à 1993, le nombre moyen de chaînes par personne et le nombre d'activités effectuées

par chaîne ont été calculés. En 1993, le nombre de chaînes est de 1,38 par Montréalais et le nombre d'activités est de 2,31 par chaîne, en constante augmentation depuis 1982. De plus, concernant les personnes de 25 à 44 ans, le TC est plus utilisé lors de chaînes simples (23,8% des chaînes) que lors de chaînes complexes (7,0%) (Valiquette, 2010).

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE

L'objectif de ce chapitre est de recenser les données à disposition pour l'analyse des structures de déplacements. En premier lieu, la zone géographique sera étudiée pour comprendre les spécificités du contexte montréalais. Par la suite, les enquêtes Origine-Destination seront analysées pour découvrir la structure des données. Enfin, les données de cartes à puce seront traitées.

3.1 Le lieu d'étude

Connaître le lieu d'étude est primordial lors d'une analyse de la mobilité des personnes. Chaque territoire possède ses propres caractéristiques qu'elles soient structurelles (infrastructures, géographiques : relief, présence d'un fleuve ou d'un front maritime, etc.) ou sociodémographiques.

3.1.1 Le territoire et les différentes entités administratives

La Région métropolitaine de recensement de Montréal est un territoire défini par le gouvernement canadien. Cette entité est la région la plus peuplée du Québec et la deuxième du Canada avec une population estimée à 4,3 millions d'habitants (Agence Métropolitaine de Transport, 2015). Elle est constituée de la ville de Montréal pour centre et principal pôle de la région. La délimitation du territoire s'est faite à partir des données à notre disposition. Le territoire entre les EOD de 2008 et de 2013 n'a pratiquement pas évolué. Il s'est légèrement étendu au niveau des couronnes Nord et Sud. Cependant, ce sont des secteurs qui ont une très faible part modale de TC donc cela n'influence pas la structure des déplacements des usagers de TC. Ainsi, se restreindre à la délimitation du territoire de l'EOD de 2008 est amplement suffisant. La carte suivante présente les secteurs de recensement de l'EOD 2008 et donc le lieu d'étude du projet. Elle présente également la région d'appartenance de chacun des secteurs. En Annexe A, la carte détaille les municipalités de l'EOD de 2013.

Différentes catégorisations des régions sont possibles selon l'étude réalisée. Dans le projet, le territoire est divisé en 5 régions :

- L'île de Montréal ;
- Laval ;
- L'agglomération de Longueuil ;

- La couronne Nord ;
- La couronne Sud.

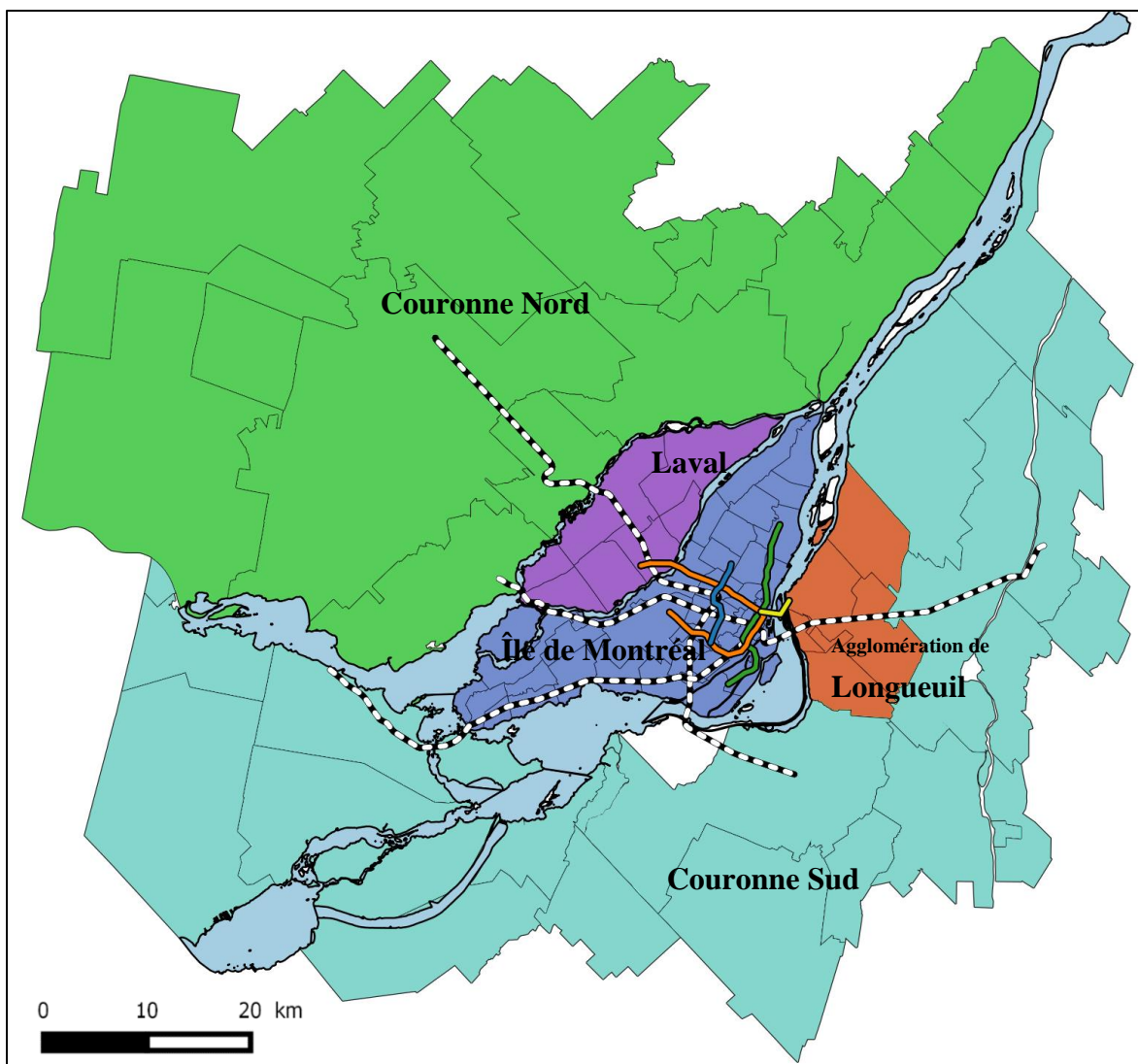


Figure 3.1 : Territoire du GM et découpage régional

3.1.2 Le système de transport en commun

La région montréalaise possède un système de TC diversifié (train, bus et métro) et assez complexe que nous allons expliquer dans les pages suivantes.

3.1.2.1 Le réseau global

À l'heure actuelle (la gouvernance du transport collectif dans la Grand Montréal est en train d'être modifiée), 16 autorités organisatrices de transport régissent le transport sur le territoire (Assemblée nationale du Québec, 2016). Il y a, tout d'abord, l'agence métropolitaine de transport (AMT). Il y a également 3 sociétés de transport en commun (la Société de Transport de Montréal (STM), la Société de Transport de Laval (STL), le Réseau de Transport de Longueuil (RTL)). De plus, 12 organismes de transport existent sur le territoire : des Conseils Intermunicipaux de Transport (CIT) (9), un Conseil Régional de Transport (CRT) et des Municipalités Régionales de Comté (MRC) (3).

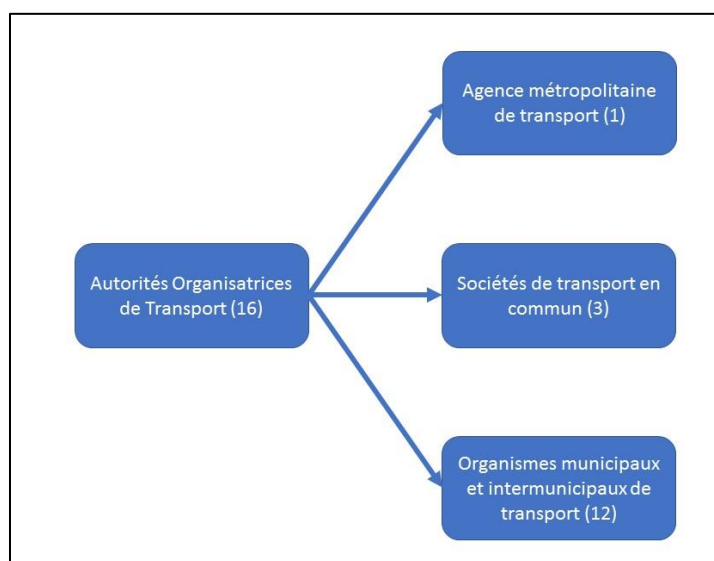


Figure 3.2 : Organisation des organismes de transport

L'AMT est l'organisme qui « planifie, exploite et promeut les transports collectifs dans la région métropolitaine de Montréal » (Agence Métropolitaine de Transport, 2016). C'est une agence gouvernementale à vocation métropolitaine et ainsi, elle dépend du ministère des Transports, de la Mobilité Durable et de l'Électrification des Transports du Québec. Le territoire d'exploitation se compose de 83 municipalités et de la réserve indienne Kahnawake. L'AMT est l'exploitant des réseaux de banlieue et du réseau de transport métropolitain par autobus. Il participe au financement de l'exploitation de 14 organismes. Sur l'île de Montréal, la STM exploite à la fois le réseau de bus et le métro.

La principale fonction des Conseils Intermunicipaux de Transport est de relier les municipalités et le centre-ville montréalais (Communauté métropolitaine de Montréal, 2011). Ils ont également la fonction d'assurer une desserte interne de la municipalité. Cette deuxième fonction s'est accentuée au fur et à mesure du développement des couronnes. Ces AOT ont donc la caractéristique commune d'avoir des lignes majeures sur des autoroutes ou des routes nationales avec des terminus qui sont des portes d'accès au réseau structurant de transport en commun que nous expliquerons dans la section suivante. C'est pourquoi ces AOT ont été regroupées ensemble. Elles ont été tout de même dissociées en 2 catégories selon leur appartenance à la couronne Nord ou Sud.

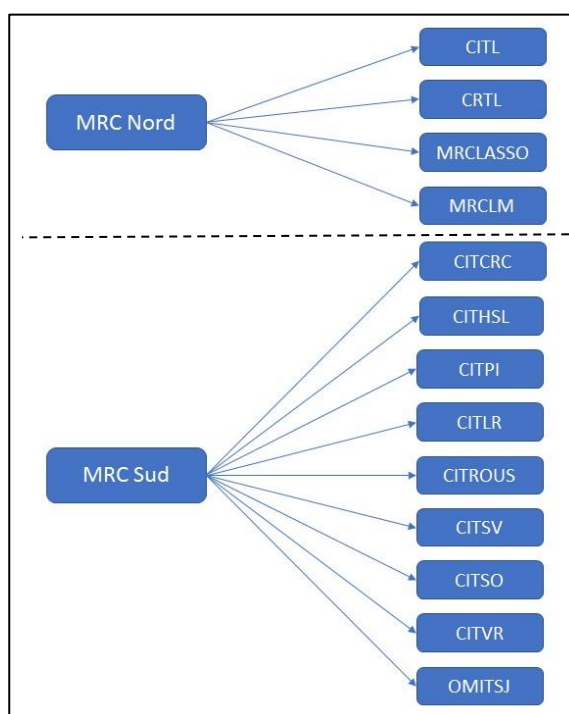


Figure 3.3 : Regroupement des AOT des couronnes Nord et Sud

La figure suivante montre les 3 réseaux (Métro, Train et réseaux de surface c'est-à-dire le bus dans le cas de la région montréalaise) et également le regroupement des différentes AOT. C'est de cette manière que les structures de déplacements seront analysées lorsque nous examinerons l'impact des AOT. Nous appelons ces objets des entités. Le concept d'entité se rapproche ainsi de la notion d'AOT. Pour rappel, une AOT est un organisme qui s'occupe de définir la politique de desserte et tarifaire des usagers des transports en commun. Elle peut gérer directement la partie opérationnelle (fonctionnement en régie) ou confier cette tâche à une entreprise de transport privée. L'entité se définit comme un mode caractérisé par les mêmes fonctions, les mêmes infrastructures et une

géolocalisation proche. Ainsi, sur le territoire du Grand Montréal, 7 entités coexistent (résumées dans la figure suivante) :

- Métro ;
- Train ;
- STM Bus ;
- STL ;
- RTL ;
- MRC Nord ;
- MRC Sud.

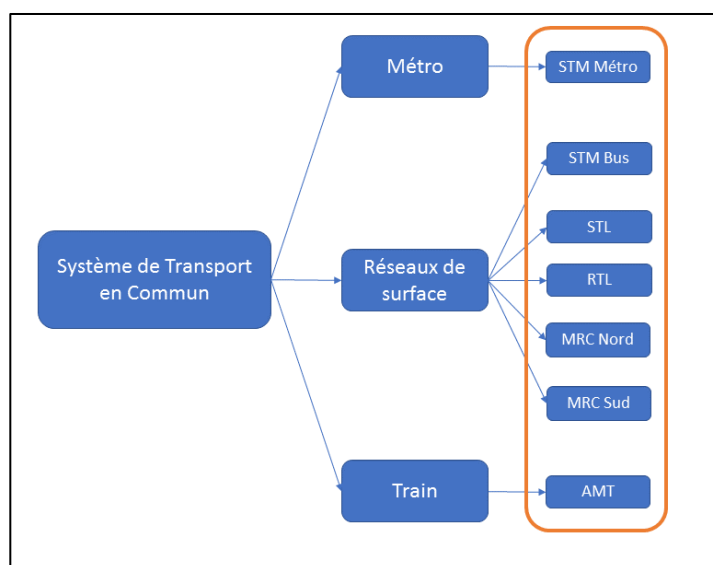


Figure 3.4 : Organisation des entités sur le réseau montréalais

Pour des raisons de meilleure lisibilité des figures, nous utiliserons les abréviations suivantes pour désigner les entités.

Tableau 3.1 : Correspondance entre les entités et les abréviations

Entité	Abréviation
STM Bus	B
STM Métro	M
STL	L
RTL	R
Train	A
MRC Nord	N
MRC Sud	S

3.1.2.2 Le réseau structurant

Un réseau structurant de TC est un réseau qui offre un niveau de service supérieur à la moyenne. Il joue un grand rôle dans l'organisation du transport urbain, mais également dans l'aménagement

urbain. La délimitation entre réseau structurant ou non paraît floue. La distinction se fera non pas, par le mode utilisé, mais par « l'offre de service et de l'articulation étroite entre la planification de la mobilité et l'aménagement du territoire » (Collectivités viables, 2017). Ainsi sur le territoire montréalais, nous considérons que le réseau structurant est composé des lignes de métro et des lignes de train.

Le métro

Le métro de Montréal est un réseau qui dessert principalement l'île de Montréal, mais également les villes de Laval et Longueuil. Il est composé de 4 lignes avec 68 stations (3 stations à Laval et une station à Longueuil). Le métro dessert du Nord au Sud (avec la ligne orange), de l'Ouest à l'Est (avec la ligne verte), le parc Jean-Drapeau et Longueuil (avec la ligne jaune) et la partie Nord de l'île (avec la ligne bleue). Il fait partie intégrante de la ville souterraine de Montréal. Par ailleurs, le métro est connecté avec le train par plusieurs stations (Vendôme, De La Concorde, Parc, Lucien-L'Allier et Bonaventure).



Figure 3.5 : Carte du métro montréalais (<http://www.stm.info/fr/infos/reseaux/metro>)

Le train

Le Grand Montréal est desservi par 6 lignes de train, présentées dans la Figure 3.6. Le réseau occupe pratiquement l'ensemble du territoire. Le train de l'Est (ligne Mascouche) a été inauguré

fin 2014. Cette dernière ligne permet de desservir l'Est de l'île de Montréal et la couronne Nord. Cependant, nous verrons dans la section suivante que nous avons à notre disposition des données de 2013 (EOD et CAP) et 2008 (EOD). Ainsi, nous ne pourrions pas voir l'impact de cette ligne sur les structures de déplacements.

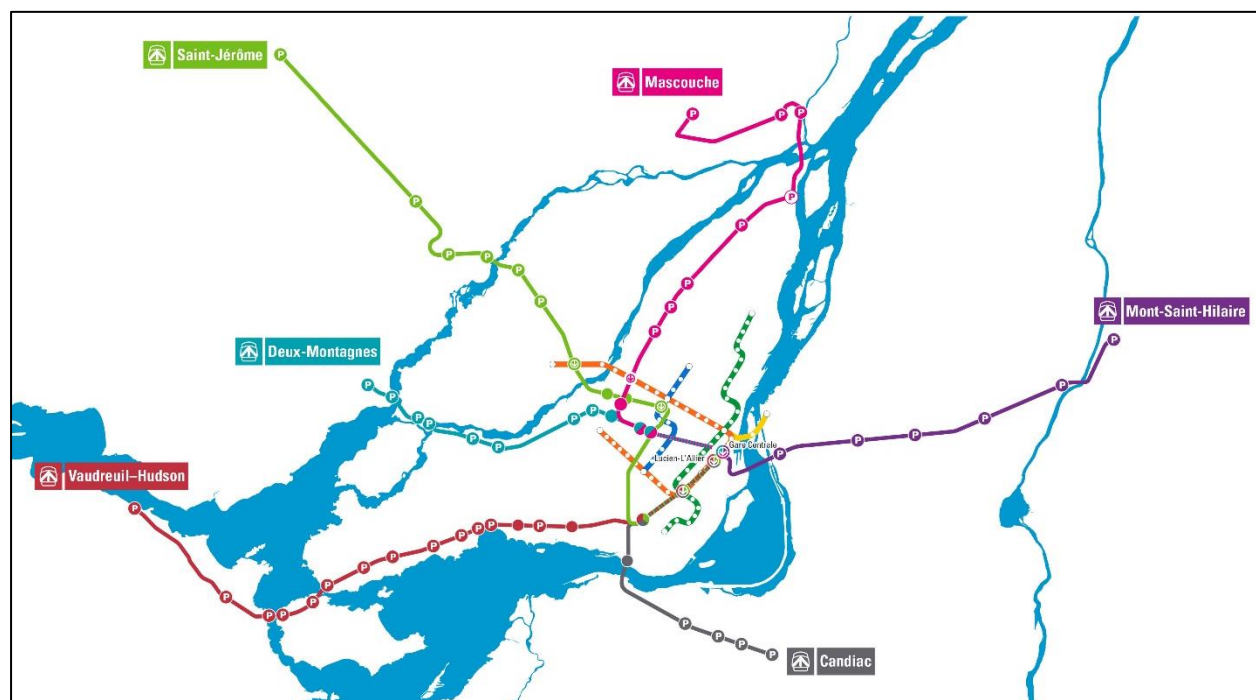


Figure 3.6 : Carte du réseau structurant (<https://www.amt.qc.ca/fr/actualites/nouvelles-evenements/nouvelles/votre-reseau-change-de-couleurs>)

3.2 Les données

Cette section explique les données à disposition lors de ce projet et les traitements initiaux faits.

3.2.1 Les enquêtes Origine-Destination

Nous allons tout d'abord présenter les données des EOD en nous focalisant sur celle de 2013, car l'évolution entre les données de 2008 et de 2013 est minime.

3.2.1.1 La structure des données

Deux ensembles de données de l'EOD, mis à ma disposition par le groupe MADITUC, pour la réalisation de ce projet de maîtrise ont été analysés : un extrait de l'EOD de 2013 et de l'EOD de

2008. Il contient les données des personnes ayant réalisé au moins un déplacement en Transport en Commun.

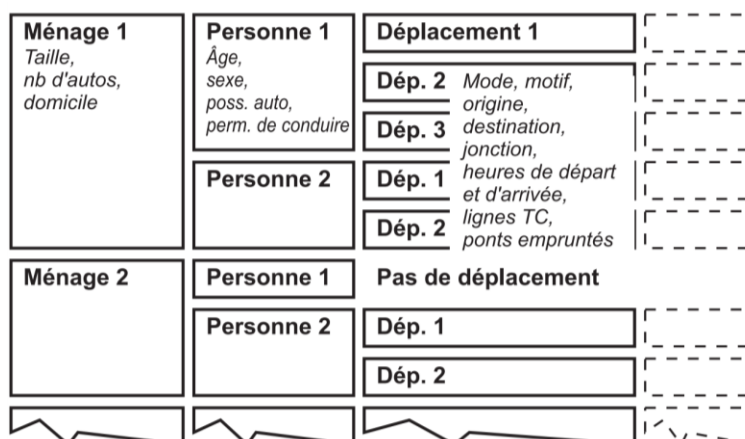


Figure 3.7 : Structure du fichier d'EOD (Trépanier & Chapleau, 2001)

Avec cet ensemble de données, plusieurs extraits de données ont été faits pour exécuter les différents objectifs. Les deux principales missions sont l'étude des structures de déplacements de façon individuelle et l'analyse des systèmes d'activités. Ainsi, un ensemble de données comprend l'ensemble des déplacements ayant un tronçon fait en TC (voir la section suivante pour savoir quels modes seront gardés selon l'EOD). Le deuxième ensemble de données comprend les données des personnes avec les systèmes d'activités. Un traitement de données a été ensuite fait pour nettoyer et valider les données. Des enregistrements ont été supprimés, à cause de données manquantes, pour ne pas obtenir de résultats aberrants (les déplacements dont les lignes ne sont pas renseignées ou les déplacements dont l'origine ou la destination n'est pas indiquée). Après cette étape, le jeu de données comprend 59 088 déplacements enquêtés soit 1 475 225 déplacements redressés avec les facteurs de pondération présents dans l'EOD. Concernant les personnes, l'ensemble de données contient 29 122 personnes enquêtées soit 724 505 personnes après redressement. Toutes les analyses seront désormais faites à partir des résultats redressés.

Dans l'EOD, il faut faire attention entre le mode de transport déduit et les moyens de déplacements des personnes. Le tableau suivant présente les 9 modes de transport de l'EOD de 2013. Il y a d'un côté les modes de transport monomodes, tels que l'Auto Conducteur ou Marche et Vélo, et d'un autre côté, ceux qui combinent plusieurs moyens de transport qui sont Park-and-Ride, Kiss-and-Ride et Autres Jonctions.

Tableau 3.2 : Mode de transport présent dans l'EOD 2013

Auto conducteur AC	Transport en commun TC	Park and Ride PR	Marche Vélo MV	Autres AU
Autres Jonctions AJ	Auto passager AP	Kiss and Ride KR	Bus Scolaire BS	

Le tableau suivant (Tableau 3.3) décrit la correspondance entre les moyens de déplacement et les modes définis dans l'EOD. Les X indiquent dans quelles catégories sont rangés les différents moyens de déplacement. Le TC est un mode en tant que tel qui n'utilise que le Transport en Commun, mais d'autres modes utilisent le système de TC. Le Park-and-Ride (PR) et le Kiss-and-Ride sont dans ce cas. Ce sont des moyens de transport bimodaux : ils utilisent la voiture comme mode pré ou post TC (en auto conducteur pour le PR et en auto passager pour le KR). Le dernier mode, beaucoup plus marginal, comprend un déplacement en TC couplé avec un autre mode, autre que la voiture. Il s'agit du mode Autres Jonctions (AJ). Ce mode effectue principalement les jonctions en vélo ou en taxi. Au vu du tableau, les modes de transport retenus quant à l'étude des déplacements des usagers de TC sont donc TC, PR, KR et AJ.

Tableau 3.3 : Correspondance entre le mode de transport issu de l'EOD et les modes empruntés

	AC	AP	TC	PR	KR	MV	BS	SD	AU	AJ	ND
<i>métro</i>			X	X	X					X	
<i>STM</i>			X	X	X					X	
<i>RTL</i>			X	X	X					X	
<i>STL</i>			X	X	X					X	
<i>auto</i>	X	X		X	X					X	
<i>autop</i>		X			X					X	
<i>autoc</i>	X			X						X	
<i>autrebus</i>			X						X	X	
<i>busscol</i>			X				X			X	
<i>taxi</i>			X	X	X				X	X	
<i>train</i>			X	X	X					X	
<i>a_pied</i>			X			X				X	
<i>moto</i>									X	X	
<i>velo</i>			X			X				X	
<i>cit</i>			X	X	X					X	
<i>au_mode</i>				X					X	X	
<i>tr_adap</i>				X					X	X	
<i>indet1</i>				X					X	X	

3.2.1.2 Les itinéraires des déplacements

Grâce à plusieurs méthodes expliquées dans la section 2.1.1.3, le groupe de recherche MADITUC a mis au point le logiciel MADIGAS (MADITUC Interactive Graphic Analysis System) qui

modélise l'itinéraire sur le réseau routier et le réseau de TC. Les déplacements à pied, pour finir ou commencer le déplacement, sont modélisés comme des trajets à vol d'oiseau.

3.2.2 Les données de cartes à puce

La structure des données de CAP est bien plus sommaire que celle des EOD. Elles ont un besoin de traitement et de vérification moindre du fait de la simplicité des données et d'une absence de non-renseignement d'un champ. Contrairement aux données présentes dans l'EOD, ce sont des transactions qui sont enregistrées. Les champs bruts de données sont :

- L'identifiant de la carte ;
- Le code produit du titre utilisé ;
- L'heure de la transaction ;
- L'équipement utilisé lors de la transaction (principalement boîte de perception, portevantaux et tourniquet) ;
- La ligne empruntée ;
- La station de métro lors de l'entrée dans le métro ;
- La gare s'il y a prise du train et validation du titre.

La première étape est de reconstruire un déplacement à partir des données. Elle est réalisée à l'aide du groupe MADITUC qui a déjà expérimenté cette méthode dans l'article (Spurr et al., 2015). La méthode suit trois règles:

- Un voyage ne peut excéder 120 minutes ;
- Un voyage ne peut inclure deux entrées successives dans le métro ;
- Un voyage ne peut pas utiliser deux fois la même ligne.

À l'origine, 1 980 360 transactions composent le fichier. Elles comprennent l'ensemble des transactions sur la région du Grand Montréal. À la suite du traitement indiqué ci-dessus, l'ensemble de données comprend autant d'enregistrements que de déplacements avec au total 1 402 436 déplacements. La journée choisie pour effectuer l'analyse représente un jour moyen de semaine, sans événement particulier (sportif, etc.). D'après les diverses études faites par le groupe

MADITUC (pour éviter des journées avec des données erronées), le jeudi 24 octobre 2013 a été sélectionné. Cependant, après avoir étudié en détail, il s'est avéré que ce jour se situe durant la semaine de relâche du semestre d'automne de l'Université de Montréal (<http://registraire.umontreal.ca/dates-importantes/calendriers-universitaires/>). Comme avec l'EOD, un deuxième ensemble de données est créé pour traiter des chaînes de déplacements des personnes, plus précisément des titres. Cela représente 702 574 titres.

3.3 Méthodologie de traitement

3.3.1.1 Logiciels utilisés

L'ensemble des traitements et des calculs est réalisé à l'aide du logiciel Excel (version 2016). Pour les analyses cartographiques, le logiciel QGIS (version 2.18), open-source, est choisi pour représenter les différents phénomènes de mobilité.

3.3.1.2 Méthodologie d'analyse

L'étude s'articule en deux parties. Tout d'abord, l'étude s'intéresse aux chaînes de déplacements. Ainsi, le premier traitement est de constituer, pour chaque personne dans l'EOD (et chaque titre dans les CAP), un ensemble d'indicateurs :

- la chaîne des déplacements effectués ;
- le nombre total de déplacements sur une journée ;
- la distance totale sur une journée (seulement pour l'EOD) ;
- la détermination du motif du premier et du dernier déplacement (seulement pour l'EOD).

Concernant les déplacements de façon individuelle, les divers traitements sont, entre autres :

- l'élaboration de la séquence des entités empruntées ;
- le calcul du nombre de correspondances
- l'attribution de la distance réelle avec celle mesurée par MADIGAS (seulement pour l'EOD) ;

- la caractérisation précise des déplacements pour motif Retour (seulement pour l'EOD).

Pour finir, l'étude s'attarde à traiter le réseau structurant et notamment le métro. Pour le métro, les divers indicateurs calculés sont :

- le nombre total d'entrées par station ;
- le nombre d'entrées par entité par station ;
- la distance parcourue pour se rendre à chaque station (seulement pour l'EOD) ;
- la proportion d'entités par secteur de domicile de l'utilisateur (seulement pour l'EOD).

CHAPITRE 4 EXPLORATION ET TRAITEMENT DES DONNÉES DE L'ENQUÊTE ORIGINE-DESTINATION

Dans un objectif de compréhension de la structure des déplacements, les prochaines sections détaillent du traitement et de l'exploitation des données d'EOD. Tout d'abord, la première partie traitera de l'EOD 2013 et des conclusions qu'on peut en tirer sur la situation actuelle du transport en commun dans la région montréalaise. La première section sera décomposée pour étudier tout d'abord, le concept de personnes et ainsi les systèmes d'activités, puis les caractéristiques d'un déplacement. Il faut noter que la mobilité est un phénomène variable. Les comportements peuvent évoluer très rapidement au gré de nombreux facteurs (amélioration ou dégradation d'un mode de transport - par exemple, l'ajout d'une nouvelle ligne pour le Transport en Commun, émergence d'un nouveau mode de transport - par exemple, le vélo-partage, etc.). Cette variation en transport en commun sera analysée dans le second volet grâce à l'étude de l'EOD de 2008.

4.1 La situation actuelle à travers l'Enquête Origine-Destination de 2013

4.1.1 Les systèmes d'activités

Tout d'abord, il est important de connaître la structure des déplacements sur une journée. Lorsque plus de deux déplacements dans la journée sont réalisés (c'est-à-dire plus d'une activité dans la journée), il est fort à parier que les différents déplacements ont une influence entre eux.

4.1.1.1 Les titres utilisés dans l'Enquête Origine-Destination

Les titres utilisés sont une caractéristique importante dans la prise du TC et dans la structure des déplacements TC. Premièrement, nous allons analyser les titres selon la classification faite dans l'EOD, c'est-à-dire selon la possession d'un titre mensuel et l'entité utilisée (Figure 4.1). Logiquement, les personnes utilisant le titre mensuel de la STM (qui donne accès au réseau de bus de la STM et aux stations de métro se situant sur l'île de Montréal) sont largement majoritaires (388 625 personnes soit 53,7% des personnes utilisant le TC). La classe de personnes suivante est celle des personnes ne possédant pas de titre mensuel (18,7% des personnes). De plus, dans un contexte de tarification intégrée, il est intéressant de voir que les titres mensuels intégrés (qui

combine plusieurs AOT) représentent 16,4% des personnes. Il est notamment remarquable que ce chiffre soit proche de la part des déplacements bientités faits en partie en métro (excepté avec la STM Bus) en période de pointe du matin (92 000 déplacements sur 450 000 soit 20,5%). En termes de nombre de déplacements, les personnes situées sur l'île de Montréal et possédant un titre mensuel font en moyenne plus de 2 déplacements par jour. C'est donc la seule classe de personnes qui effectue plus de 2 déplacements quotidiennement. Les personnes qui n'ont pas de titre mensuel sont logiquement celles qui font le moins de déplacements en TC. Pour une analyse plus fine du nombre de déplacements par personne, il faudrait sans doute traiter les données sur une semaine, ce que l'EOD ne permet pas de faire. Les personnes ayant un titre mensuel réaliseraient sans doute en moyenne plus de déplacements en TC que les autres.

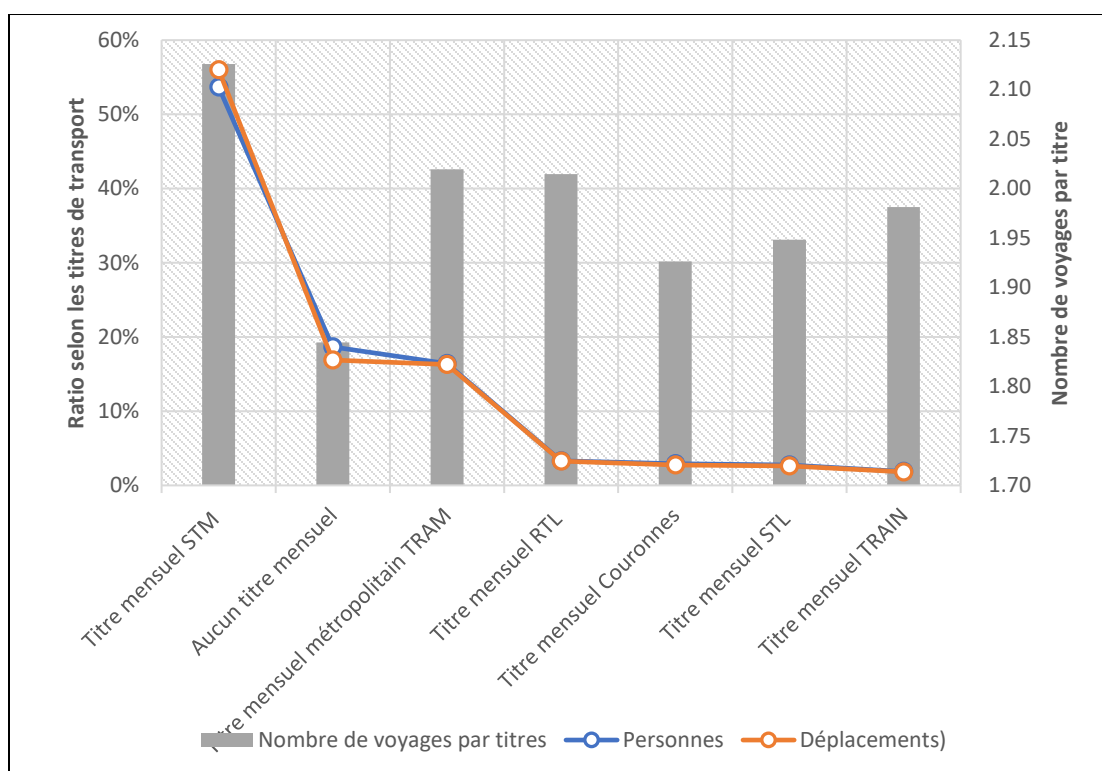


Figure 4.1 : Nombre de déplacements par titre

Maintenant, pour nous rapprocher de la structure des CAP, nous allons caractériser les titres selon qu'ils soient forfaitaires ou unitaires, et qu'ils soient à tarif ordinaire ou réduit. Les personnes qui ont droit au tarif réduit sont les personnes de moins de 17 ans, les étudiants de 17 à 25 ans et les personnes de plus de 65 ans. Les forfaits ordinaires représentent plus de la moitié des titres. Par ailleurs, les personnes avec des titres réduits sont plus nombreuses que celles ayant des titres

unitaires ordinaires. Ces personnes envisagent donc plus aisément le TC comme une solution à leur besoin de se déplacer.

En s'intéressant au nombre de déplacements par titre, on remarque que les personnes qui utilisent des forfaits font plus de déplacements que ceux ayant des titres unitaires (plus de 2,05 déplacements par titre forfaitaire contre moins de 1,85 déplacement par titre unitaire). Les journées avec un seul déplacement en TC sont plus courantes chez les personnes avec des titres unitaires. Les personnes sont aussi moins nombreuses à faire des journées avec plus de 2 déplacements en TC. Ainsi, la structure d'une journée pour un usager de TC est, dans la très grande majorité des cas, une journée composée de deux déplacements.

Tableau 4.1 : Répartition des titres

Titre	Personnes	Déplacements
Forfait Ordinaire	381 364 (53%)	798 961 (54%)
Forfait Réduit	205 338 (28%)	422 470 (29%)
Unitaire Ordinaire	40 056 (6%)	71 746 (5%)
Unitaire Réduit	97 716 (13%)	182 046 (12%)
Total	724 505	1 475 225

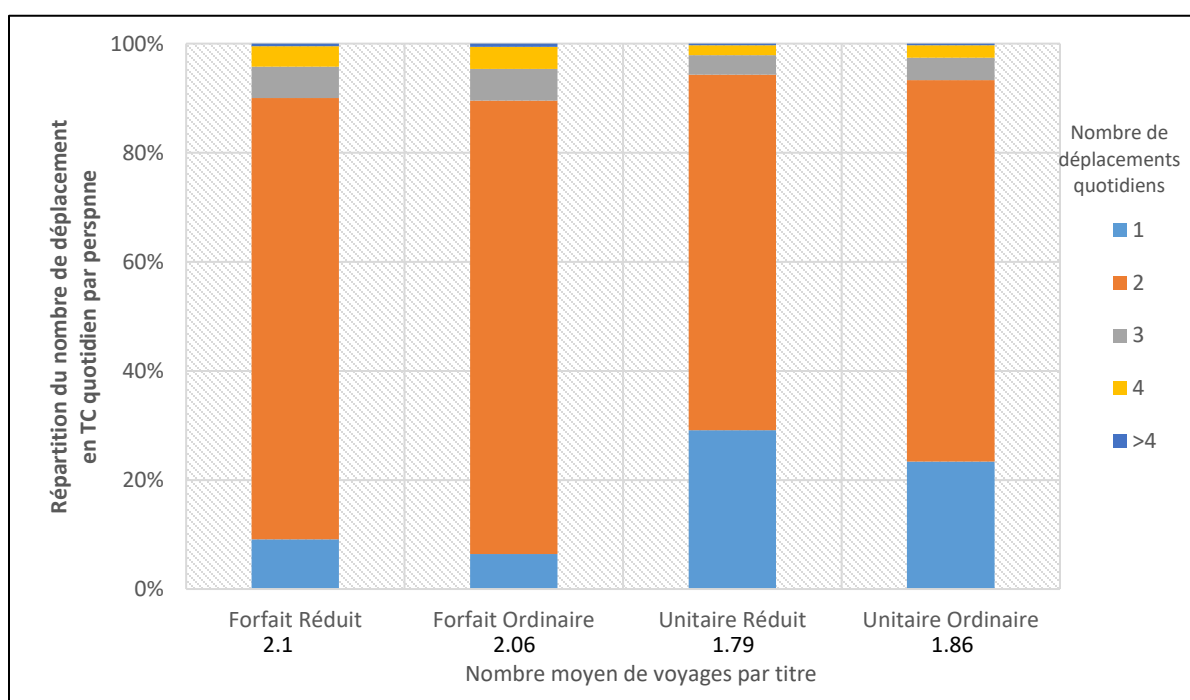


Figure 4.2 : Répartition du nombre de déplacements quotidiens par titre

4.1.1.2 Le nombre de déplacements

Avec les données d'usagers du TC de l'EOD, deux cas de figure sont possibles à analyser. L'étude peut soit porter sur l'ensemble des personnes ayant réalisé au moins un déplacement en TC, soit uniquement sur les personnes ayant fait la totalité de leurs déplacements en TC. Concernant le premier ensemble, on étudiera le nombre de déplacements par personne puis le nombre de déplacements faits en TC par personne. Ces distinctions (Figure 4.3) ont été réalisées pour permettre de comprendre les systèmes d'activités et la part des déplacements TC dans les structures de déplacements. La séparation entre le nombre de déplacements quotidiens et le nombre de déplacements en TC quotidiens se fait aussi dans l'optique du traitement des CAP qui possèdent évidemment seulement des données concernant les déplacements en TC.

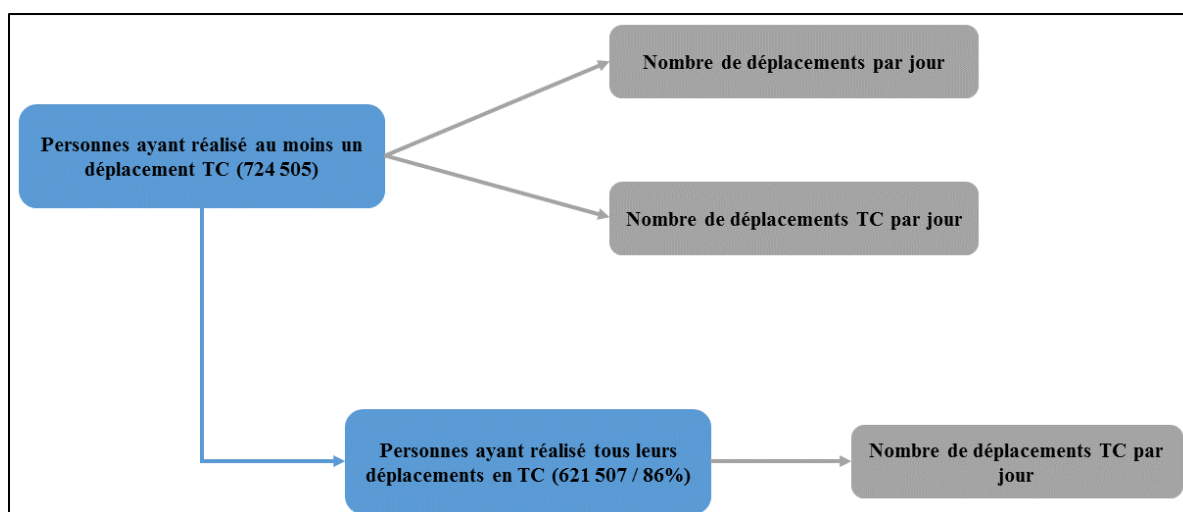


Figure 4.3 : Traitement des systèmes d'activités

Tout d'abord, le cas de l'ensemble des personnes ayant fait au moins un déplacement TC est examiné. Dans l'EOD de 2013, 724 505 personnes ont pris au moins une fois le TC. Parmi ceux-là, 86% ont exclusivement fait leurs déplacements en TC. Cet ensemble sera étudié dans un second temps. Trois quarts des personnes (76%) réalisent 2 déplacements en TC dans leur journée. La prochaine section considérera les motifs présents dans la chaîne et appuiera la dominance de la structure « métro-boulot-dodo ». Toutes les chaînes de déplacements ne respectent pas les règles de chaînes comme celle définie par Shiftan (1998). Une part des personnes (6%) réalisent seulement un déplacement. C'est assez curieux, car faire moins de 2 déplacements dans une journée implique que la personne ne soit pas à son domicile à la fois le matin et le soir. C'est donc un biais

de l'EOD qui fait que les personnes ont peut-être des journées décalées dans le temps et non pas une journée dite conventionnelle, c'est-à-dire, un départ du domicile le matin et un retour au domicile le soir.

Ces structures comprennent également des déplacements autres que le TC. Cependant, notre objet d'étude est la structure des déplacements en TC et la comparaison qui peut être faite entre les résultats de l'EOD et les CAP. Donc, parmi ces structures, nous allons nous intéresser au nombre de déplacements en TC. Logiquement, on retrouve une part inférieure du nombre de déplacements en TC (2,03 déplacements en TC en moyenne contre 2,24). La proportion de faire 2 déplacements en TC dans sa chaîne est plus élevée (80%), ce qui permet de témoigner de la pendularité des déplacements en TC. On remarque également une proportion assez élevée de la singularité des déplacements faits en TC (11% soit 70 000 personnes). Sur ce nombre, 40 000 personnes (57%) ont réalisé qu'un déplacement, tandis que les autres ont réalisé, en plus de leur déplacement en TC, un déplacement en voiture, un mode actif ou autre.

Par ailleurs, plus le nombre de déplacements en TC augmente dans une journée, plus la distance effectuée en TC augmente. Cela semble logique, mais l'augmentation observée n'est pas proportionnelle. Ainsi, les personnes ne réalisant qu'un déplacement en TC font des déplacements courts (moins de 10 km). Lorsque les personnes font plus de 2 déplacements en TC par jour, l'augmentation est très faible par rapport aux personnes faisant 2 déplacements (+1,1 km pour ceux faisant 3 déplacements en TC et +2,3 km pour ceux faisant 4 déplacements en TC). Ainsi, les personnes rentabilisent leurs longs déplacements, souvent liés au Travail ou aux Études en enchaînant une activité secondaire à leur activité primaire.

Logiquement, les personnes ayant fait un seul déplacement en TC ont réalisé des déplacements avec d'autres moyens de transport (47,6%). Ce sont les personnes qui ont réalisé deux déplacements en TC qui ont la plus grande probabilité d'avoir utilisé seulement le TC pour voyager. Il est difficile d'examiner et de conclure des systèmes d'activités pour les personnes réalisant un seul déplacement en TC. Cependant, cette catégorie est à étudier et à comparer avec les données de CAP et notamment les personnes utilisant un titre unitaire.

Tableau 4.2 : Caractérisation des systèmes d'activités selon le nombre de déplacements par personne

Nombre de déplacements TC par jour	Nombre de personnes	Pourcentage des systèmes d'activités avec des déplacements uniquement en TC	Distance effectuée en une journée (en km)
1	77 736 (11%)	52,4%	9,9
2	577 656 (80%)	90,4%	26,5
3	39 453 (5%)	83,0%	27,6
4	25 994 (4%)	87,5%	28,8
>4	3 667 (1%)	85,1%	33,3
Total	724 505	85,8%	24,9

Maintenant, passons au cas où seules les personnes ayant faits uniquement des déplacements en TC sont prises en compte. La proportion de 2 déplacements en TC par jour est encore plus importante (84%). Cette différence vient du fait qu'il y a moins (en proportion) de chaînes avec un seul déplacement (7% contre 11%).

En moyenne, les personnes utilisant seulement le TC comme mode de déplacement réalisent en moyenne 2,07 déplacements par jour. C'est légèrement moins que pour l'ensemble des personnes mobiles de la région montréalaise (en moyenne 2,47 déplacements soient 13% des déplacements en moins pour les usagers des TC). Cette classe de personnes est donc plus contrainte par son mode de déplacement. La très grande majorité des personnes (84%) utilisant le TC ne font que 2 déplacements.

4.1.1.3 Le motif et la durée d'activité

Nous allons tout d'abord analyser les structures de déplacements à l'aide des motifs des différents déplacements. Nous nous intéressons aux déplacements faits en TC parmi les personnes ayant au moins fait un déplacement en TC comme le montre la Figure 4.4 suivante. Ce choix s'est fait avant tout pour pouvoir comparer les résultats des prochaines sections avec ceux que nous obtiendrons avec les données de CAP.

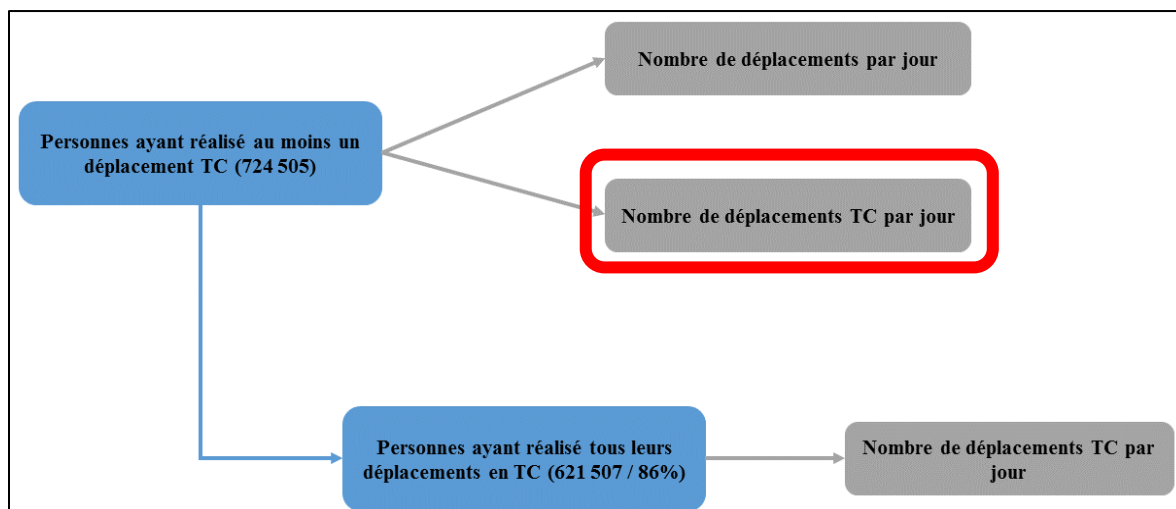


Figure 4.4: Choix de la base de données à analyser

Par ailleurs, il est intéressant de voir la relation des structures de déplacements avec les durées des activités. Ainsi, nous avons construit une matrice qui compile les périodes du début et de fin de l'activité. Dans la majorité des cas, les personnes réalisent qu'une seule activité. Les périodes de début et de fin d'activités sont agrégées par période de 30 minutes comme ce qui a été réalisé lors de la distribution temporelle. La structure majoritaire découverte dans les sections précédentes est confirmée par la Figure 4.5. Les deux pics d'activités ont la même durée d'activité moyenne (voir Annexe B). La majorité des personnes partent ainsi entre 6h et 8h30 et repartent entre 16h et 18h qui correspond à la journée classique d'un travailleur.

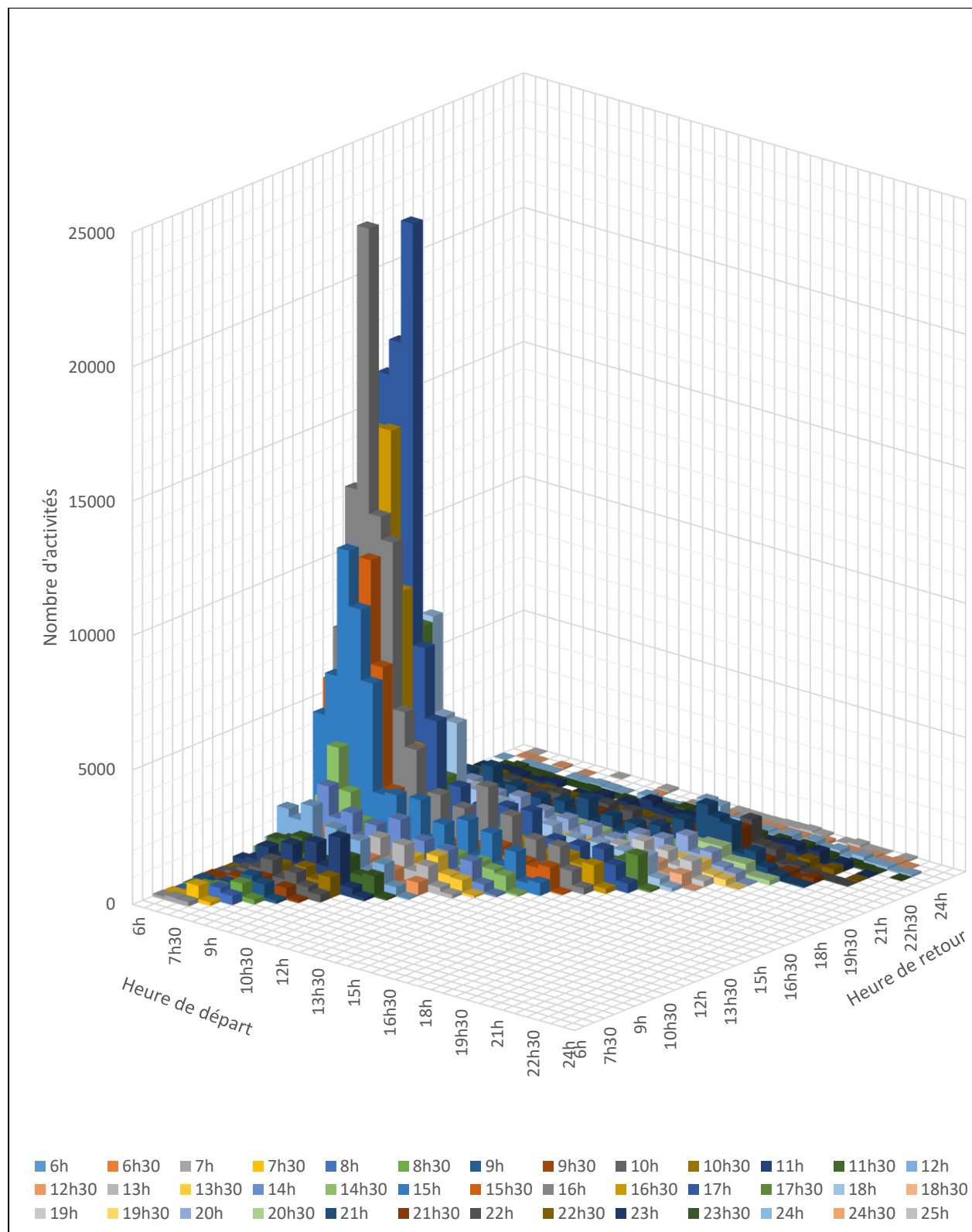


Figure 4.5 : Période de départ et de retour des activités

Le Tableau 4.3 présente les premières activités pour chacun des systèmes d'activités (classés selon le nombre de déplacements en TC faits dans une journée). L'étude s'intéresse aux premières activités, car elles jouent un rôle prépondérant dans la structure des déplacements. On retrouve les mêmes ordres de grandeur dans les motifs des premiers déplacements des personnes que ceux observés lors des déplacements lors de la période de pointe du matin. C'est particulièrement le cas pour les personnes réalisant deux déplacements (86% des déplacements ont pour motif Travail ou Étude lorsqu'une personne fait deux déplacements en TC dans la journée contre 94% des déplacements ont pour motif Travail ou Étude en période de pointe du matin). Pour les structures de 3 ou 4 déplacements, la part des personnes commençant leur journée par un déplacement de motif Travail ou Étude est plus faible (65% pour les chaînes de 4 déplacements et 67% pour celles de 3 déplacements). Les structures avec seulement un déplacement en TC ont une forte proportion de « première activité » autre que Travail ou Étude. En se focalisant sur ces personnes, elles ont généralement comme première activité, un retour à domicile. Ces personnes ont donc réalisé un déplacement aller sans prendre le TC (sans doute en auto passager ou en mode actif).

Tableau 4.3 : Motifs de déplacements des systèmes d'activités

Nombre de déplacements TC ▼	1ère activité			Total ▼
	Travail ▼	Étude ▼	Autre motif ▼	
1	20 660	10 713	46 363	77 736
2	291 362	202 974	83 319	577 656
3	15 527	11 150	12 775	39 453
4	8 250	8 515	9 228	25 994
>4	715	781	2 171	3 667
Total	336 515	234 133	153 857	724 505

L'existence de données désagrégées dans l'EOD rend possible le groupement des déplacements dans la période voulue. Après avoir agrégé les déplacements par différentes périodes (10 minutes, 30 minutes et 1 heure), le choix s'est arrêté sur une agrégation de 30 minutes. Cette sélection permet d'avoir une vision fine des déplacements sans pour autant être confronté à l'un des biais de l'EOD. En effet, les usagers ont tendance à arrondir leurs heures de départ. Ainsi, si l'agrégation est trop fine, on aperçoit un pic de fréquentation disproportionné aux heures pile. Les déplacements pour motif Travail et Étude sont largement majoritaires lorsqu'on exclut les déplacements pour motif Retour au domicile (respectivement 353 588 (24,0%) et 243 267 déplacements (16,5%)). Comme vu dans la section 4.1.1.2, les personnes réalisent majoritairement deux déplacements dans une

journée. Ainsi, il est logique de voir que les déplacements pour motif Retour occupent pratiquement la moitié des déplacements (45,0% des déplacements en TC).

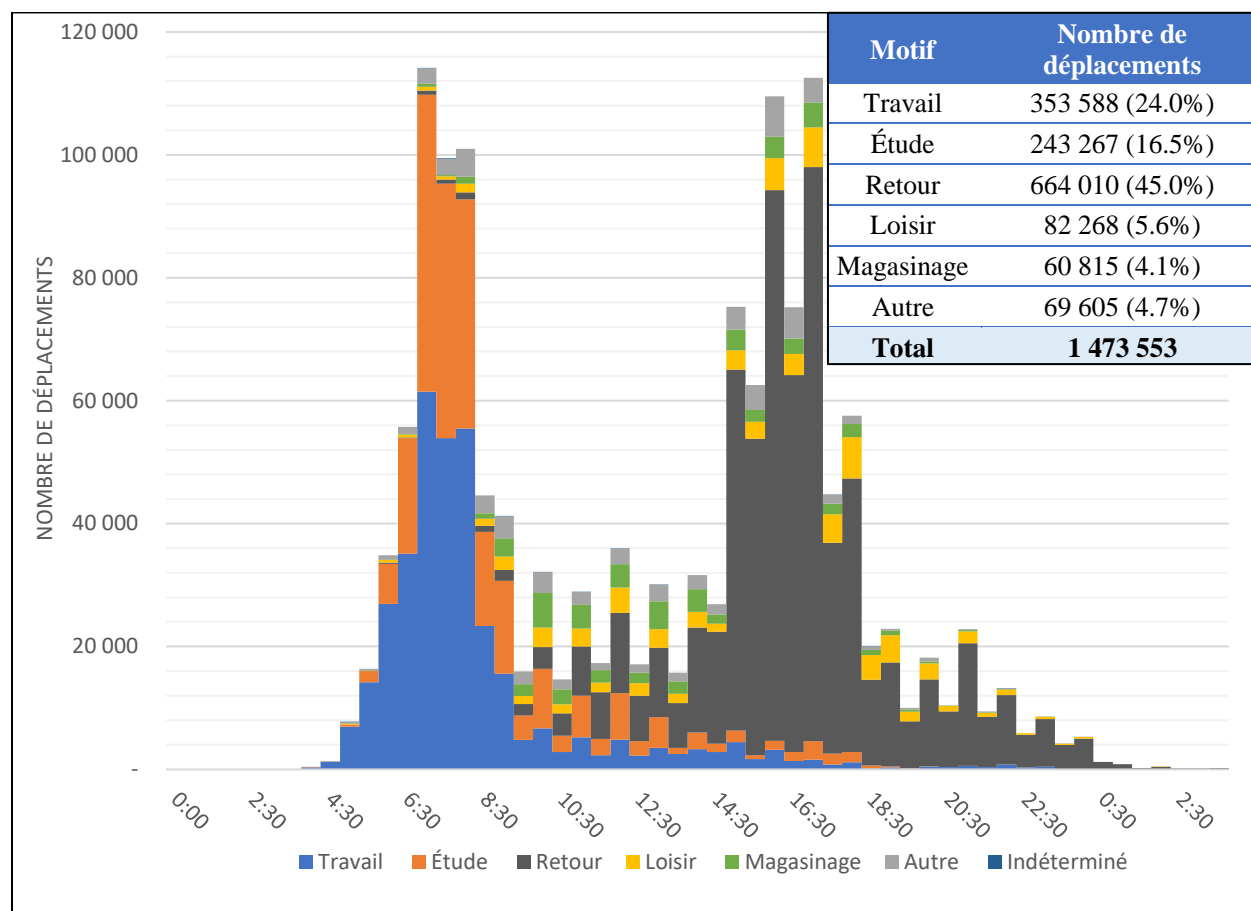


Figure 4.6 : Distribution temporelle des déplacements (par période de 30 minutes)

Le Tableau 4.4 complète la structure 3D (Figure 4.5) et détaille, pour chaque catégorie d'activité, les périodes de début et de fin. Il ne présente pas les activités commençant avant 6h (à des fins de lisibilité), cela ne concernant que 3,5% des activités. Par ailleurs, pour les personnes ayant réalisé un seul déplacement en TC, la durée d'activité n'a pas été calculée d'où un nombre total de 628 000 activités. Tout d'abord, en analysant colonne par colonne, c'est-à-dire par période de début d'activité, on remarque que les déplacements lors de la période de pointe du matin (6h-9h) sont généralement contraints par l'activité principale (principalement Travail et Étude). Ils représentent 94% des déplacements. Ils ont pour principale destination le centre-ville (43% des déplacements ont pour destination les secteurs municipaux Montréal Centre-ville et Montréal Centre-ville périphérique). Lors de la période de pointe du soir (15h30-18h30), plus de déplacements sont réalisés que lors de la pointe du matin (29 200 déplacements de plus). Les motifs sont plus

diversifiés, mais la grande majorité des déplacements sont des retours au domicile. Le projet spécifie, pour les déplacements Retour à domicile, le motif du déplacement précédent pour pouvoir comparer avec les motifs lors de la période de pointe du matin. Par exemple, un déplacement qui a pour motif Retour_Travail est un déplacement qui a pour motif Retour à domicile dont le déplacement précédent a pour motif Travail. On découvre les mêmes ordres de grandeur entre les motifs des déplacements de la période du matin et les déplacements Retour de la période de pointe du soir (Figure 4.7). Ainsi 58% des déplacements en période de pointe du soir ont pour motif Retour_Travail contre 57 % des déplacements en période pointe du matin pour motif Travail. Ces chiffres démontrent la pendularité des déplacements des usagers du TC. On observe une analogie moins marquée pour les déplacements de motif Étude (37% des déplacements en période du matin contre 31% en période de pointe du soir). Cette différence est due à la caractérisation de la période pointe du soir qui commence à 15h30. Or, certains étudiants finissent vers 15h et sont donc comptabilisés dans la période hors pointe. Ainsi, un étudiant a une journée se terminant plus tôt qu'un travailleur. Cela se ressent dans la durée moyenne des activités qui sont plus courtes pour l'Étude que pour le Travail (7h26 contre 8h52). Par ailleurs, lors de la période de pointe du soir, il existe également davantage de déplacements avec pour motif des activités secondaires. Ces déplacements (Magasinage et Loisirs) représentent 10% des déplacements lors de cette période contre seulement 2% de déplacements en période de pointe du matin. La période de pointe du soir combine donc retours au domicile (fortement liés au motif du déplacement de la période de pointe du matin) et des activités secondaires (Magasinage, Loisirs). L'analyse des activités, autres que Travail et Étude, montre que ces activités sont beaucoup moins liées aux périodes de pointe. Les activités Loisir sont principalement réalisées en soirée alors que les activités Magasinage se déroulent autour de la période du midi. Les activités Magasinage sont les plus courtes (2h20 en moyenne). Les activités Autre sont homogènes dans le temps et sont également de courte durée (2h37).

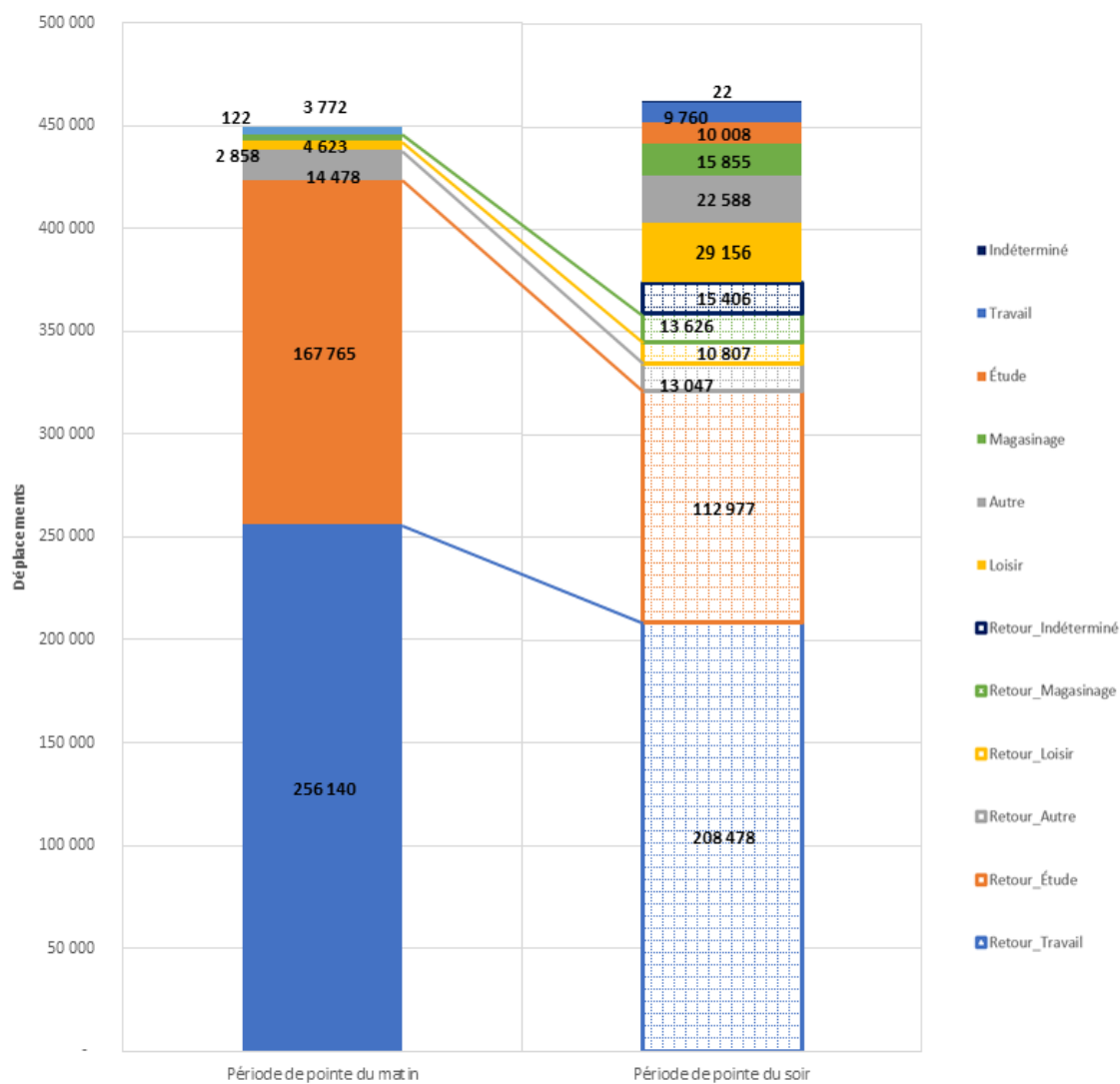


Figure 4.7 : Variation des motifs entre la période de pointe du matin et du soir

Tableau 4.4 : Matrice d'activité

	Période de début	Période de fin					Total
		6h-9h	9h-12h	12h-15h30	15h30-18h30	Après 18h	
Travail	6h-9h		2 861	19 820	199 001	16 191	237 873
	9h-12h		1 385	5 772	15 580	9 473	32 210
	12h-15h30			1 178	5 868	12 364	19 411
	15h30-18h30				628	6 139	6 767
	Après 18h					420	420
	Total	-	1 385	6 951	22 077	28 396	296 682
Etude	6h-9h	213	7 715	54 030	86 643	9 841	158 443
	9h-12h		908	11 228	20 032	5 871	38 040
	12h-15h30			1 558	12 327	6 525	20 410
	15h30-18h30				402	8 465	8 867
	Après 18h					537	537
	Total	213	8 624	66 816	119 404	31 240	226 296
Loisir	6h-9h	355	1 356	841	643	230	3 426
	9h-12h		1 409	5 837	2 281	521	10 048
	12h-15h30			3 191	6 966	2 895	13 051
	15h30-18h30				2 295	16 453	18 747
	Après 18h					10 443	10 443
	Total	355	2 765	9 869	12 184	30 542	55 715
Magasinage	6h-9h	122	1 110	597	361	92	2 282
	9h-12h		5 601	8 292	1 805	195	15 893
	12h-15h30			8 317	7 646	973	16 935
	15h30-18h30				5 161	4 919	10 080
	Après 18h					1 917	1 917
	Total	122	6 711	17 206	14 972	8 096	47 107
Autre	6h-9h	2 997	5 223	2 013	1 512	99	11 843
	9h-12h		4 106	5 768	1 496	161	11 530
	12h-15h30			4 183	6 057	577	10 818
	15h30-18h30				4 767	2 612	7 379
	Après 18h					1 079	1 079
	Total	2 997	9 329	11 964	13 833	4 528	42 650
Total		3 688	28 813	112 806	182 470	102 801	668 451

Par ailleurs, dans la section 4.1.1.2, l'étude a montré que certaines personnes ne réalisent qu'un seul déplacement. Ainsi, cela contredit la notion de chaîne. C'est pourquoi le graphique suivant approfondit ce problème de manière plus globale. La Figure 4.8 présente le nombre de systèmes d'activités finissant par un retour à domicile en TC. Ensuite, le graphique détaille le nombre de

déplacements que la personne a réalisé dans la totalité de la journée. La proportion est calculée de la manière suivante :

$$\delta (\%) =$$

$$\frac{\text{Nombre de personnes selon le nombre de déplacements en TC sur 1 jour et le motif du dernier déplacement}}{\text{Nombre de personnes selon le nombre de déplacements en TC sur 1 jour}}$$

La figure permet de voir quel type de structures de déplacements en TC ne respectent pas la définition faite par Shiftan (1998), qui impose que le dernier déplacement se termine au domicile. La grande majorité des personnes (87% des personnes) finissent par un retour au domicile. Plus le nombre de déplacements augmente, plus la part des personnes terminant leur journée par un retour au domicile diminue. Cela peut signifier que les personnes ont probablement un autre moyen pour rentrer à leur domicile (marche, vélo ou en auto passager). En revanche, avec les chaînes de 2 déplacements TC, 94% des chaînes se terminent par un retour au domicile. Ces chiffres s'expliquent par la proportion des chaînes avec uniquement des déplacements en TC (voir Tableau 4.2).

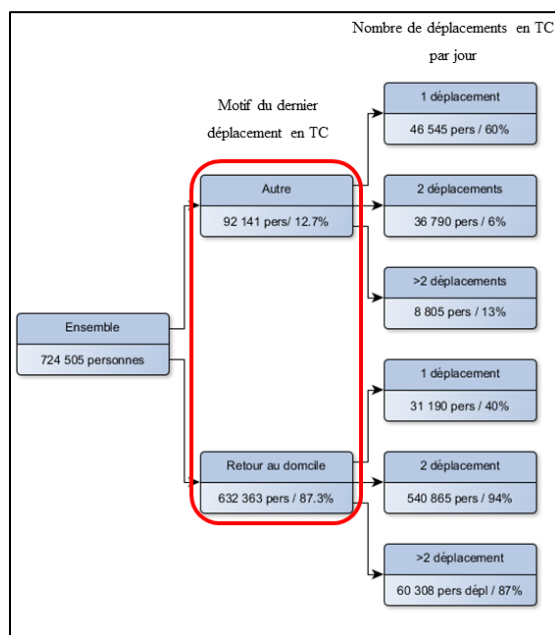


Figure 4.8 : Système d'activités se terminant par un retour au domicile

4.1.1.4 La symétrie des déplacements

La figure suivante présente les séquences de déplacements selon les AOT utilisées lors des différents déplacements. Les chaînes sont analysées pour savoir si les déplacements sont

symétriques, ce qui devrait être la norme la plus courante. Une chaîne est dite symétrique si les déplacements utilisent les mêmes lignes, mais dans un ordre inversé. Par exemple, une chaîne STM Bus/Métro-Métro/STM Bus, soit un premier déplacement composé d'un tronçon en STM Bus puis d'un tronçon en métro puis d'un deuxième déplacement composé d'un tronçon en métro puis d'un tronçon en STM Bus, est une chaîne symétrique. Les systèmes d'activités avec un nombre de déplacements impairs ne peuvent pas avoir une structure symétrique même si d'autres structures sont notables. Pour les structures avec 4 déplacements, deux types de structures symétriques sont possibles, présentés dans la Figure 4.9. Premièrement, deux chaînes $(x - \bar{x} - y - \bar{y})$ forment la structure des déplacements de la journée. Deuxièmement, la structure avec une seule chaîne composée de deux boucles est de la forme $x - y - \bar{y} - \bar{x}$.

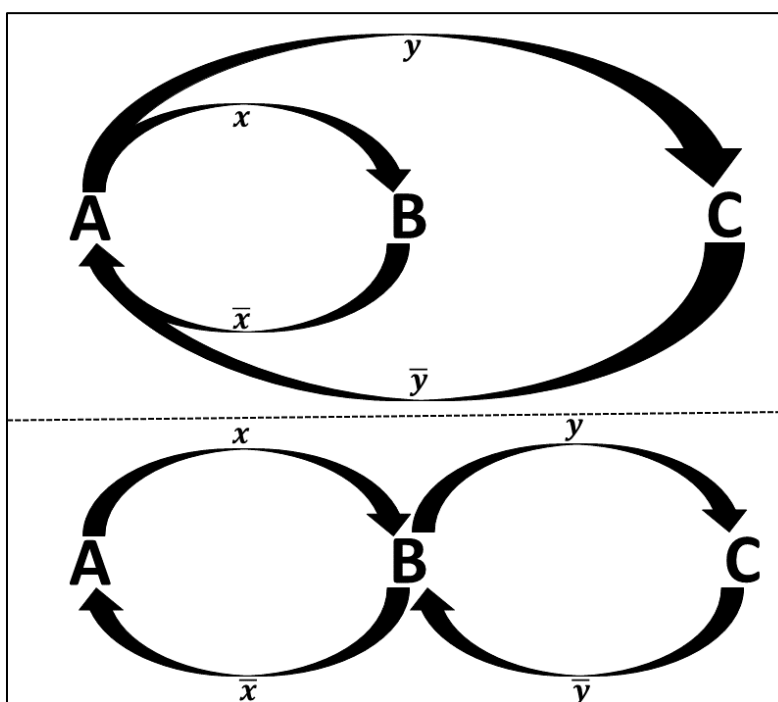


Figure 4.9 : Différence de chaînes symétriques pour les structures avec 4 déplacements

À la vue de la section précédente, il est plus probable que si les personnes qui ont réalisé 4 déplacements ont une structure symétrique alors elle sera de la forme $(x - \bar{x} - y - \bar{y})$, car les personnes ont fait deux retours au domicile dans la majorité des cas. Seuls les trajets faits en TC seront considérés comme symétriques. Avec le Tableau 4.6, on conclut que les chaînes symétriques sont largement dominantes avec 74% des personnes. Les personnes avec 4 déplacements en TC sont moins sujettes à faire des déplacements symétriques.

Le Tableau 4,6 indique les structures des déplacements les plus utilisés selon les entités prises. Si on retire les structures composées d'un seul déplacement TC, les 15 premières séquences sont des chaînes simples, qui sont de surcroît symétriques. Les trois premières chaînes sont Métro-Métro (18% des personnes), STM Bus-STM Bus (12%) et STM Bus/Métro-Métro/STM Bus (11%). Toutefois, il faut noter qu'aucune structure ne s'impose manifestement. On peut tout de même conclure, au regard des deux tableaux, que les structures des systèmes d'activités lors d'un jour de semaine sont symétriques.

Tableau 4.6 : Symétrie des structures de déplacements

Nombre de déplacements en TC	Non Symétrique	Symétrique	Total
1	77 736		77 736
2	62 433	515 223	577 656
3	39 453		39 453
4	6 450	19 543	25 994
>4	3 667		3 667
Total	189 739	534 766	724 505

M : Métro	B : STM Bus	R : RTL	L : STL
A : Train	N : MRC Nord	S : MRC Sud	

Tableau 4.5 : Structures les plus utilisées selon les entités prises

Chaine	Nombre de personnes
M-M	129 189 (18%)
B-B	83 931 (12%)
BM-MB	76 870 (11%)
A-A	30 919 (4%)
BB-BB	26 620 (4%)
B	24 066 (3%)
R-R	20 917 (3%)
RM-MR	20 292 (3%)
MB-BM	16 811 (2%)
M	15 321 (2%)
L-L	14 764 (2%)
BMB-BMB	10 931 (2%)
S-S	10 587 (1%)
LM-ML	10 275 (1%)
AM-MA	10 199 (1%)
N-N	8 364 (1%)
SM-MS	7 393 (1%)
BM	6 491 (1%)
M-M-M	5 924 (1%)
Autre chaine	185 344 (26%)
Total	724 505

On en conclut de manière qualitative, à travers l'ensemble des figures des sous-sections précédentes, trois principaux systèmes d'activités :

- Les personnes avec une seule activité (principalement Travail ou Étude) avec une journée commençant entre 6h et 8h30 et finissant entre 16h et 18h dont les trajets en TC sont symétriques ;

- Les personnes avec deux activités composées d'un retour au domicile entre les deux ;
- Les personnes avec une ou trois déplacements qui ont, dans de nombreux cas, utilisé un autre moyen pour réaliser une structure avec un nombre pair de déplacements.

4.1.2 Caractéristiques d'un déplacement à travers l'Enquête Origine-Destination

Dans cette section, nous allons caractériser les déplacements par les entités empruntées. Les structures des déplacements en TC sont fortement liées à l'organisation du système de transport. Au fil de cette partie, nous nous rendrons compte que le métro a une part importante dans les déplacements des Montréalais. Ainsi, les structures des déplacements sont particulièrement sensibles au réseau structurant. C'est pourquoi une section particulière s'intéressera à l'impact du réseau structurant sur le déplacement.

Afin de faire correspondre les deux ensembles de données, l'EOD a dû subir quelques transformations. L'EOD possède l'ordre chronologique des lignes empruntées lors du déplacement et les données de cartes à puce enregistrent des transactions. Or, dans le métro, plusieurs lignes peuvent être empruntées sans pour autant devoir réaliser une transaction. C'est pour cela que les tronçons successifs faits en métro ont été agrégés lors du traitement de l'EOD.

4.1.2.1 Le mode de déplacement

En 2013, la région montréalaise compte près de 2,5 millions de déplacements quotidiens lors de la période de pointe du matin (Agence Métropolitaine de Transport, 2015). Le TC compte pour 19% de l'ensemble des déplacements. L'EOD recense 9 modes différents (voir section 3.2.1.1). Des 4 modes traitant du TC, les déplacements uniquement effectués en TC occupent 88% des déplacements faits en TC.

Par ailleurs, il est important de réaliser l'analyse avec les passagers-kilomètres (pass- km). Cette unité prend mieux en compte la complexité des déplacements, car réaliser un trajet en bus sur l'île de Montréal est très différent d'un voyage réalisé en train de banlieue et n'ont pas les mêmes distances. Le calcul réalisé est le suivant : $pass - km = distance * facteur d'expansion$.

Concernant la distance, deux choix sont possibles : une distance à vol d'oiseau (distance suivant une ligne droite entre l'origine et la destination qui ne prend pas en compte les infrastructures de TC) et une distance sur le réseau simulée par le logiciel MADIGAS. Cette étude s'est basée sur la distance simulée par MADIGAS. La distance moyenne d'un déplacement est de 12,2 km. Les personnes faisant un déplacement bimodal font des déplacements plus longs, en particulier ceux qui utilisent la voiture. Les personnes faisant du Park-and-Ride font des déplacements de près de 20 km, soit des déplacements 75% plus longs que ceux utilisant seulement le TC. Cette large différence s'explique par le fait que les usagers du PR et KR viennent principalement des couronnes Nord et Sud de la région montréalaise comme le montre la carte suivante (Figure 4.11). On en déduit, ainsi, que la structure du déplacement en TC est influencée par le lieu du domicile. La structure des usagers habitant en couronne est souvent accompagnée d'un tronçon en voiture. La distribution de la distance n'a pas été représentée pour les usagers « Autre » pour des fins de lisibilité et, car cette catégorie d'usagers n'a pas de distribution régulière (sûrement dû à un échantillonnage faible, moins de 400 déplacements avant pondération).

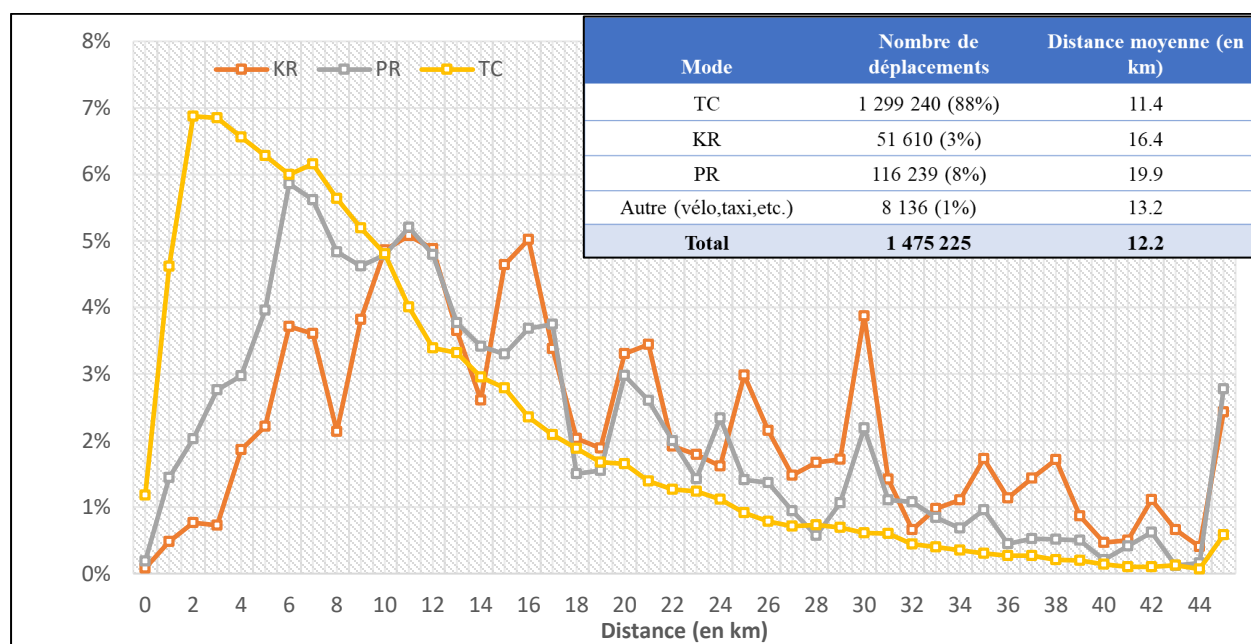


Figure 4.10 : Distribution spatiale selon les modes

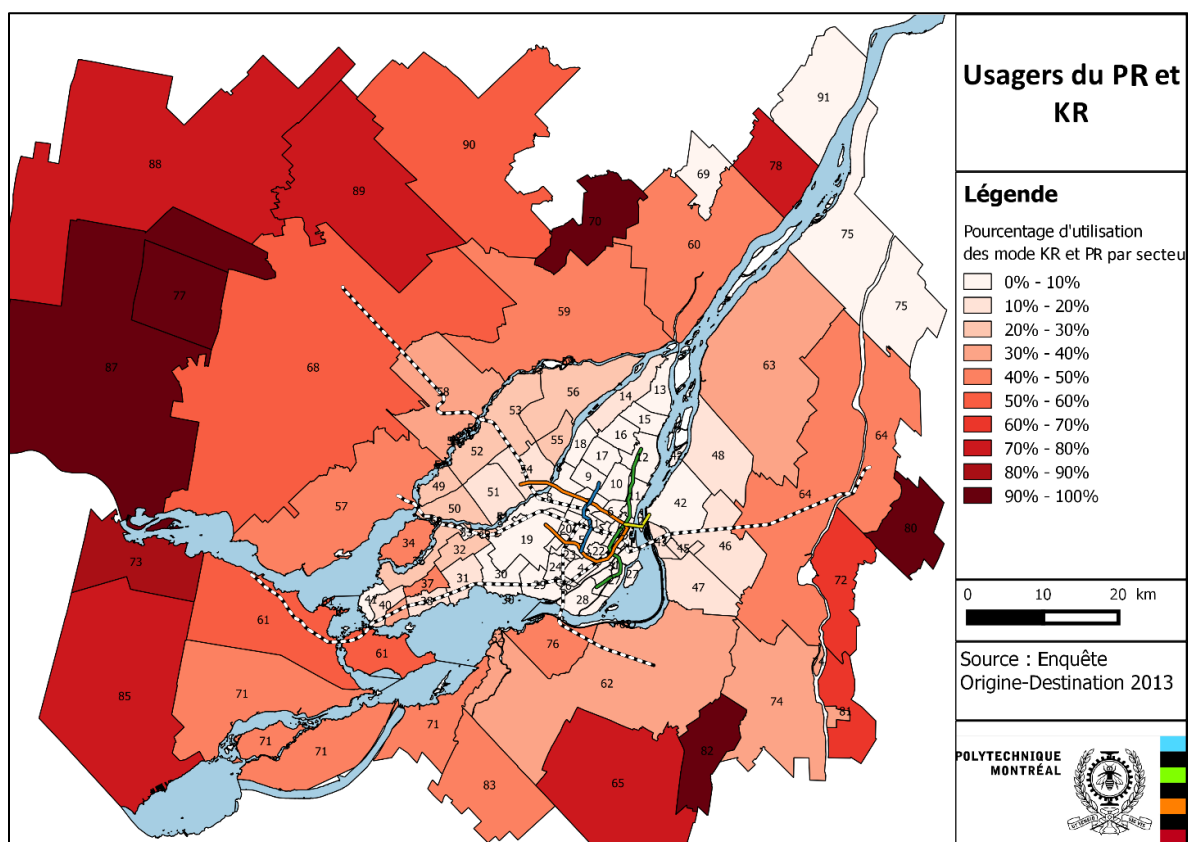


Figure 4.11 : Spatialisation des usagers du PR et KR

4.1.2.2 La séquence des entités

Pour caractériser les structures d'un déplacement, une des solutions est de s'intéresser aux différentes Autorités Organisatrices de Transport empruntées. Comme expliqué dans le chapitre 3, les AOT des couronnes Nord et Sud sont groupées ensemble pour qu'elles aient un poids plus important et, car elles ont relativement la même organisation et la même fonction.

Tout d'abord, avant de rentrer dans les détails pour chaque séquence d'entité, nous mesurons le nombre de transactions par entité (reconstitution du nombre de transactions à partir des déplacements décrits dans l'EOD). Le pourcentage, inscrit dans le Tableau 4.7, est le ratio entre les transactions par entité et l'ensemble des transactions en TC (2 195 922 transactions). En raison de l'agrégation des lignes de métro consécutives, il est très rare de voir deux transactions de métro dans le même déplacement (cependant possible si une personne a pris le bus entre les deux lignes de métro). C'est pourquoi la STM Bus est l'entité où se sont réalisées le plus de transactions (40%

des transactions). Le métro vient juste après avec quasiment le même nombre de transactions. Les autres entités oscillent entre 50 000 et 150 000 transactions, ce qui n'est néanmoins pas négligeable.

Tableau 4.7 : Nombre de transactions selon l'entité

Entité	Transactions
Métro	853 930 (39%)
STM Bus	877 587 (40%)
RTL	144 304 (7%)
Train	115 022 (5%)
STL	90 161 (4%)
MRC Sud	62 929 (3%)
MRC Nord	51 989 (2%)
Total	2 195 922

Il existe, dans l'EOD, une multitude de combinaisons de séquences d'entités. Ainsi, l'arborescence ci-dessous (Figure 4.12) présente un groupement hiérarchique des séquences d'entités. La première branche indique le nombre d'entités empruntées dans le déplacement. Pour les déplacements avec une seule entité, le graphique détaille l'entité empruntée (cadre violet). Concernant les déplacements avec 2 d'entités ou plus, l'arbre indique si le déplacement comprend un tronçon en métro. Il détaille la combinaison d'entité lors d'un déplacement avec deux entités dont une est le métro (cadre bleu). Le graphique présente plusieurs indicateurs pour analyser la séquence des entités. Il y a tout d'abord le nombre de déplacements. Ensuite, la distance moyenne est calculée à partir du nombre de passagers-kilomètres. La tortuosité est la dernière variable calculée. Elle est le ratio entre la distance effectuée sur le réseau (calculée avec les données obtenues par le logiciel MADIGAS) et la distance à vol d'oiseau. Elle pourra renseigner sur l'influence d'une infrastructure lors du choix du transport. L'étude (Morency, Trépanier, Tremblay, & Poliquin, 2011) met en lumière que la tortuosité du déplacement à pied est déterminante. Il varie entre 1,2 (centre-ville) et 2,3 (en couronne) pour la région montréalaise.

Tout d'abord, la majorité des déplacements est effectuée avec une seule entité (66% des déplacements), et particulièrement avec le métro ou la STM Bus. Les déplacements mono-entité des autres entités représentent moins de 5% des déplacements totaux en TC. Près de 32% des déplacements sont réalisés à l'aide de 2 entités. Et l'usage de 3 entités ou plus est rare (2,3% des déplacements). Dans les deux derniers cas de figure, la très grande majorité des déplacements

contient un tronçon réalisé en métro (96% dans le cas de 2 entités et 89% dans le cas de 3 ou plus). Lorsqu'un déplacement bienentités contient un tronçon réalisé en métro, la seconde entité est le plus souvent la STM Bus. Ainsi, on en conclut deux types principaux de structures de déplacements : les déplacements avec une seule entité et les déplacements comportant un tronçon en métro.

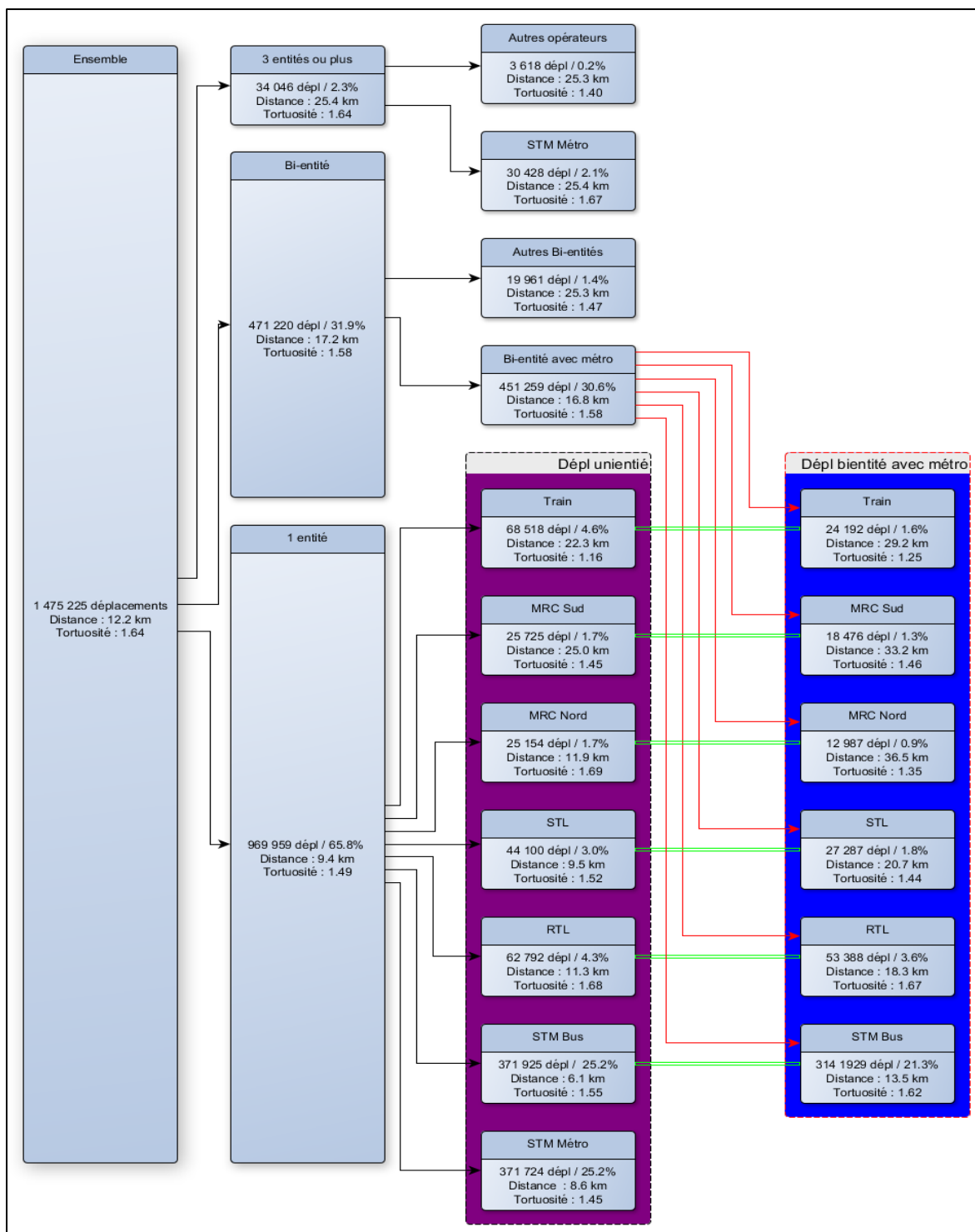


Figure 4.12 : Schéma des séquences des entités avec l'EOD de 2013

La majorité des déplacements ont pour destination le centre-ville. Ainsi, il est intéressant de voir la relation entre la distance du déplacement et l'entité. Les déplacements les plus courts sont réalisés lorsqu'on utilise seulement la STM Bus (6,1 km) ou seulement le métro (8,6 km). En

général, les déplacements avec une entité font moins de 12 km, car ces AOT desservent un territoire local. Les exceptions sont le train (22,3 km) et l'entité MRC Sud (25,0 km) qui permettent de se rendre au centre-ville. Les déplacements bientités dont un tronçon est en métro doublent, en moyenne, la distance parcourue pour les entités STM Bus, RTL et STL. Pour les entités plus lointaines, la distance moyenne dépasse 30 km. Ainsi, plus on utilise d'entités lors d'un déplacement, plus la distance parcourue par déplacement est longue. Cette conclusion est confirmée par la carte ci-dessous. Elle indique la distance parcourue selon le lieu du domicile de l'utilisateur du TC. Les cercles concentriques sont centrés sur le croisement entre la rue Saint Catherine et l'avenue McGill College, considéré comme l'épicentre du centre-ville de l'île de Montréal. Plus les personnes habitent loin du centre-ville, plus la distance parcourue lors d'un déplacement en TC est élevée. Ce résultat corrobore les motifs découverts dans la section 4.1.1.3, car le centre-ville est l'espace concentrant le plus d'activités, et notamment des activités liées au travail.

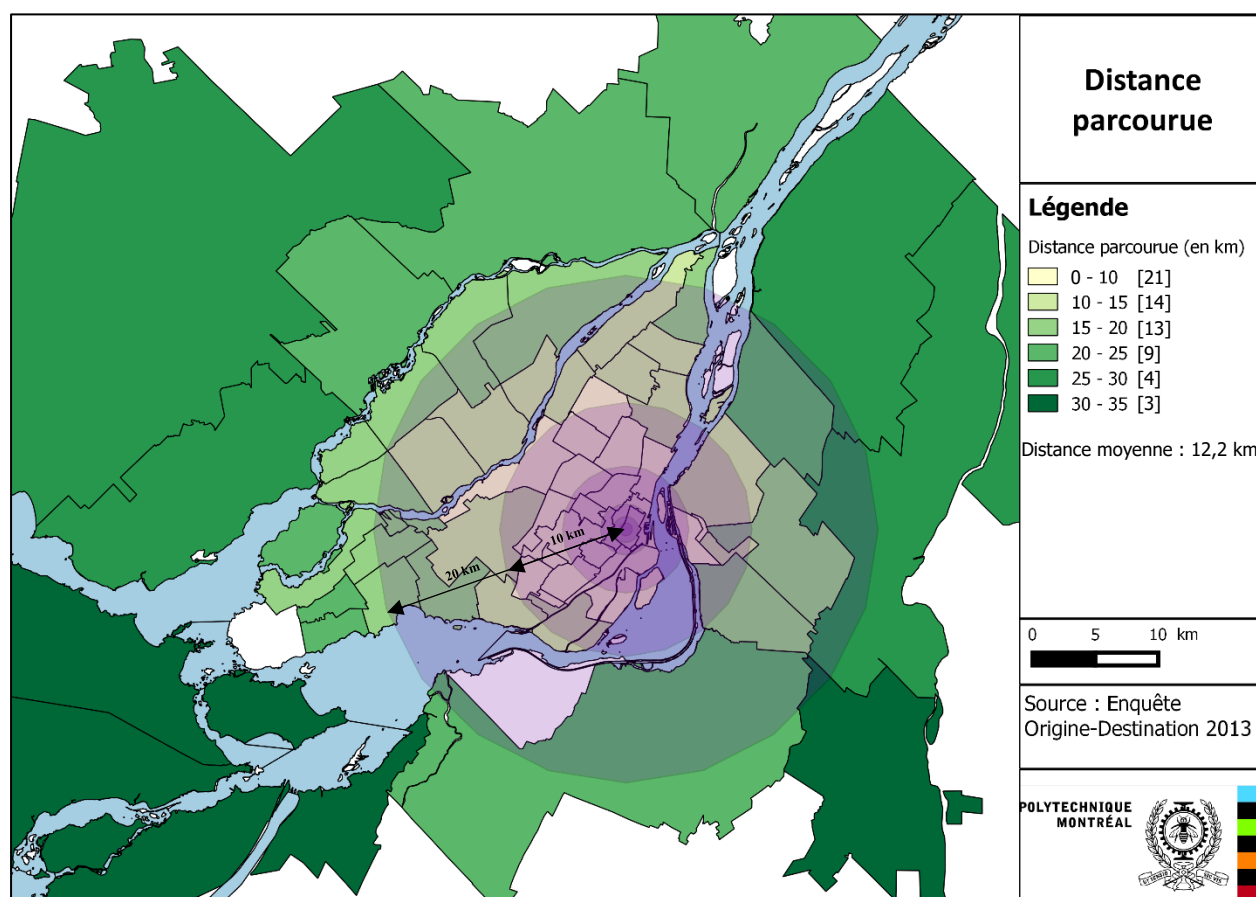


Figure 4.13 : Distance parcourue par déplacement selon le secteur du domicile

L'analyse faite sur la tortuosité indique que plus le nombre d'entités prises augmente, plus la tortuosité augmente. Il y a deux raisons possibles à cette augmentation. Premièrement, les déplacements sont plus longs donc la probabilité que les trajets ne soient pas rectilignes augmente. Deuxièmement, les déplacements avec 2 entités ou plus sont pour la plupart effectués en métro (95% des déplacements de 2 ou plus d'entités sont faits en partie avec le métro). Les personnes cherchent donc à se rendre à la station de métro la plus proche ou la plus rapide à atteindre. Ils font donc parfois un détour pour après avoir un déplacement plus rapide. Cependant, lorsqu'on analyse la tortuosité selon le secteur du domicile, on se rend compte que ce ne sont pas les secteurs les plus éloignés qui ont la plus grande tortuosité. Cela s'explique grâce au réseau ferroviaire qui permet un accès rectiligne au centre-ville. Les secteurs à l'Ouest du centre-ville tels que LaSalle, Lachine ou Verdun sont ceux qui ont la plus grande tortuosité à cause de la ligne de métro qui est non rectiligne. Les secteurs de la rive Sud ont également une tortuosité élevée, car les personnes habitant ces secteurs se rendent à la station Longueuil-Université-de-Sherbrooke pour aller au centre-ville. La tortuosité des secteurs est donc en lien avec la rectitude des lignes de transport se rendant au centre-ville.

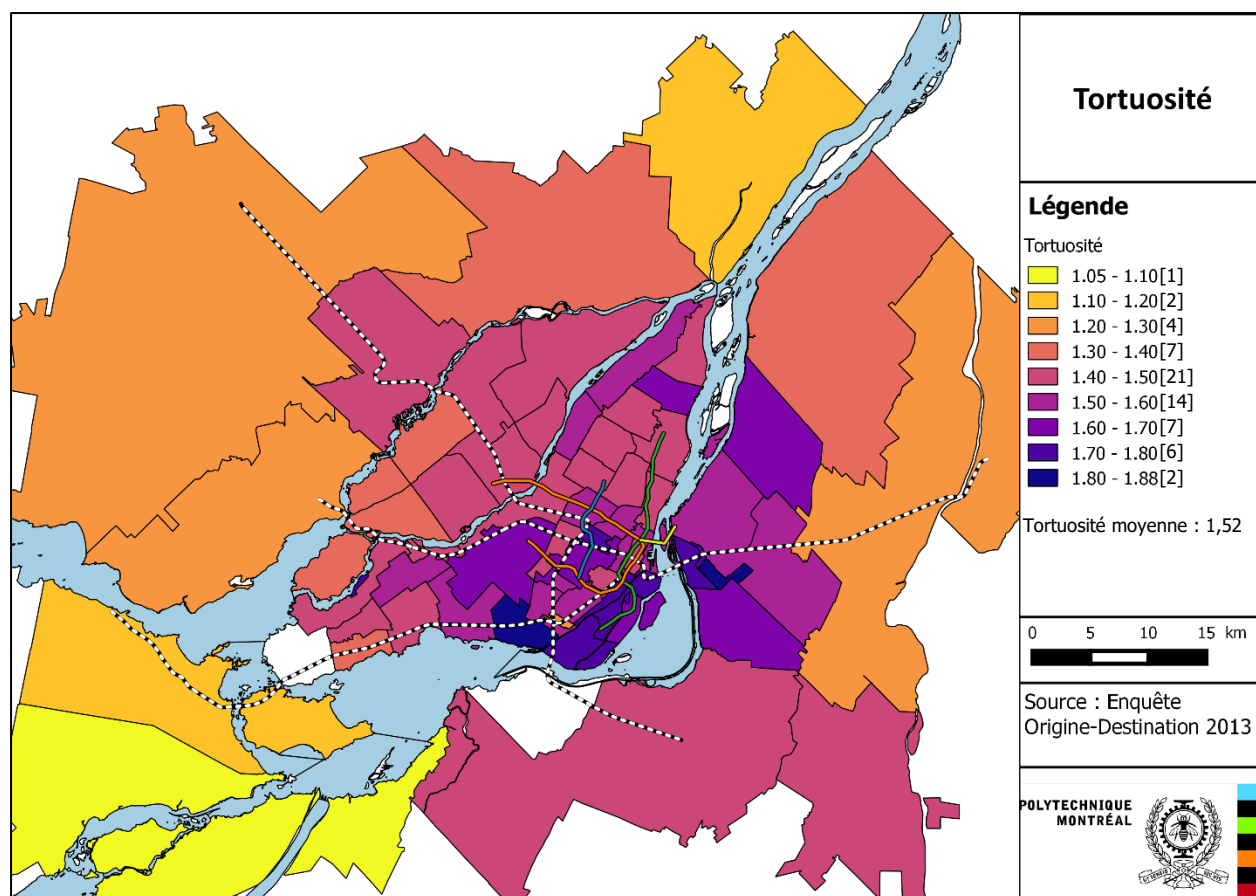


Figure 4.14 : Tortuosité selon le secteur du domicile

La représentation graphique suivante est une carte proportionnelle. Elle permet d'exposer les données précédentes hiérarchiquement. La dimension de chaque rectangle représente le nombre de déplacements selon les entités utilisées. Les cases en orange représentent les déplacements effectués avec une seule entité tandis que celles en bleues sont les déplacements bientités qui lient un tronçon fait en métro et avec une autre entité. Les conclusions faites quant à l'archidomination de la STM, que ce soit le métro ou le bus, sont encore plus flagrantes dans cette représentation.

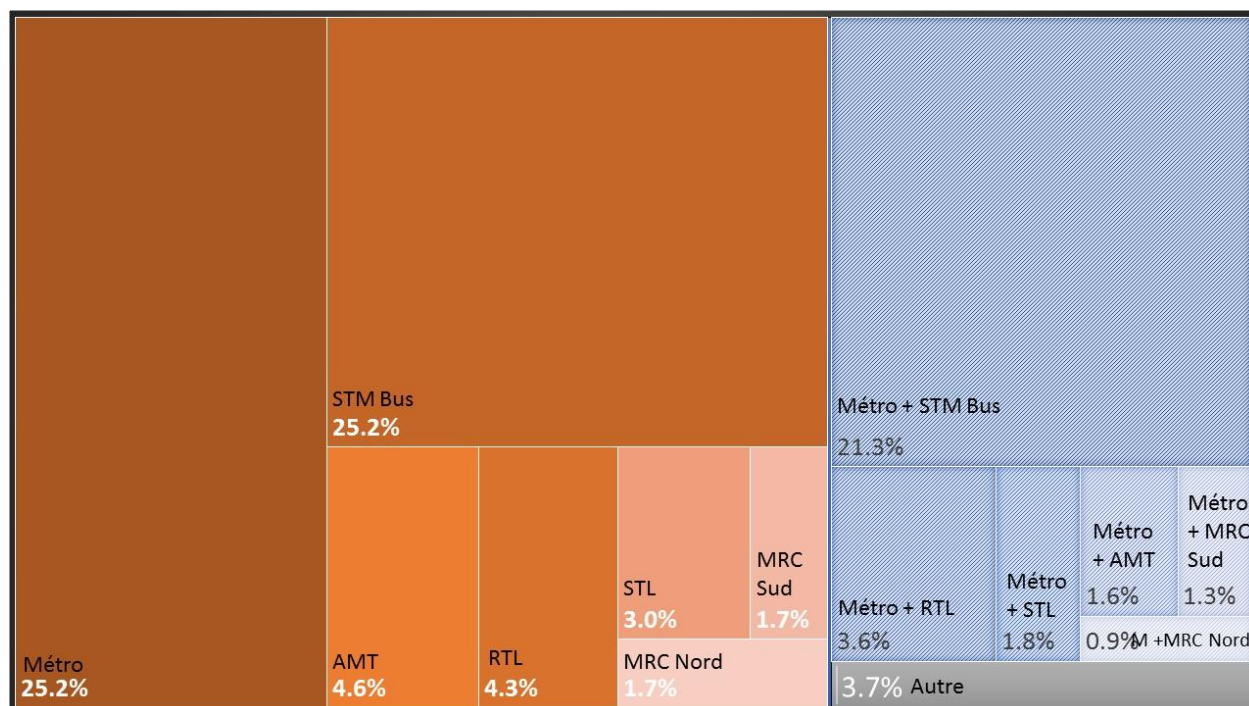


Figure 4.15 : Proportion du type de séquence de déplacement

4.1.2.3 Les séquences les plus fréquentées

Par la suite, pour approfondir l'étude des entités, l'analyse des déplacements se focalise dans la séquence des entités prises lors d'un déplacement. Le tableau présenté en annexe montre les 20 séquences d'entités les plus utilisées. Elles représentent 1,3 million de déplacements soit plus de 93% des déplacements faits en TC. Le métro occupe une part considérable dans les déplacements journaliers des usagers du TC : 12 des 20 premières séquences comportent au moins un tronçon réalisé en métro. L'île de Montréal est la région du Grand Montréal la plus peuplée et également celle où la part modale du TC est la plus élevée. Ainsi, il est logique de retrouver parmi les 20 premières séquences, 6 séquences avec la STM Bus. Ces deux entités sont ainsi présentes dans 15 des 20 premières séquences. Le Tableau 4.8 affiche le nombre de déplacements pour ceux réalisés avec une ou deux entités. On remarque l'importance de l'unique entité lors d'un déplacement (les cases qui sont en diagonale), tout comme de la symétrie des déplacements. Cela est clairement visible à travers les séquences suivantes (RTL-Métro=Métro-RTL, Métro-STL=STL-Métro, Train-Métro=Métro-Train, Métro-MRC_Sud=MRC_Sud-Métro) où l'on voit que le nombre de déplacements entre les deux séquences est quasiment identique.

Tableau 4.8 : Séquences des déplacements avec une ou deux entités

		2ème entité							
	Entité	Métro	STM Bus	RTL	Train	STL	MRC Sud	MRC Nord	Total
1ère entité	Métro	371 724	138 786	26 336	11 649	13 531	9 141	6 585	577 751
	STM Bus	176 270	371 945	643	3 713	968	500	476	554 515
	RTL	27 053	515	62 792	310		710		91 380
	Train	12 543	4 317	554	68 518	727	681	518	87 858
	STL	13 837	1 143		575	44 100		442	60 097
	MRC Sud	9 335	354	595	680		25 725		36 689
	MRC Nord	6 402	431		480	421		25 154	32 889
	Total	617 164	517 492	90 920	85 925	59 747	36 757	33 175	1 441 180

4.1.2.4 Les correspondances

Le nombre de correspondances est une composante importante dans la prise du TC et révèle l'organisation du réseau de TC. Un grand nombre de correspondances implique généralement un réseau qui se rabat sur les axes structurants.

Tout d'abord, pour nous calquer sur les données de CAP, nous avons calculé le nombre moyen de correspondances sans prendre en compte les correspondances faites dans les stations de métro, telles que Jean-Talon, Berri-UQAM, etc. pour le système de transport montréalais. En moyenne, un déplacement a 0,49 correspondance. De plus, plus de la moitié des déplacements n'ont aucune correspondance (Tableau 4.9). Une faible partie des déplacements (6%) ont, au contraire, plus d'une correspondance. Cela s'explique par la forte part du métro dans les déplacements. Or, les correspondances en métro ne sont pas comptabilisées. Ainsi, la structure d'un déplacement implique, en général, peu de correspondances sur le réseau de surface.

En géoréférençant le nombre de correspondances selon le secteur du domicile de l'utilisateur, on observe comme attendu que plus on s'éloigne du centre-ville, plus le nombre de correspondances augmente. Cependant, même sur l'île de Montréal, les utilisateurs des réseaux de transport de certains secteurs semblent très contraints de faire une correspondance pour se déplacer. Les secteurs d'Anjou et de Saint-Léonard, dans la partie Est de l'île, ont en moyenne 0,7 correspondance par déplacement. Cette valeur élevée vient sans doute de la présence des lignes de métro dans les secteurs voisins. Les personnes, pour se rendre au centre-ville, vont à la station de

métro par bus, et cela donc implique une correspondance. Donc, la structure d'un déplacement est largement influencée par la présence d'une ou plusieurs station(s) de métro sur leur territoire.

Tableau 4.9 : Nombre de correspondances par déplacement

Nombre de correspondances	Nombre de déplacements	Proportion
0	853 852	58%
1	529 003	36%
>1	92 371	6%

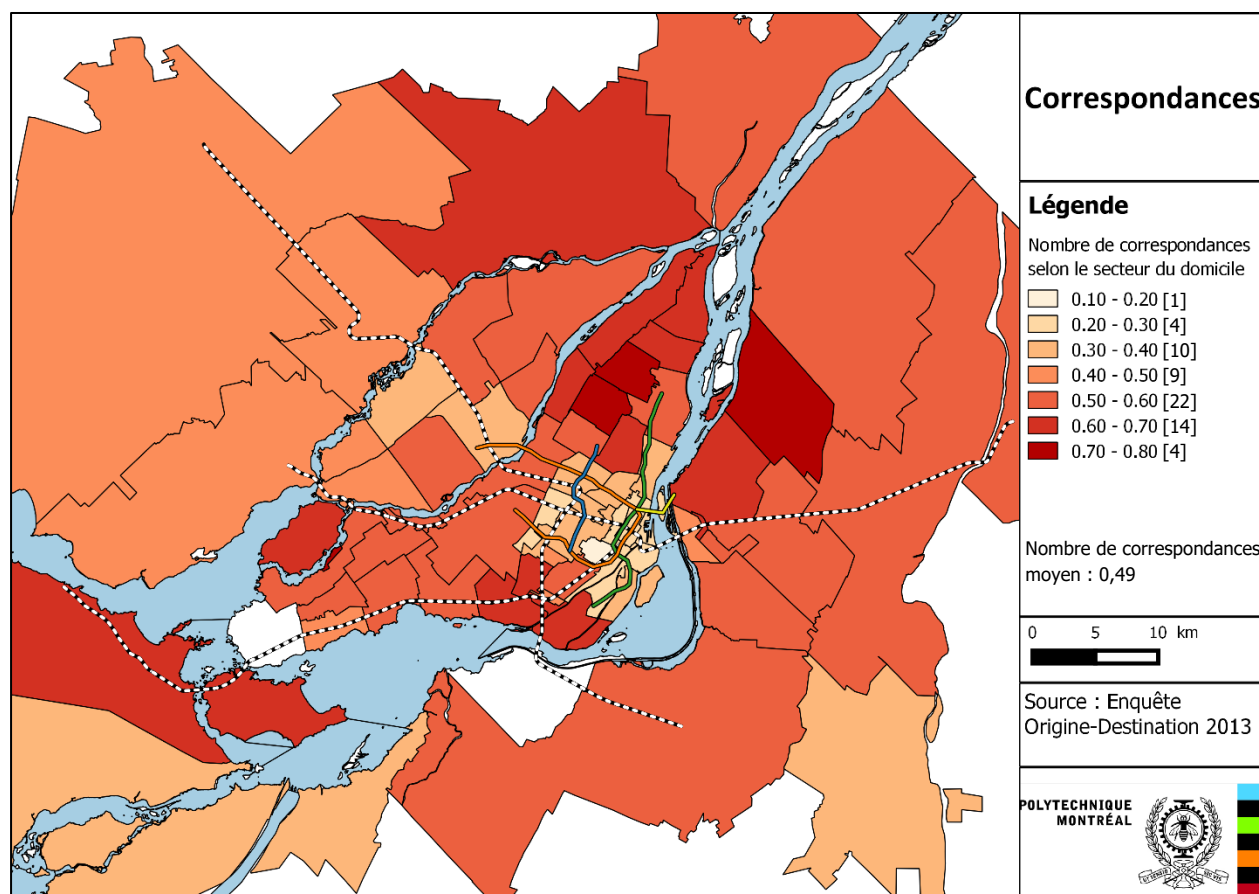


Figure 4.16 : Nombre de correspondances selon le secteur du domicile

Si l'on considère maintenant les correspondances, déjà mesurées plus celles faites entre les différentes lignes de métro, le nombre de correspondances par déplacement augmente à 0,73. Ainsi, moins d'un déplacement sur 2 (48%) n'a pas de correspondance. Le nombre de déplacements avec plus d'une correspondance augmente fortement (passage de 6 à 18% de l'ensemble des déplacements).

Les secteurs qui font désormais le plus de correspondances sont ceux de la rive Sud proche de Longueuil. Les habitants de ces secteurs, qui utilisent beaucoup le métro, sont dans la majorité de leurs déplacements contraints de faire une correspondance à la station Berri-UQAM. Les secteurs du centre-ville sont toujours ceux dont le nombre moyen de correspondances est le plus faible. Le nombre de correspondances ne semble pas être relié à l'éloignement du centre-ville (et donc par extension à la distance du déplacement). Ainsi, des secteurs tels que Saint-Eustache, Blainville, etc. ont un nombre de correspondances faible (entre 0,4 et 0,6). Par conséquent, c'est la structure du réseau (et principalement le réseau structurant que nous verrons dans la section suivante) qui influence le nombre de correspondances et non pas la distance du déplacement.

Tableau 4.10 : Nombre de correspondances (avec prise en compte des lignes de métro)

Nombre de correspondances	Nombre de déplacements	Proportion
0	708 160	48%
1	505 497	34%
>1	261 568	18%

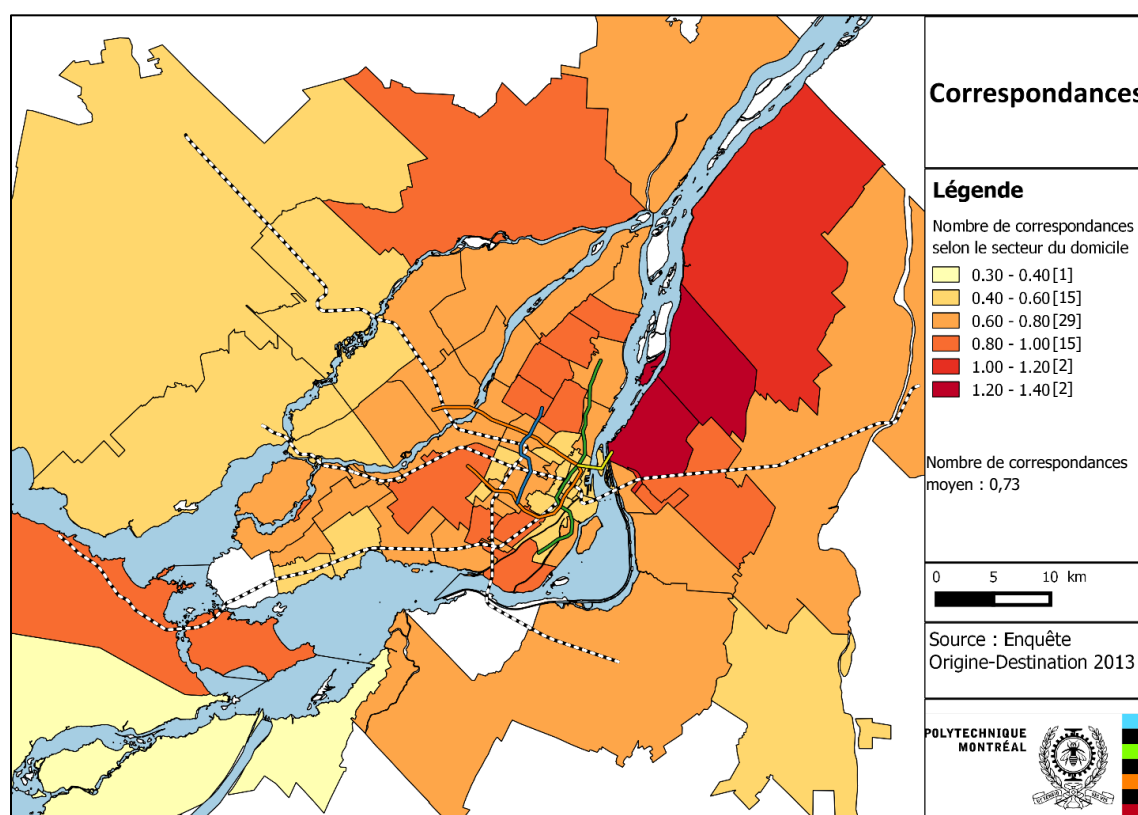


Figure 4.17 : Nombre de correspondances (avec prise en compte des correspondances dans le métro) selon le secteur du domicile

4.1.3 Le réseau structurant

Le réseau structurant est un élément important dans la structure des déplacements en TC. Comme expliqué dans le chapitre 3, le réseau structurant de l'agglomération montréalaise est composé du réseau du métro et du réseau ferroviaire.

4.1.3.1 Le mode de déplacement

Premièrement, selon le mode utilisé, le réseau structurant peut avoir une importance encore plus considérable. D'un point de vue global, plus de la majorité (58%) des déplacements sont réalisés en métro, comme on peut le voir dans la Figure 4.18. Cependant, selon le mode de transport utilisé, la proportion d'utiliser le réseau structurant peut-être encore plus importante. Ainsi, seuls 15% des déplacements impliquant un tronçon fait en voiture (PR ou KR) n'utilisent pas le réseau structurant. On se rend compte que la voiture est un moyen de rabattement très important vers le train (35% des usagers de PR ou KR utilisent le train contre 8% pour les usagers total). Ces deux catégories d'usagers ont été regroupées ensemble, car elles ont le même comportement de mobilité.

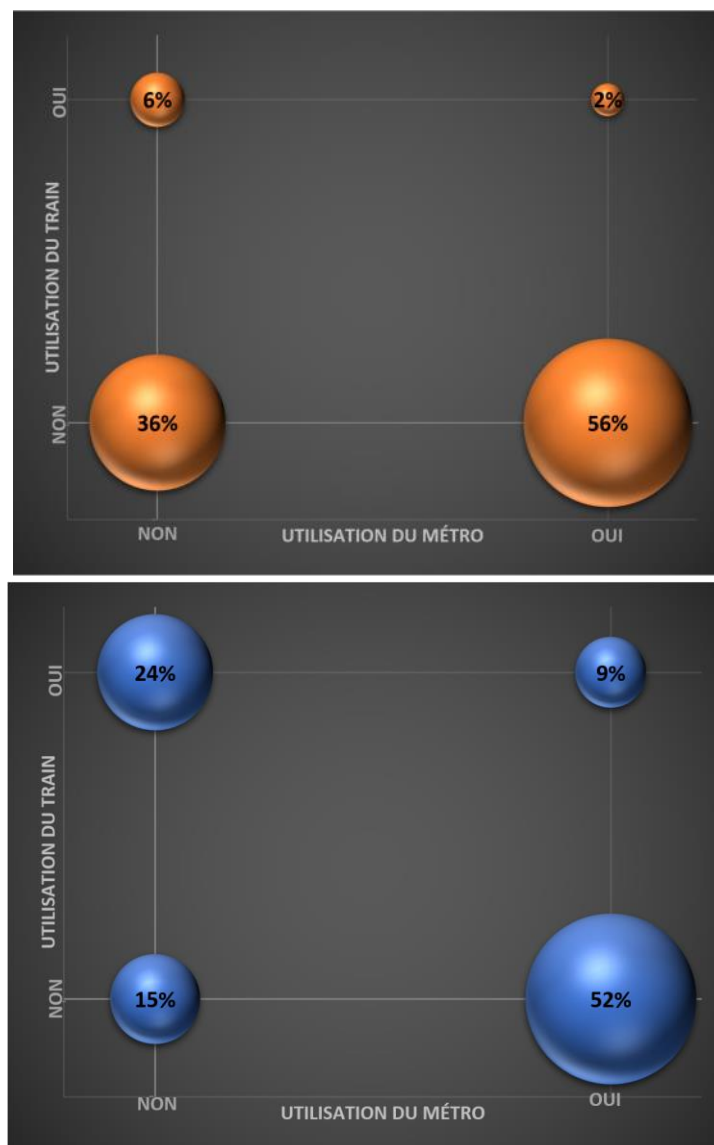


Figure 4.18 : Utilisation du réseau structurant (en haut pour l'ensemble des usagers du TC et en bas pour les usagers du PR et KR)

4.1.3.2 Le secteur du domicile

Il est évident que le secteur du domicile joue une part primordiale dans le choix de l'AOT. Cette section explore spatialement la part d'un des deux réseaux (métro ou train) dans les déplacements des usagers de TC. Certaines conclusions vont recouper l'étude faite à propos du mode utilisé selon le secteur du domicile faite dans la section 4.1.2.1.

Le métro

La carte suivante illustre la part des déplacements exclusivement réalisés en métro selon le secteur du domicile de l'utilisateur. Les secteurs traversés par les lignes de métro sont logiquement ceux où la part des déplacements exclusivement en métro est la plus élevée. Les secteurs du centre-ville voient plus de la moitié de leurs déplacements exclusivement s'effectuer en métro. Ainsi, en observant un quart des déplacements TC, l'usage est spatialement déterminant.

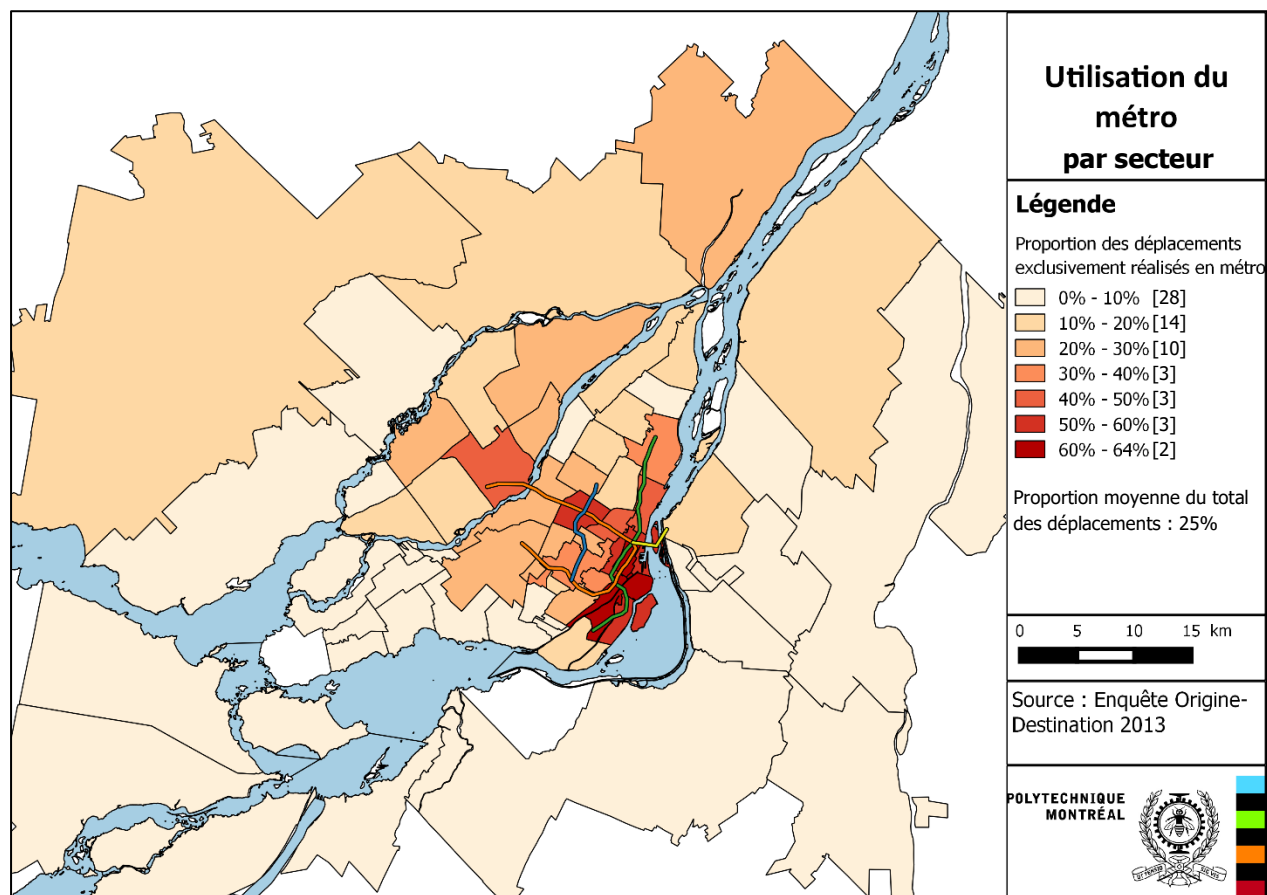


Figure 4.19 : Utilisation du métro (déplacements exclusivement faits en métro)

Comme vu dans la section 4.1.2.2, de nombreux déplacements combinent métro et une autre AOT. En prenant en compte l'ensemble des déplacements dont au moins un tronçon est accompli en métro, on parvient à 58% des déplacements en TC. Les secteurs traversés par une ligne de métro (et particulièrement ceux du centre-ville) sont ceux avec la plus forte part de déplacements en métro. Les secteurs du centre-ville ont plus de 75% de leurs déplacements effectués en métro. Les secteurs de Laval et de l'Ouest de la couronne Nord sont ceux qui utilisent le moins le métro. Cela

conforte l'idée que le domicile a un grand rôle dans la structure d'un déplacement malgré que le fait que le métro a une part importante dans la majorité des secteurs.

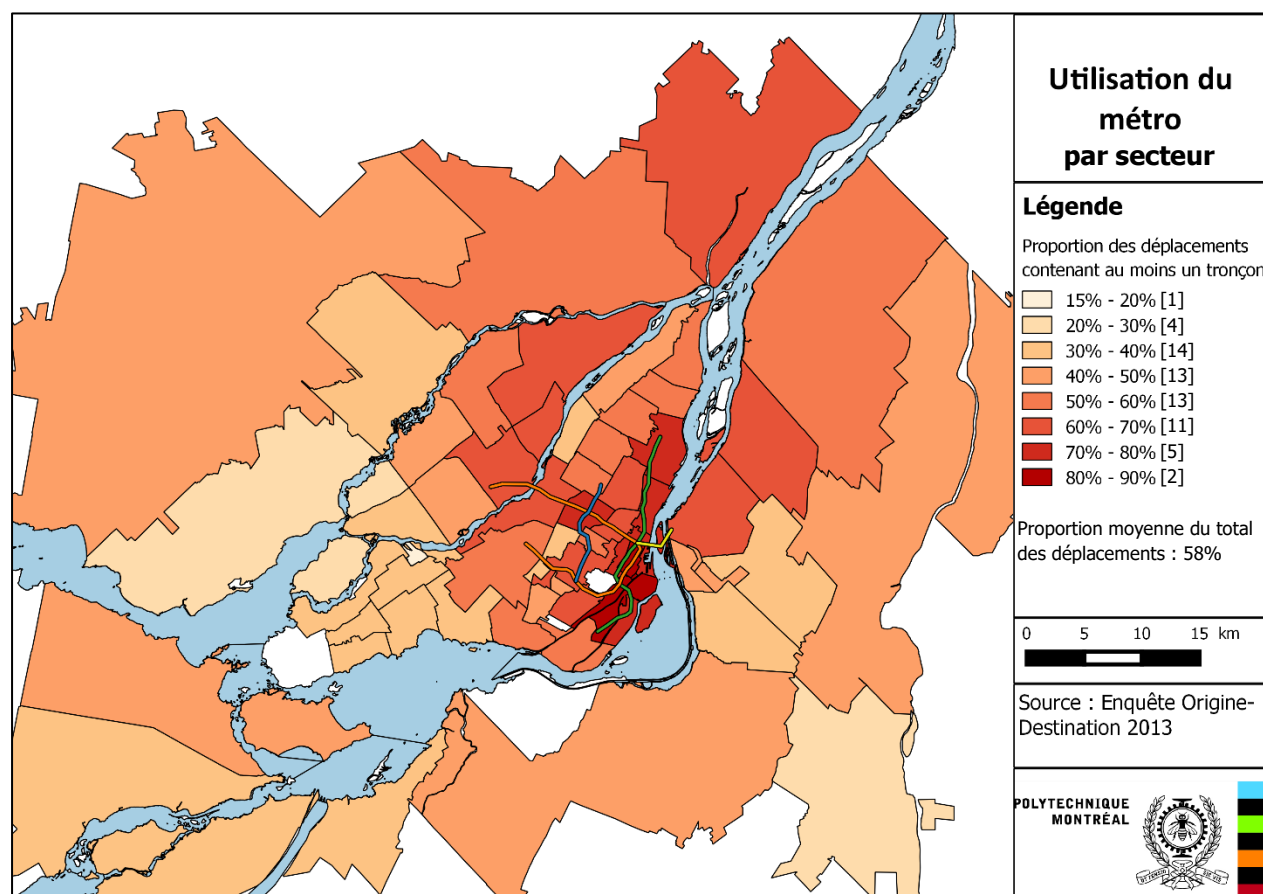


Figure 4.20 : Utilisation du métro (au moins un tronçon en métro dans le déplacement)

Le train

Le train est un mode avec des infrastructures lourdes et a un rôle de réseau structurant sur le territoire. Les secteurs les plus excentrés du Grand Montréal traversés par le train ont un accès à Montréal rapide en TC. Le train de l'Est (ligne Mascouche) ne fait pas partie de l'étude, car la ligne fut inaugurée fin 2014. Ainsi les secteurs du Nord-Est tels que les secteurs situés dans la région de Lanaudière sont délaissés par le train et les personnes n'ont donc pas pu utiliser le train comme moyen de déplacement. La prochaine EOD, en 2018, permettra de voir si la part du train s'est rééquilibrée sur le territoire. Le train est largement implanté, dans les séquences de TC, dans les secteurs du Sud, le long de ligne Vaudreuil-Hudson et Deux-Montagnes. Les secteurs Saint-Eustache et Hudson sont les secteurs qui proportionnellement utilisent le plus le train : plus de 50% des déplacements réalisés en TC ont utilisé le train. Ces deux secteurs se situent respectivement à

la fin de la ligne Deux-Montagnes et Vaudreuil-Hudson. Ainsi, les habitants de ces secteurs ont un fort gain à utiliser le train pour se rendre au centre-ville. Les autres alternatives en TC sont logiquement peu attractives. On en déduit que la structure des déplacements des secteurs périphériques (en couronne) est affectée par le train.

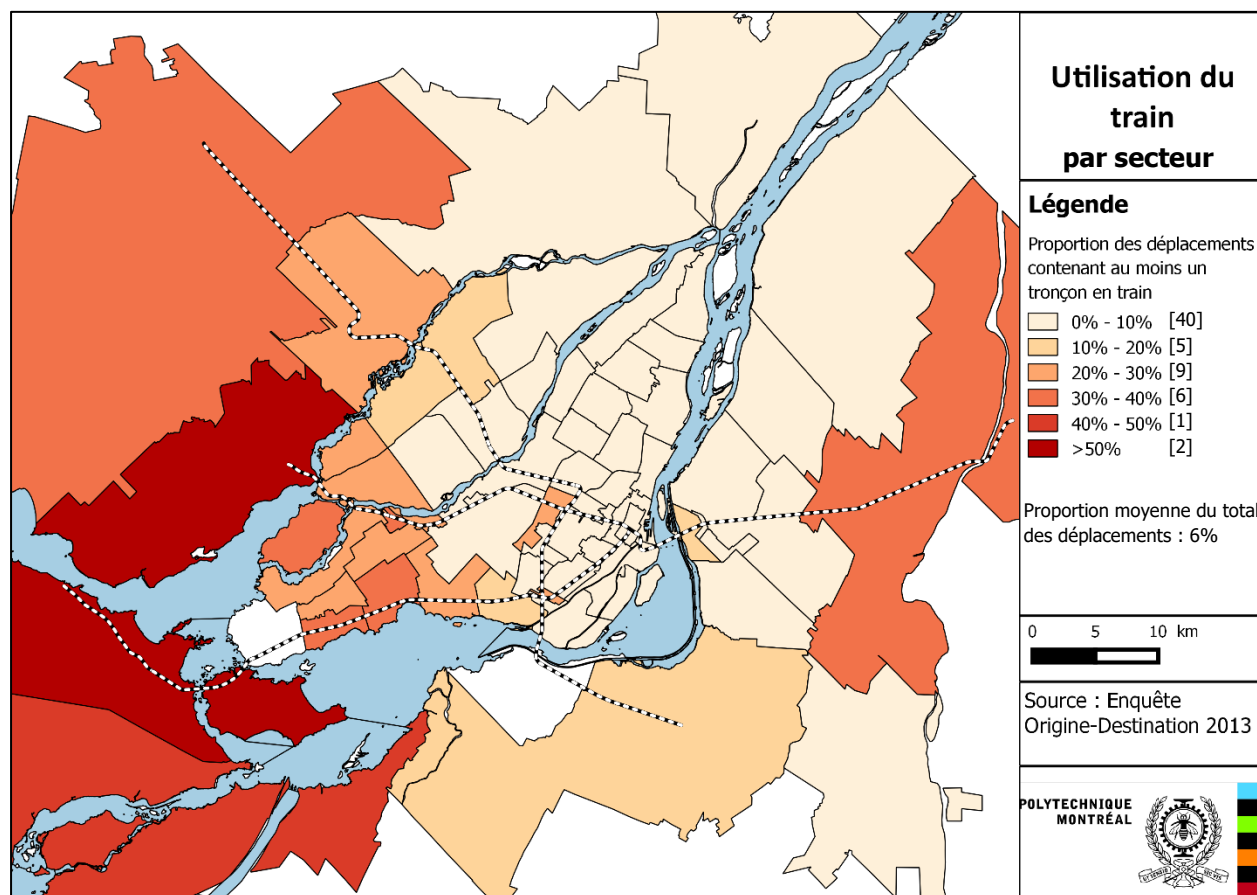


Figure 4.21 : Utilisation du train (au moins un tronçon en train dans le déplacement)

4.1.3.3 L'accès aux stations de métro

Vu dans les sections précédentes, le métro occupe une part considérable (plus de la moitié des déplacements) dans les déplacements réalisés en TC. Le fichier d'itinéraires générés par MADIGAS permet d'avoir une vision fine et précise des déplacements des usagers. La carte suivante rappelle les noms et l'emplacement des stations de métro.



Figure 4.22 : Carte du métro montréalais

Les stations les plus achalandées en termes de nombre d'entrées sont celles au centre-ville ou celles situées en périphérie. La station Berri-UQAM a environ 45 850 transactions, c'est-à-dire la station avec le plus grand nombre de transactions au quotidien, suivi par McGill (35 800 transactions). Les stations en périphérie accueillent également de nombreuses entrées (36 000 pour Longueuil, 22 500 pour Côte-Vertu, 22 000 pour Henri-Bourassa, 19 600 pour Honoré-Beaugrand, 15 800 pour Angrignon). Au centre-ville, Berri-UQAM est la station la plus achalandée certainement par la présence de 3 lignes (orange, verte et jaune) et de la présence de l'Université du Québec à Montréal (UQAM). Les étudiants sont une population captive pour le TC, car ils ont moins la possibilité de s'offrir une voiture individuelle. Ainsi, les établissements scolaires sont généralement de gros générateurs de déplacements en TC. C'est ainsi que McGill est la seconde station la plus achalandée, en plus d'être une station proche d'un pôle commercial (centre Eaton) et d'un pôle composé de bureaux (Place Ville-Marie).

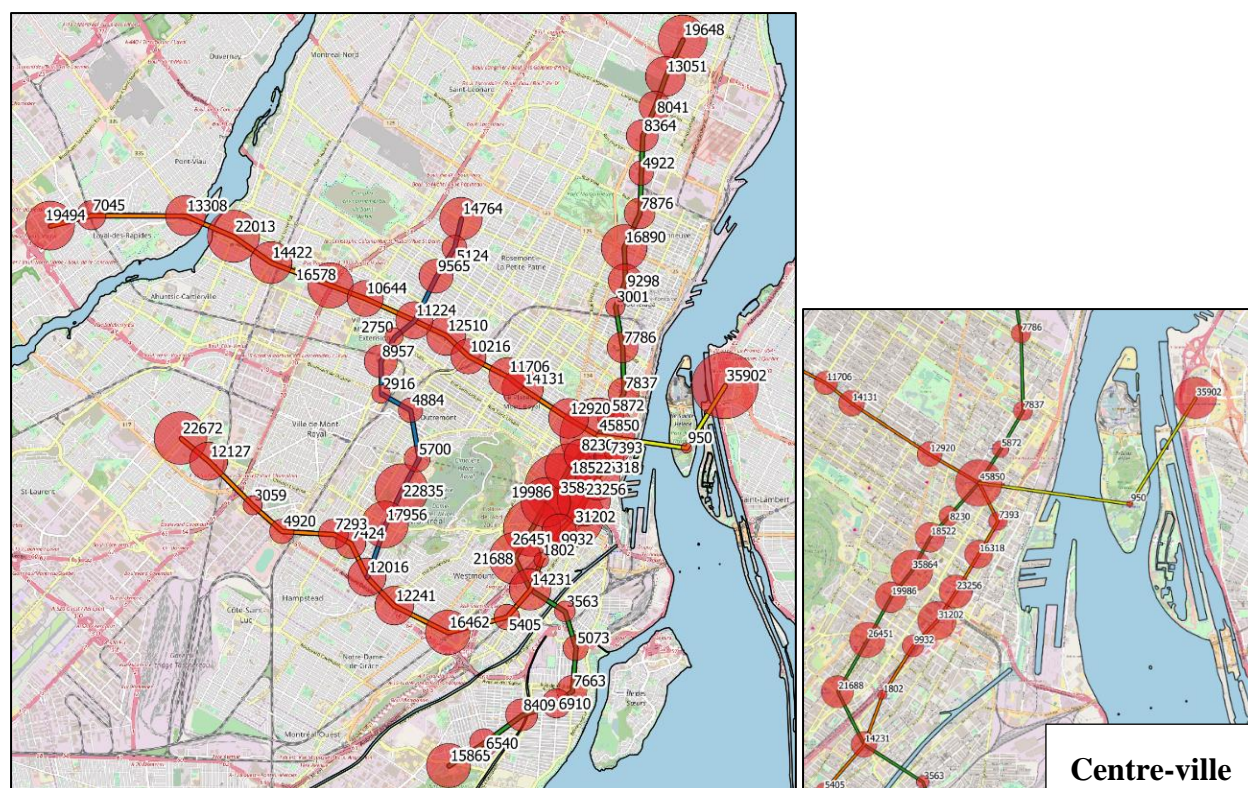


Figure 4.23 : Achalandage des stations de métro

Par ailleurs, l'accès aux différentes stations de métro permet d'avoir un portrait précis des usagers de TC et non seulement des utilisateurs du métro, car, vu dans la section 4.1.2.2, 480 000 déplacements, sur les 860 000 déplacements en métro au total, sont effectués en métro et avec une autre entité. Ainsi, le métro permet d'avoir une vision plus large que les simples utilisateurs du métro. Chaque entrée a été caractérisée par le mode précédant son entrée dans le métro. Ainsi chaque station pourra être particularisée par la proportion de chaque mode. Les modes employés pour qualifier l'entrée dans le métro sont les entités présentées dans les sections précédentes (sauf métro bien sûr) en plus de la marche. Les itinéraires, générés dans le cadre de ce projet, ne comprennent pas les itinéraires faits en voiture par les usagers bimodaux. Comme vu dans la section 4.1.2, les déplacements bimodaux représentent une part minime des déplacements en TC. Ils représentent 11% des déplacements totaux en TC et 61% d'entre eux utilisent le métro (voir la section 4.1.3.1). Ainsi, les éventuels déplacements faits en voiture avant l'entrée dans le métro sont comptabilisés comme un trajet à pied. Par ailleurs, il est fort probable que les usagers bimodaux utilisent les stationnements incitatifs mis à disposition par l'AMT (<https://www.amt.qc.ca/fr/planifier-trajet/voiture/stationnements-incitatifs>). Le mode d'entrées

dans les stations de Montréal serait impacté dans les stations suivantes : Angrignon, Côte-Vertu, Namur et Radisson sur l'île de Montréal, Cartier et Montmorency sur l'île de Laval et Université de Sherbrooke à Longueuil.

Au niveau de l'ensemble des stations, la proportion de personnes se rendant à pied à la station de métro est considérable (68% des entrées). Viennent ensuite les personnes se rendant en bus de la STM (22% des entrées). Les autres entités ont de très faibles parts, elles représentent environ 10% des entrées en les cumulant. Cependant, lorsqu'on étudie au cas par cas les stations, on remarque que chaque station a son propre fonctionnement en termes de correspondances ou non avec d'autres entités.

Les stations du centre-ville sont principalement atteintes à pied. Plus on s'éloigne du centre-ville, plus la proportion d'accès à pied à la station diminue. Les stations aux extrémités des lignes (Montmorency et Cartier à Laval, Côte-Vertu sur la ligne orange, Honoré-Beaugrand et Angrignon sur la ligne verte, Saint-Michel sur la ligne bleue, Longueuil-Université-de-Sherbrooke sur la ligne jaune) ont une majorité d'accès réalisés en bus ou en train. Les stations qui ont une correspondance avec une ligne de train (Bonaventure, Lucien-L'Allier, Parc, Vendôme et De La Concorde) ont une part non négligeable d'entrées liées à ce mode de transport. Quant aux usagers des AOT de la couronne Nord, ils se rendent soit à la station terminus de Laval ou aux stations terminales de la ligne verte (Honoré-Beaugrand et Radisson) pour ceux qui habitent dans la partie Est de la couronne Nord et empruntent l'autoroute 40 ou la route nationale 138. Au sujet des usagers des AOT de la couronne Sud, les stations d'entrées dans le métro sont Angrignon (ceux de la partie Ouest de la couronne Sud), Bonaventure (ceux qui traversent le pont Champlain ou Victoria, c'est-à-dire personnes habitant des villes telles que Brossard, Chambly, etc.) et Longueuil (ceux de la partie est de la couronne Sud). Avec cette carte, on se rend compte que la station de Longueuil-Université-de-Sherbrooke est une station avec peu d'entrées réalisées à pied à cause d'infrastructures routières très présentes. La part d'entrées à pied est, par ailleurs, sans doute réalisée à l'aide des modes Park-and-Ride et Kiss-and-Ride.

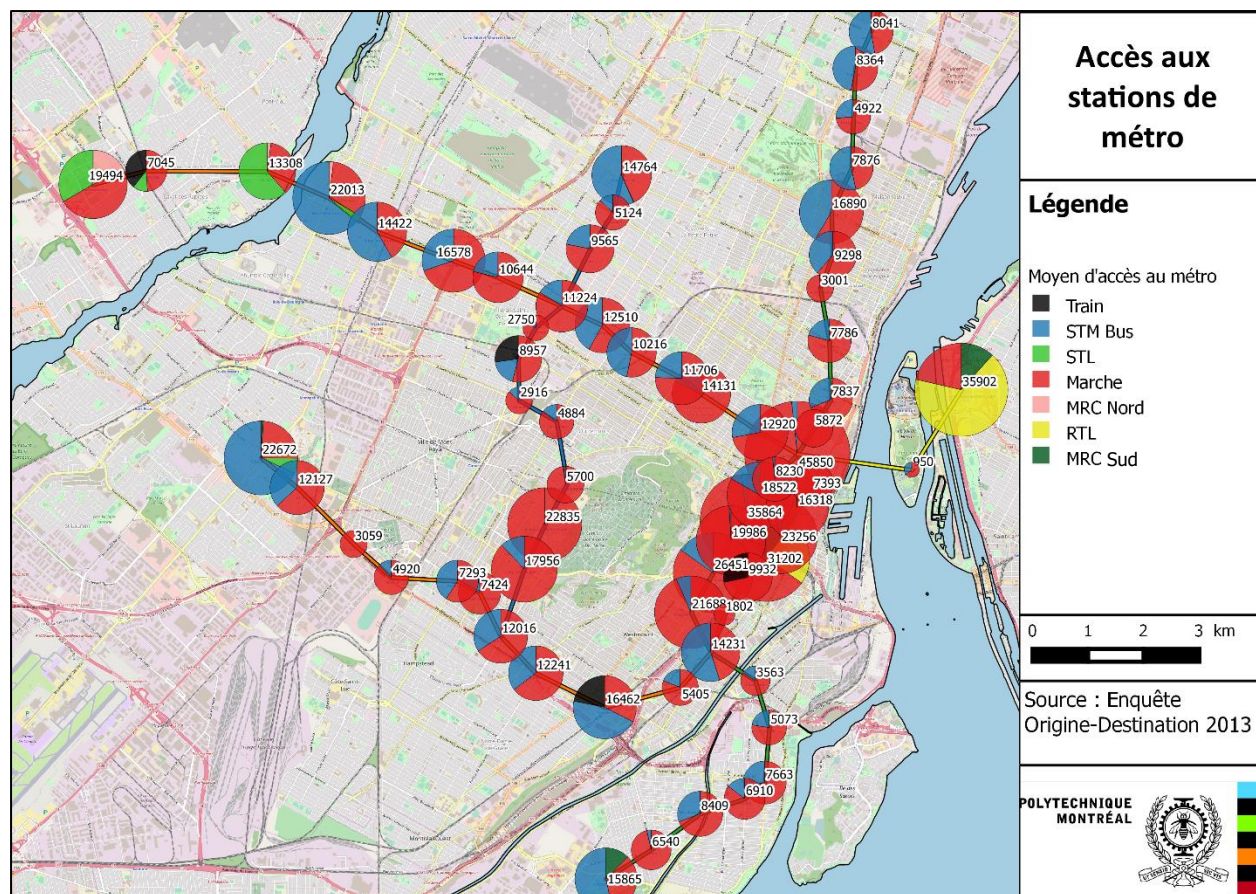


Figure 4.24 : Moyen d'accès des stations de métro

La carte suivante se concentre sur les stations du centre-ville, c'est-à-dire entre Berri-UQAM et Lionel-Groulx. La proportion des déplacements à pied vers l'une de ces stations est extrêmement élevée. Par exemple, 98% des déplacements sont faits à pied pour se rendre à McGill. Deux stations de la ligne verte (Guy-Concordia et Place-des-Arts) ont une proportion d'accès à pied légèrement plus faible au profit des bus de la STM (15% des entrées). La station Bonaventure est, comme celle de Longueuil, une station intermodale avec de nombreux bus (ceux de la STL et des AOT de la MRC de la couronne Sud), mais aussi la présence du train.

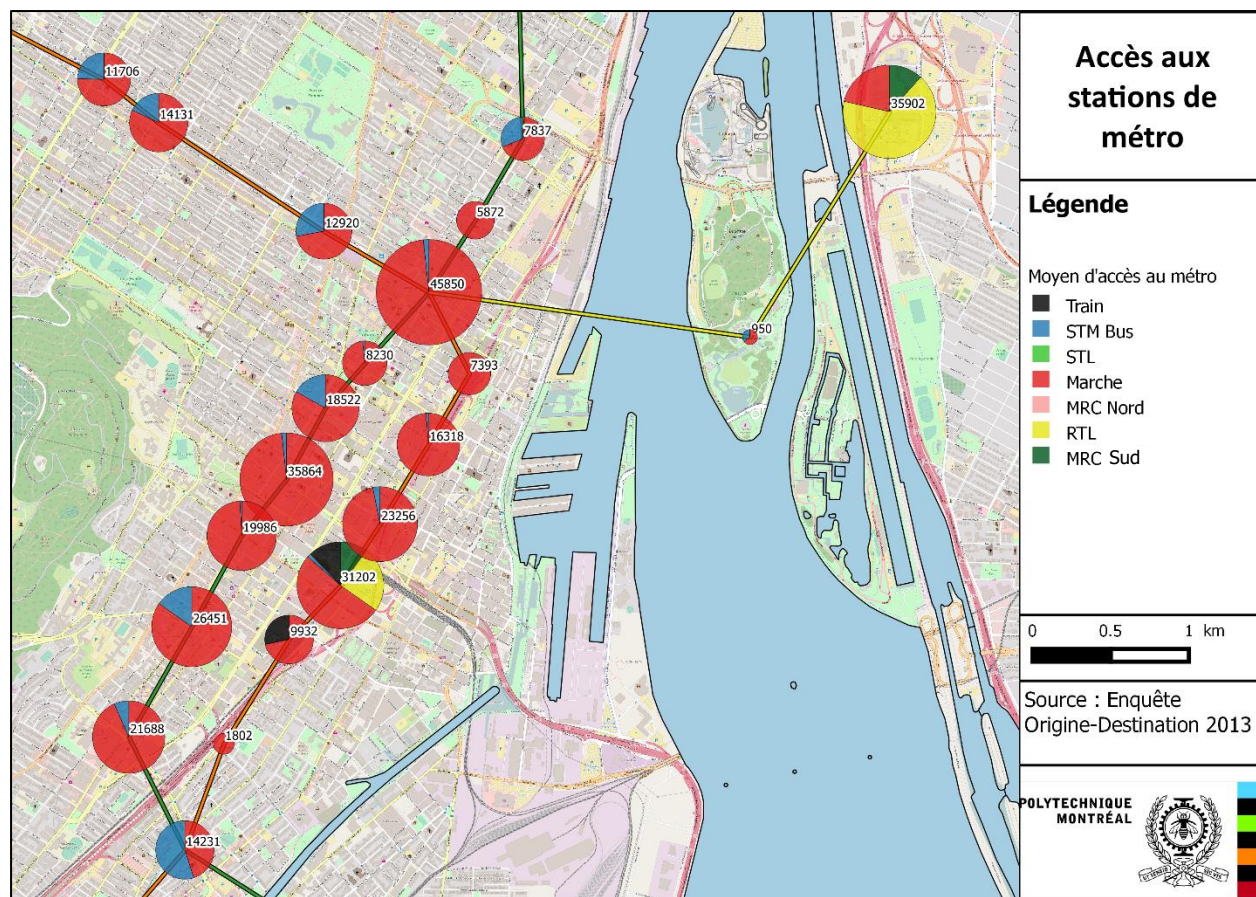


Figure 4.25 : Moyen d'accès des stations du centre-ville

La carte suivante (Figure 4.26) fait la transition entre le mode utilisé et les itinéraires empruntés. Elle permet de s'apercevoir de l'étendue des différents réseaux et notamment du réseau ferroviaire. De manière qualitative, elle semble montrer que les secteurs de l'Est de la couronne Nord (région de Lanaudière) et de l'Est de la couronne Sud (Varennnes) sont ceux où les habitants font les plus longs déplacements pour se rendre au métro. Le prochain paragraphe détaillera la distance parcourue pour se rendre à chaque station.

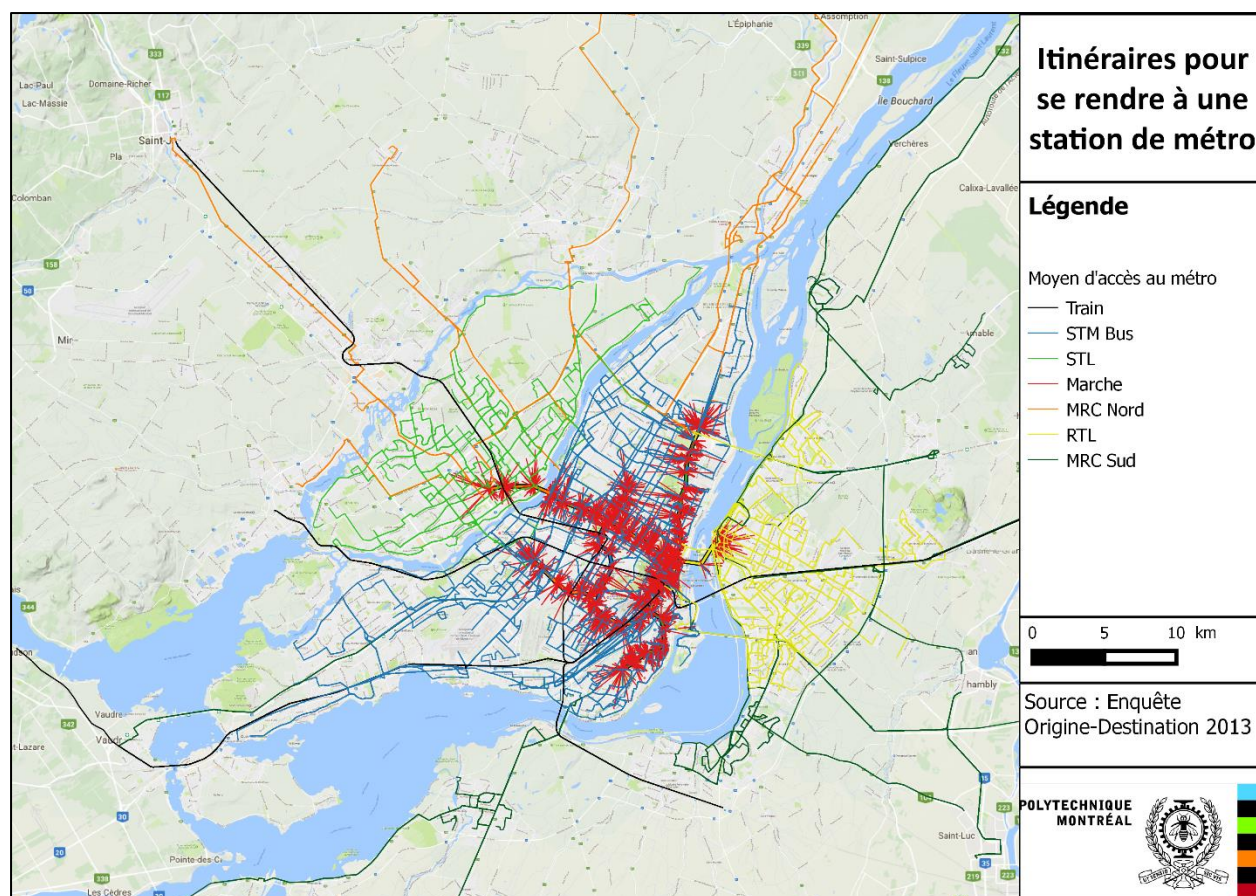


Figure 4.26 : Itinéraires selon le mode d'accès

La carte suivante montre les itinéraires des déplacements précédant l'entrée dans le métro pour chaque station. Les déplacements précédant l'entrée au métro dans les stations lavalloises sont parmi celles ayant les distances les plus longues (environ 6,1 km avec un pic de 7,3 km pour la station De La Concorde). La station Lionel-Groulx est la station dont les déplacements précédents sont les plus longs (10,1 km). Cette longue distance vient du fait que de nombreux bus venant de l'Ouest de l'île s'arrêtent à cette station. En général, les stations situées aux extrémités des lignes ou celles ayant pour correspondance une ligne de train ont les déplacements antécédents les plus longs (7,0 km pour Parc, 7,9 km pour Lucien-L'Allier, 9,6 km pour Bonaventure, 9,2 km pour Longueuil, 7,7 km pour Radisson). Les stations du centre-ville ont quant à elles des déplacements précédents très courts (moins de 500m) dus à une très grande majorité d'accès à pied. Ainsi, les stations extérieures (hors du centre-ville) et celles avec une correspondance avec le train sont accessibles depuis des distances plus lointaines.

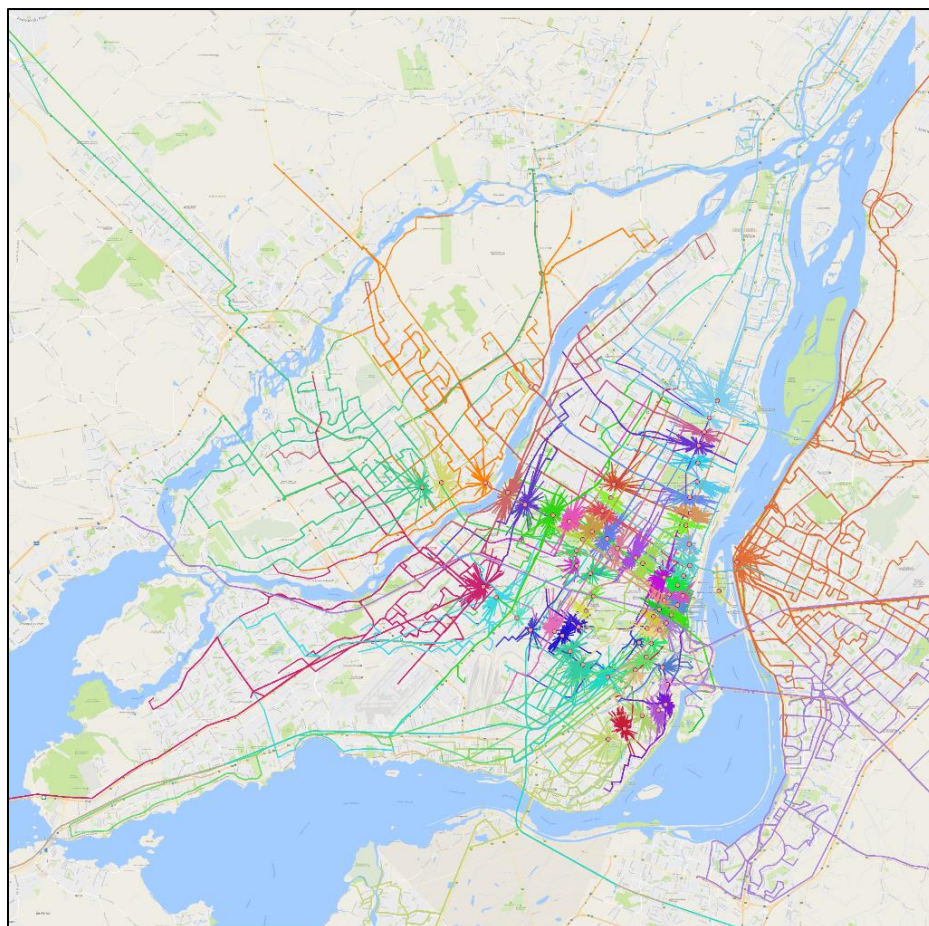


Figure 4.27 : Itinéraires d'accès aux stations de métro

4.2 Les évolutions entre 2008 et 2013

Cette partie sera concise, car elle ne constitue pas le cœur du mémoire. Cependant, il est toujours intéressant d'analyser les transports de façon temporelle, car la mobilité quotidienne est un phénomène très variable et constamment influencé par de nouvelles formes de transport. Cette partie donnera les principaux enseignements à tirer de l'évolution des déplacements. Elle détaillera en particulier les évolutions sur la demande en transport (distribution temporelle et mode utilisé), les caractéristiques individuelles d'un déplacement et les évolutions des déplacements liés au métro qui est le mode le plus couramment utilisé.

4.2.1 La demande en transport

4.2.1.1 Distribution temporelle

Tout d'abord, le nombre de déplacements effectués en transport en commun a augmenté de 8% entre 2008 et 2013. Cette augmentation ne s'est pas faite grâce à un report modal, mais simplement par une augmentation du trafic journalier (augmentation de 11% des déplacements en période de pointe du matin). Cependant, selon le secteur du domicile de l'utilisateur, l'évolution est complètement différente. Les secteurs des couronnes sont ceux qui ont vu leur nombre de déplacements en TC augmenter le plus en proportion à l'exception des secteurs du Sud-Ouest. Les secteurs de l'île de Montréal ont vu leur nombre de déplacements très peu augmenter, voire régresser.

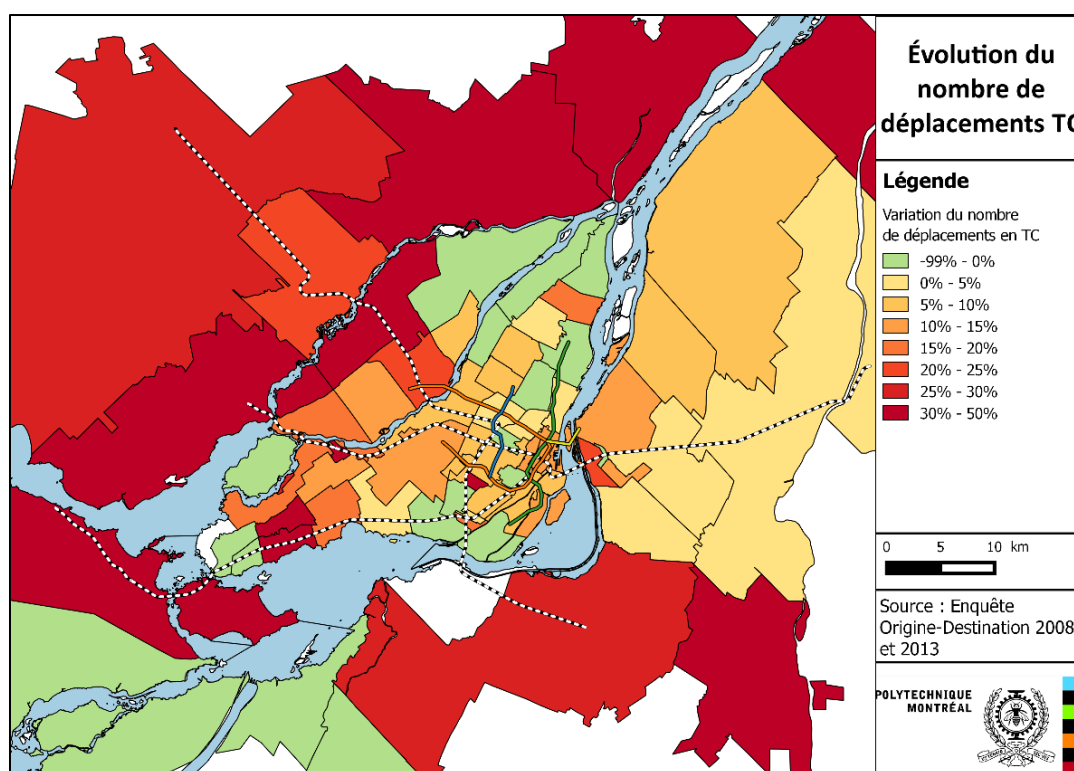


Figure 4.28 : Évolution du nombre de déplacements en TC

La distribution temporelle des déplacements (Figure 4.29) montre que la structure des déplacements n'a globalement pas évolué en 5 ans. La proportion de personnes se déplaçant en période pointe n'a pas augmenté.

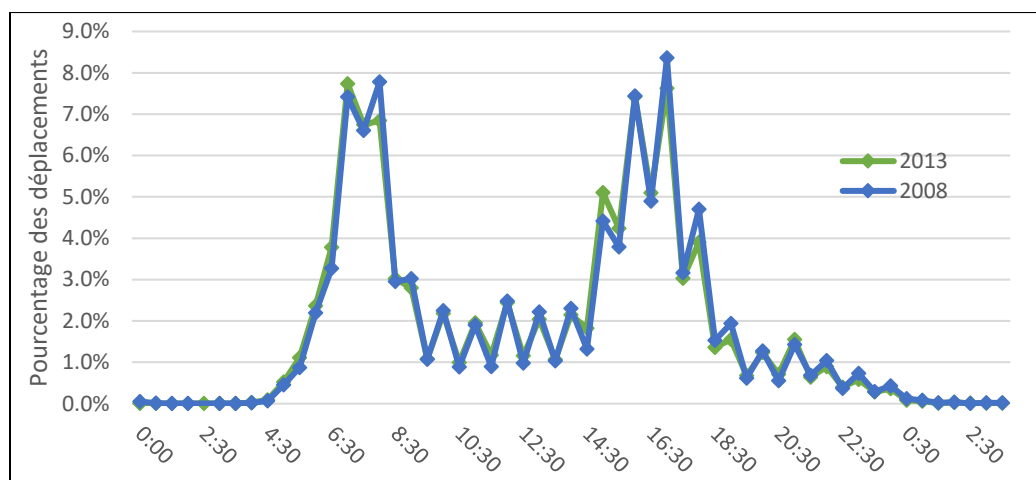


Figure 4.29 : Distribution temporelle des déplacements de l'EOD de 2008 et de 2013

4.2.1.2 Mode

En s'intéressant au mode de transport utilisé, on remarque que l'augmentation du nombre de déplacements en TC est plus accentuée chez les utilisateurs du Park-and-Ride. Cette augmentation de 24% a sans doute été favorisée par la mise en place de stationnements incitatifs à certaines stations de métro ou gares de train. L'augmentation du mode AJ est la plus importante en proportion (+93%). La multiplication du nombre de pistes cyclables et la mise en place de Bixi, le système de vélos en libre-service de Montréal, en 2009, ont probablement joué un grand rôle dans l'augmentation de ce mode.

Tableau 4.11 : Évolution des modes de TC

Mode	EOD 2008	EOD 2013	Variation (2013/2008)
TC	1 224 152	1 299 240	6%
PR	88 849	116 239	24%
KR	46 944	51 610	9%
AJ	551	8 136	93%
Total	1 360 496	1 475 225	8%

4.2.2 Caractéristiques d'un déplacement

4.2.2.1 La séquence des entités

Nous sommes partis de la même catégorisation faite dans la Figure 4.12 pour voir les évolutions des différentes entités. Les premiers chiffres semblent être contradictoires : d'un côté, le nombre

de déplacements unientité augmente plus rapidement que la moyenne d'où une simplification des séquences ; d'un autre côté, le nombre de déplacements avec 3 entités ou plus a également augmenté de 17% d'où une complexification des déplacements. La séquence qui a progressé moins rapidement que l'augmentation moyenne est le déplacement bientités dont un des tronçons est réalisé en métro. Les entités qui ont le plus progressé sont celles présentes en couronne.

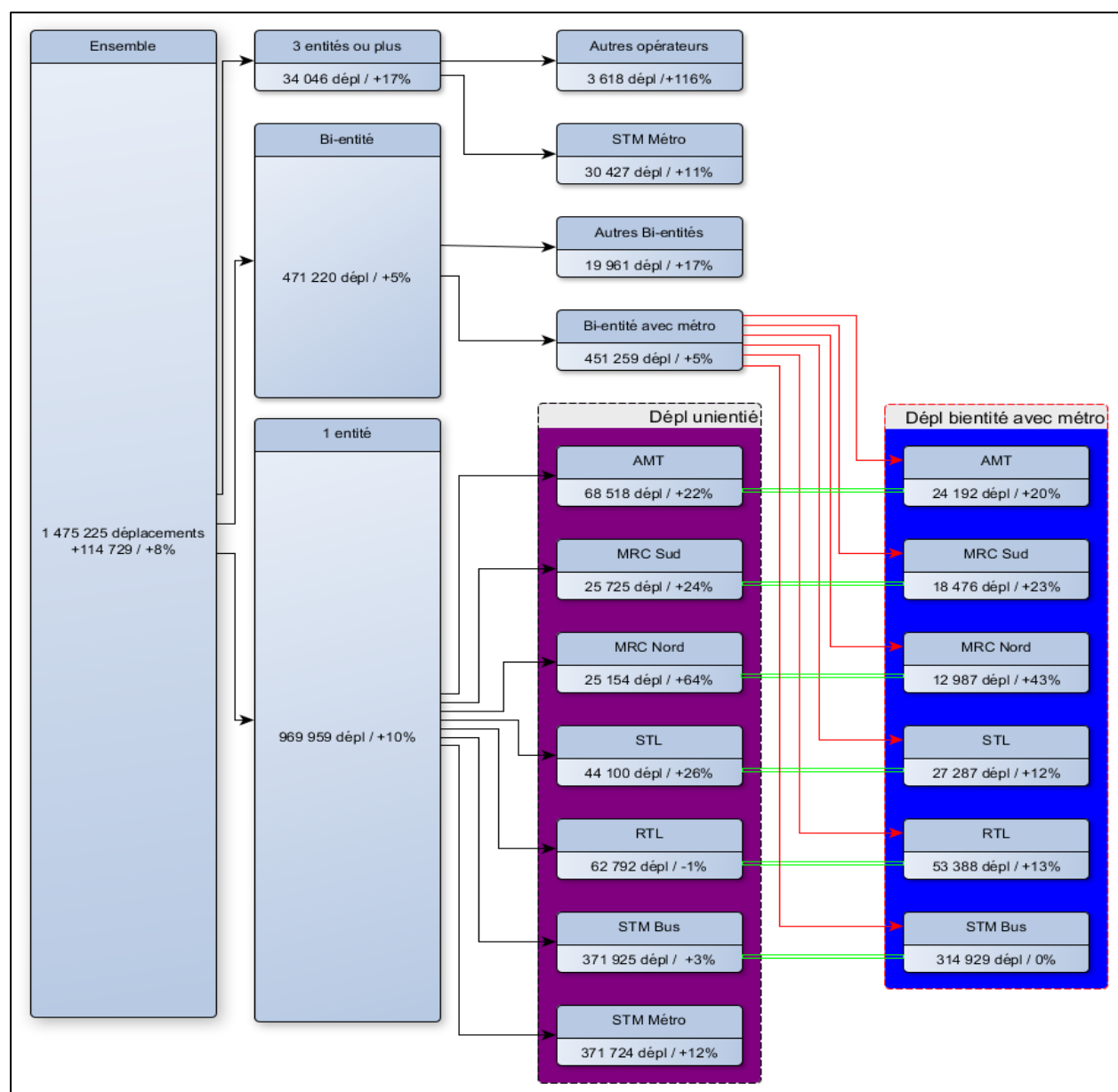


Figure 4.30 : Comparaison des séquences des entités entre l'EOD 2008 et celle de 2013

4.2.2.2 Les séquences les plus utilisées

Si l'on s'intéresse seulement aux séquences d'entités les plus utilisées (Figure 4.31), on remarque que les séquences qui ont le plus augmenté sont celles qui impliquent une entité autre que la STM Bus. Comme remarqué avec les secteurs du domicile, ce sont les AOT qui sont hors de l'île de Montréal qui ont le plus progressé (par exemple, les déplacements RTL-Métro et Métro-RTL, ou Train-Métro et Métro-Train).

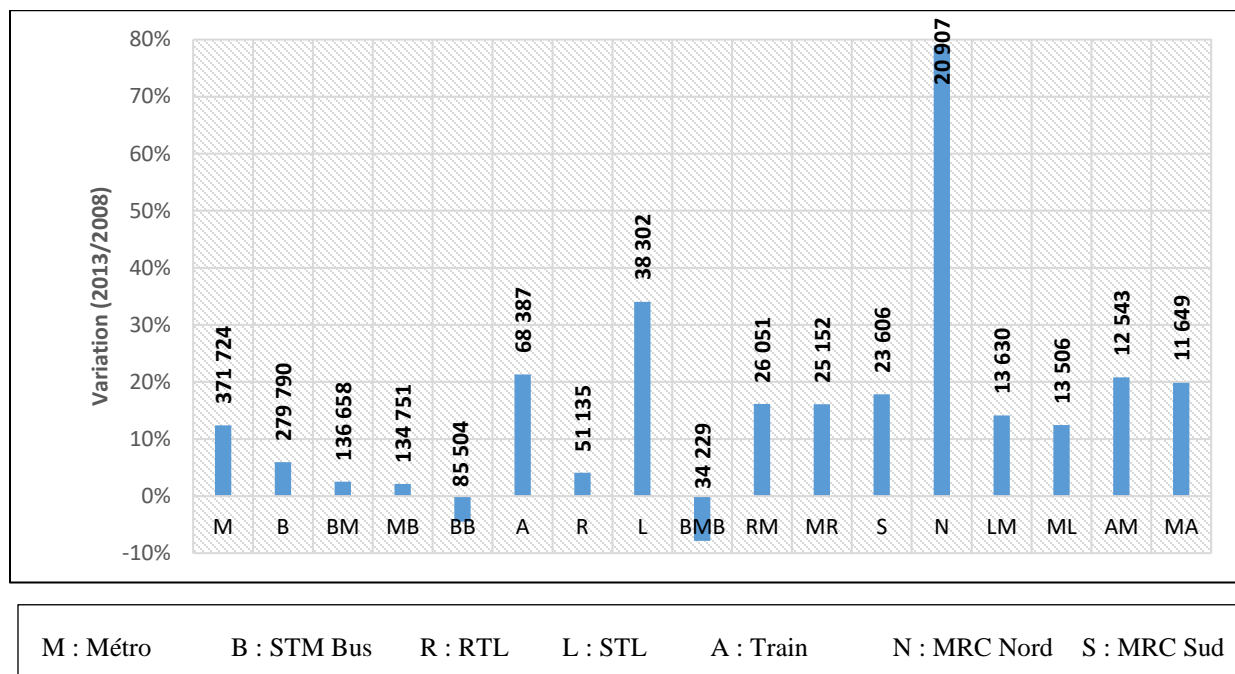


Figure 4.31 : Variation du nombre de déplacements selon les séquences entre l'EOD de 2008 et de 2013

4.2.2.3 Correspondances

Le nombre moyen de correspondances n'a globalement pas évolué entre 2008 et 2013 (0,49 en 2013 contre 0,51). Il y a seulement une légère augmentation du nombre de déplacements sans correspondances (58% des déplacements contre 56% en 2008). La principale raison à cette stagnation est l'absence de modification importante du réseau de TC entre 2008 et 2013.

Tableau 4.12 : Évolution du nombre de correspondances

Nombre de correspondances	EOD 2013	EOD 2008
0	853 852 (58%)	759 149 (56%)
1	529 003 (36%)	505 311 (37%)
>1	92 371 (6%)	96 035 (7%)
Total	1 475 225	1 360 495

4.2.3 Le réseau structurant : le métro

Le métro n'a pas vu son rôle augmenter entre 2008 et 2013. La part du métro est restée constante dans l'ensemble des déplacements en TC (58% des déplacements en TC ont utilisé le métro). Par contre, le train a vu son nombre de déplacements augmenter de 17 000, soit 17% d'augmentation, pour atteindre 115 000 déplacements. Ce chiffre est à fortement nuancer avec les l'achalandage indiqué dans le rapport annuel de l'AMT pour 2013 (Agence Métropolitaine de Transport, 2013). Ce rapport indique un nombre quotidien de déplacements de 74 900, c'est-à-dire 35% inférieur à ce qui est révélé dans l'EOD et une croissance de 12,2%.

Le réseau structurant, n'ayant pas évolué dans cette période, nous allons voir si les comportements ont évolué. Vu qu'au global, il n'y a eu que très peu d'évolutions, nous allons regarder l'évolution chez les usagers du PR et KR. Les tailles des bulles correspondent à la différence entre l'utilisation en 2008 et 2013. Dans chaque bulle est indiquée l'évolution relative. On remarque qu'une forte proportion de nouveaux usagers de PR et KR n'utilisent ni le train ou ni le métro (augmentation de 40% de cette classe).

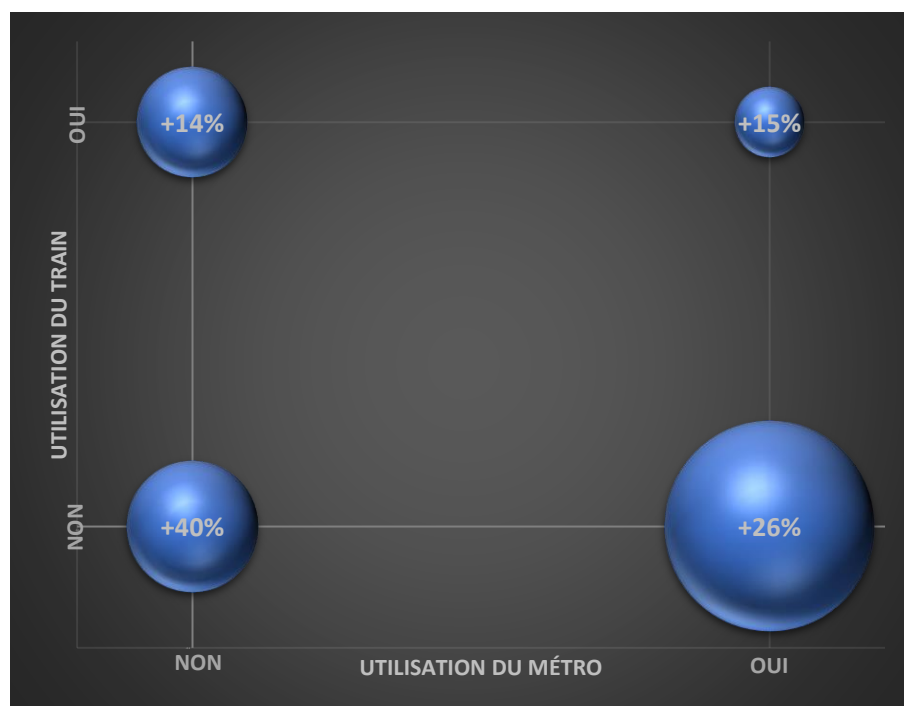


Figure 4.32 : Évolution de l'usage du réseau structurant pour les usagers de PR et KR

CHAPITRE 5 COMPARAISON DES RÉSULTATS À L'AIDE DES CARTES À PUCE

Dans ce chapitre, nous allons nous intéresser à la question de la justesse des résultats obtenus dans le chapitre précédent avec l'EOD 2013. Pour cela, nous allons utiliser les données de CAP de la même année pour réaliser diverses comparaisons et détecter d'éventuels biais dans l'EOD. Cependant, les données de CAP ne comprennent pas l'ensemble des transactions faites pour utiliser le train, car les usagers ne sont pas dans l'obligation de valider leurs titres. Ainsi, l'étude comparative « supprime », dans les données de l'EOD, les usagers utilisant seulement le train. Pour ceux utilisant une combinaison d'AOT dont le train, le tronçon fait en train a également été supprimé tout en conservant le déplacement. Par exemple, un trajet Train-Métro a été transformé en Métro pour avoir deux ensembles de données similaires. La structure de ce chapitre se calque sur celui du précédent chapitre pour reprendre les différents résultats. Partant du principe que les CAP ont une plus faible probabilité d'engendrer des résultats biaisés (au vu des problèmes rencontrés dans les EOD expliqués dans le chapitre 2 « Revue de littérature »), les CAP servent de valeur de référence dans les comparaisons. Ainsi, toutes les comparaisons se feront sous ce format :

- Différence absolue $\Delta = EOD - CAP$
- Différence relative $\delta (\%) = \frac{\Delta}{CAP} = \frac{EOD - CAP}{CAP}$

5.1 Les systèmes d'activités

Les chaînes de déplacements sont un concept plus compliqué à mettre en place avec les données de CAP. Il est impossible de savoir combien de déplacements au total la personne a réalisés au cours de sa journée. De plus, certaines personnes ont pu utiliser différents titres dans la même journée (par exemple, une personne peut avoir utilisé deux titres unitaires différents dans la même journée). Cependant, pour des fins de comparaison avec l'EOD et de simplification, une personne correspondra à un titre. Nous nous efforcerons de tirer le meilleur parti des données de CAP pour expliciter les structures de déplacements. C'est ainsi, dans ce contexte, que les données de l'EOD ont été traitées pour pouvoir comparer les deux ensembles de données.

5.1.1 Les titres utilisés

Les données de CAP recensent 531 titres différents. Ces titres sont regroupés en 6 catégories : titre forfaitaire (ordinaire et réduit), titre unitaire (ordinaire et réduit), titre journalier et autre. Au global, le nombre de voyages par titre est de 2 contre 2,04 pour l'EOD. Le nombre de voyages par titres varie grandement selon la catégorie du titre. Les titres forfaitaires et surtout journaliers ont plus de 2,2 voyages par titre alors que les autres titres ont moins de 1,7.

Tableau 5.1 : Répartition des personnes et des déplacements par titre avec les CAP

Titre	Personnes	Déplacements	Nombre de voyages par titre
Forfait Ordinaire	258 778 (42%)	588 932 (42%)	2,28
Forfait Réduit	196 246 (28%)	439 720 (31%)	2,24
Unitaire Ordinaire	161 350 (23%)	204 332 (15%)	1,27
Jour	34 130 (5%)	84 176 (6%)	2,47
Unitaire Réduit	26 304 (4%)	43 822 (3%)	1,67
Autre	25 764 (4%)	41 454 (3%)	1,61
Total	702 572	1 402 436	2,00

En englobant les titres journaliers (qui comprend une partie des touristes) dans les titres forfaitaires et les titres « Autre » dans les titres unitaires, la Figure 5.1 présente une comparaison des titres entre l'EOD et les CAP. Les titres forfaitaires sont largement plus nombreux dans les données d'EOD que de CAP (81% des personnes dans l'EOD contre 65% dans les CAP). Par contre, il y a moins de titres unitaires dans l'EOD que dans les CAP. De plus, dans les CAP, les personnes possédant un titre unitaire font moins de déplacements que ceux trouvés dans l'EOD. Il est fort probable que certaines personnes aient réalisé deux déplacements avec deux titres unitaires différents. En faisant une approximation sommaire qui consiste à faire concorder le nombre de déplacements par titre unitaire des CAP avec celui de l'EOD (1,85 déplacement par titre), le nombre de personnes semble mieux coïncider (157 000 personnes ayant un titre unitaire dans les CAP contre 134 000 dans l'EOD). Il faudrait peaufiner l'analyse des titres pour faire une réelle approximation. Ainsi, on conclut que l'EOD sous-estime la mobilité des personnes avec des titres forfaitaires réduits (surtout des jeunes) tout en surestimant le nombre de personnes possédant des titres unitaires réduits (dans la majorité des cas, des personnes âgées).

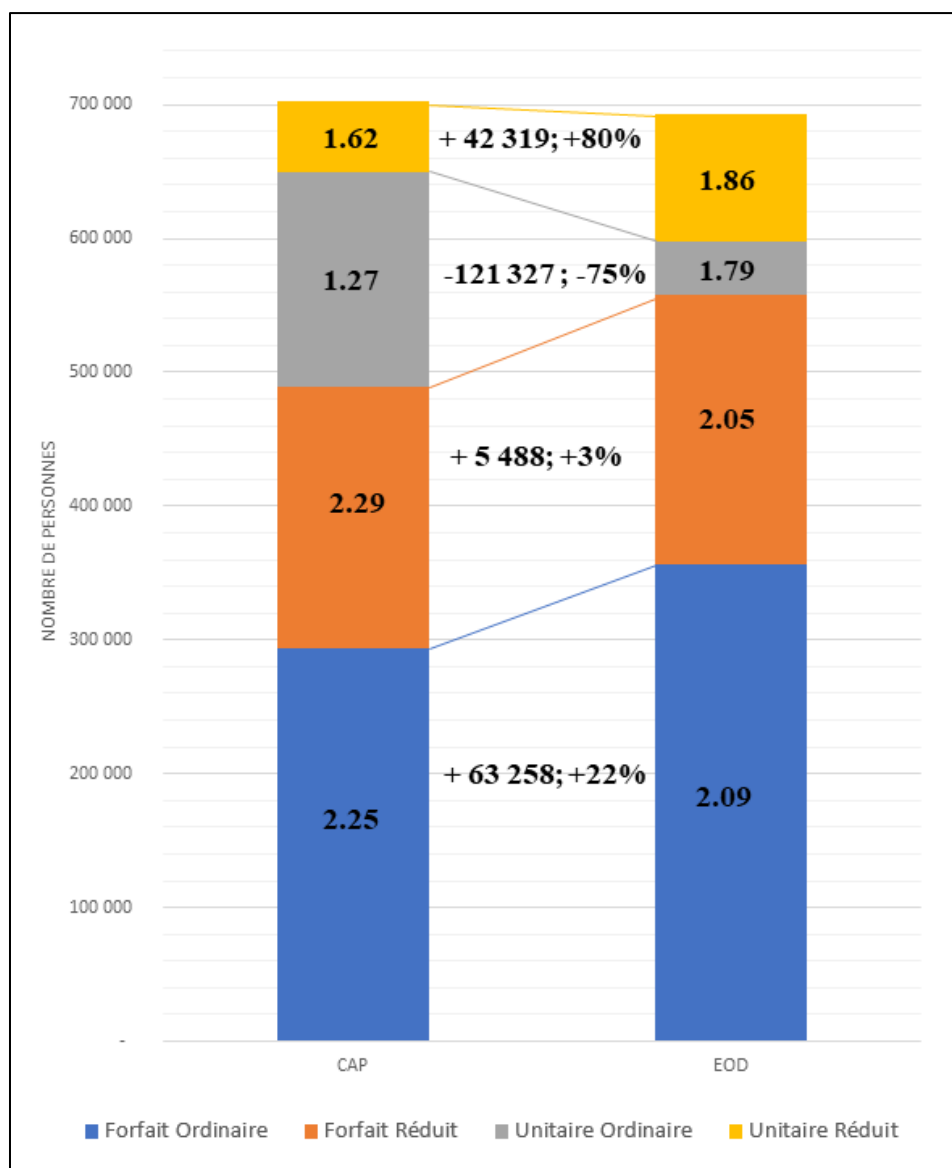


Figure 5.1 : Comparaison des titres utilisés entre EOD et CAP

5.1.2 Le nombre de déplacements

Tout d'abord, nous allons analyser le nombre de déplacements en TC effectués par chacune des personnes. La différence du nombre de personnes est minime (10 262 personnes d'écart sur 724 505 personnes soit 1% d'écart). L'EOD a tendance à surestimer les chaînes simples faites avec deux déplacements en TC dans la journée (+56%) alors que les CAP semblent montrer des structures plus complexes (respectivement -48%, -35% et -80% pour les chaînes suivantes : 3 déplacements en TC, 4 déplacements en TC et plus de 4 déplacements en TC). La raison la plus

probable est l'effet miroir de la structure des déplacements. Partant du principe de la dominance de la journée classique d'un travailleur ou d'un étudiant, l'EOD surestime ces structures en surpondérant ces personnes. De plus, les personnes interviewées dans l'EOD ont peut-être indiqué avoir fait un aller-retour avec le même moyen de transport alors qu'ils ont fait un des deux déplacements d'une autre manière (à pied, en auto passager, etc.). Cette interprétation expliquerait, en partie, la grande différence entre le nombre de structures d'un déplacement en TC et de deux déplacements en TC.

La Figure 5.2 fait apparaître une majoration des structures avec deux déplacements. Cependant, cette surestimation est nuancée par le fait que les structures soient symétriques. La Figure 5.3 confirme l'effet miroir surdimensionné par l'EOD en déterminant pour les personnes ayant fait 2 ou 4 déplacements en TC dans la journée si les structures sont symétriques, comme fait dans le Tableau 4.6. Ainsi, les structures symétriques sont surestimées dans l'EOD, particulièrement pour les structures avec deux déplacements. Par contre, les structures non symétriques sont sous-estimées que ce soit pour les structures à 2 ou 4 déplacements. On en conclut donc que l'EOD favorise les journées dites « classiques » avec une activité et dont les déplacements sont symétriques.

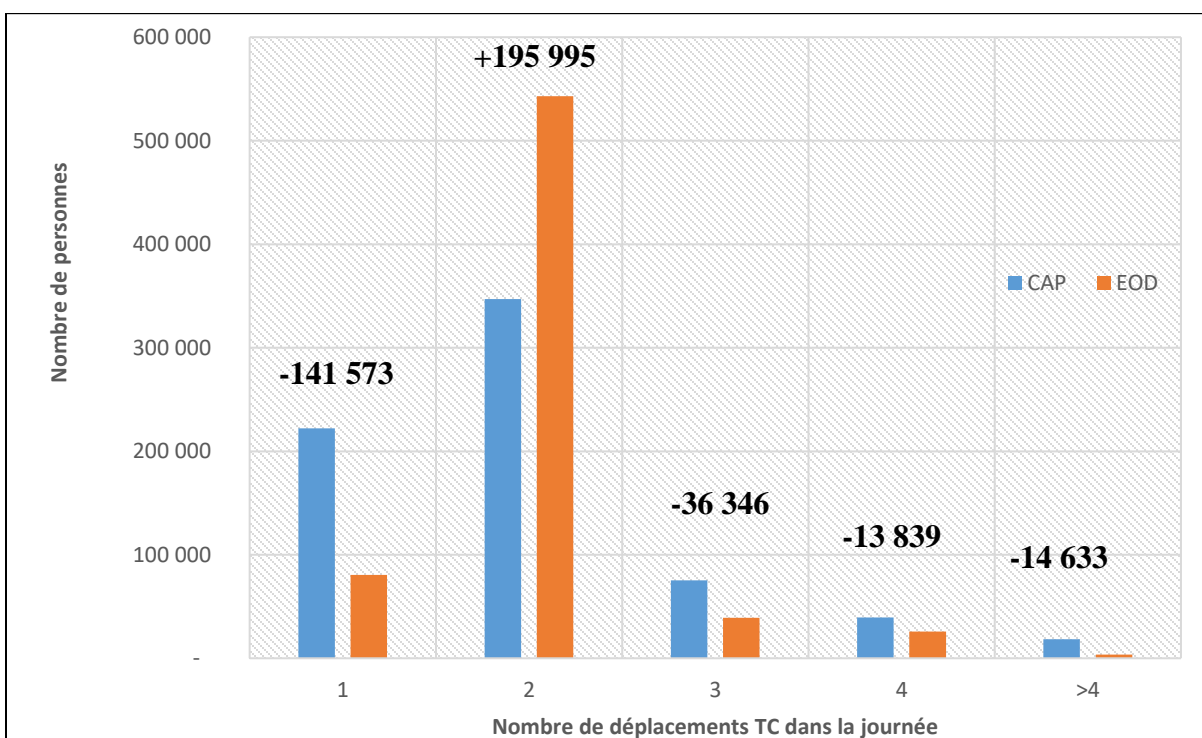


Figure 5.2 : Nombre de personnes selon leur nombre de déplacements en TC (EOD et CAP)

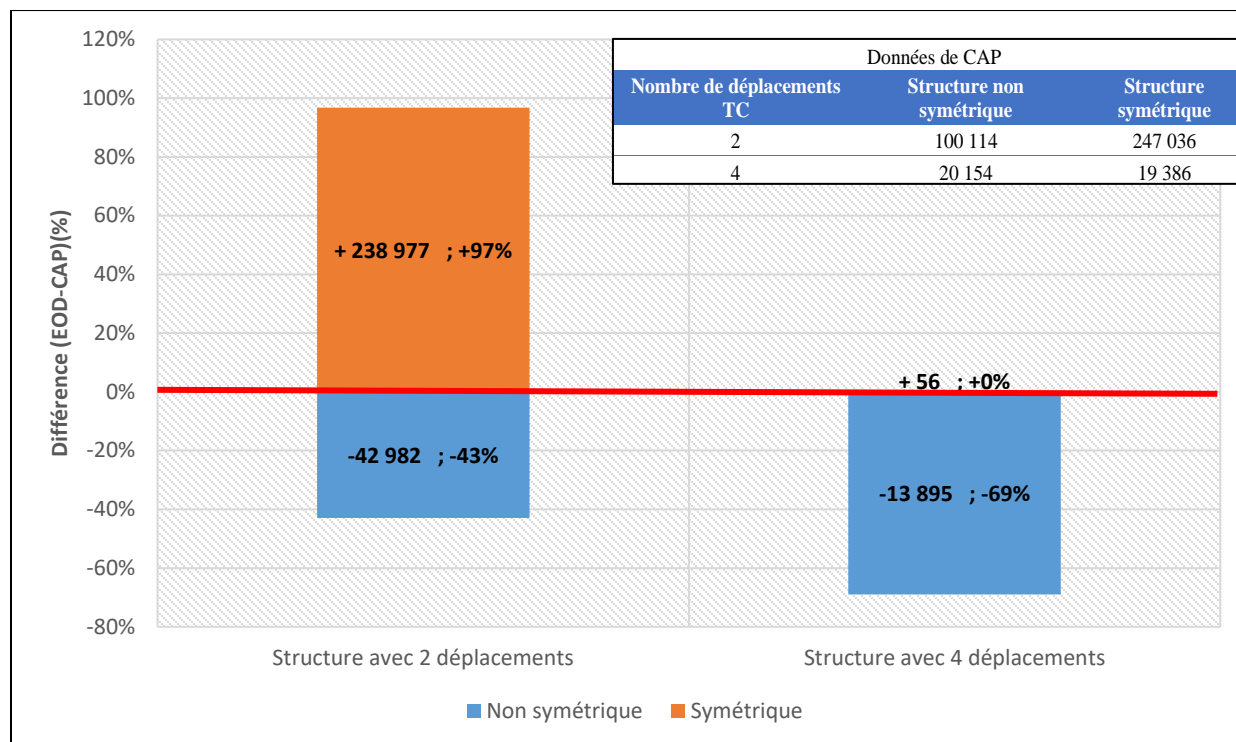


Figure 5.3 : Symétrie des structures de 2 et 4 déplacements

5.1.3 La distribution temporelle

Les données de CAP sont d'une précision extrêmement fine à propos des heures des transactions. Les transactions sont récupérées à la seconde près. Ainsi, il est possible de tracer une distribution temporelle très précise. Le graphique suivant présente le nombre d'entrées sur le réseau agrégé par période d'une minute. Si l'on considère que la période est chargée lorsqu'on dépasse les 1 500 entrées à la minute soit 90 000 entrées à l'heure, on remarque que la période en soirée est légèrement plus longue que le matin : la période dure de 7h à 9h le matin alors que la période du soir de 15h à 18h15. Cependant, nous allons prendre la caractérisation des périodes faite dans l'EOD. La période du matin est de 6h à 9h, celle du soir est de 15h30 à 18h30. L'avantage de cette caractérisation est que ces deux périodes ont la même durée.

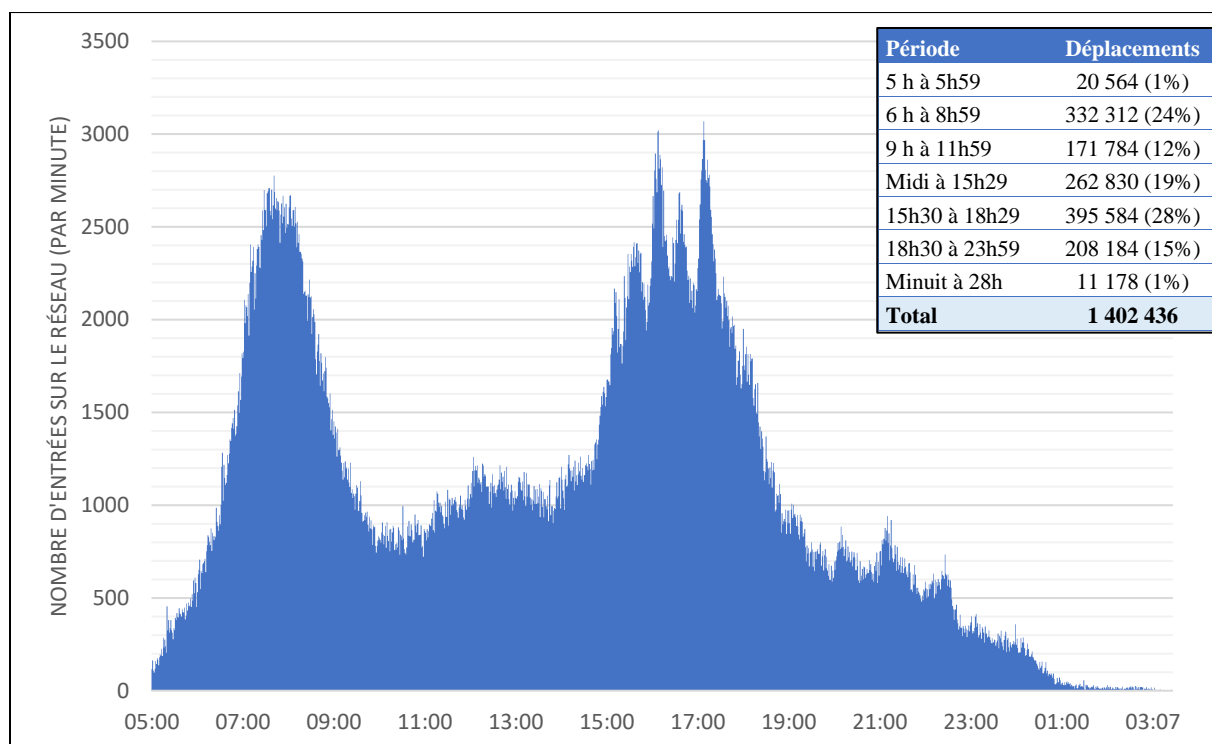


Figure 5.4 : Distribution temporelle des entrées sur le réseau

Pour pouvoir comparer les deux ensembles de données, le choix d'agrégation s'est arrêté sur une période de 30 minutes, celle faite pour l'EOD. Les résultats de l'EOD surestiment le nombre de déplacements faits lors des périodes de pointe (+27 000 déplacements soit une augmentation de 17%) alors qu'il y a une sous-estimation de 18%, du nombre de déplacements en période hors pointe (-122 000 déplacements). Ainsi, au global, les CAP et l'EOD renseignent le même nombre de déplacements.

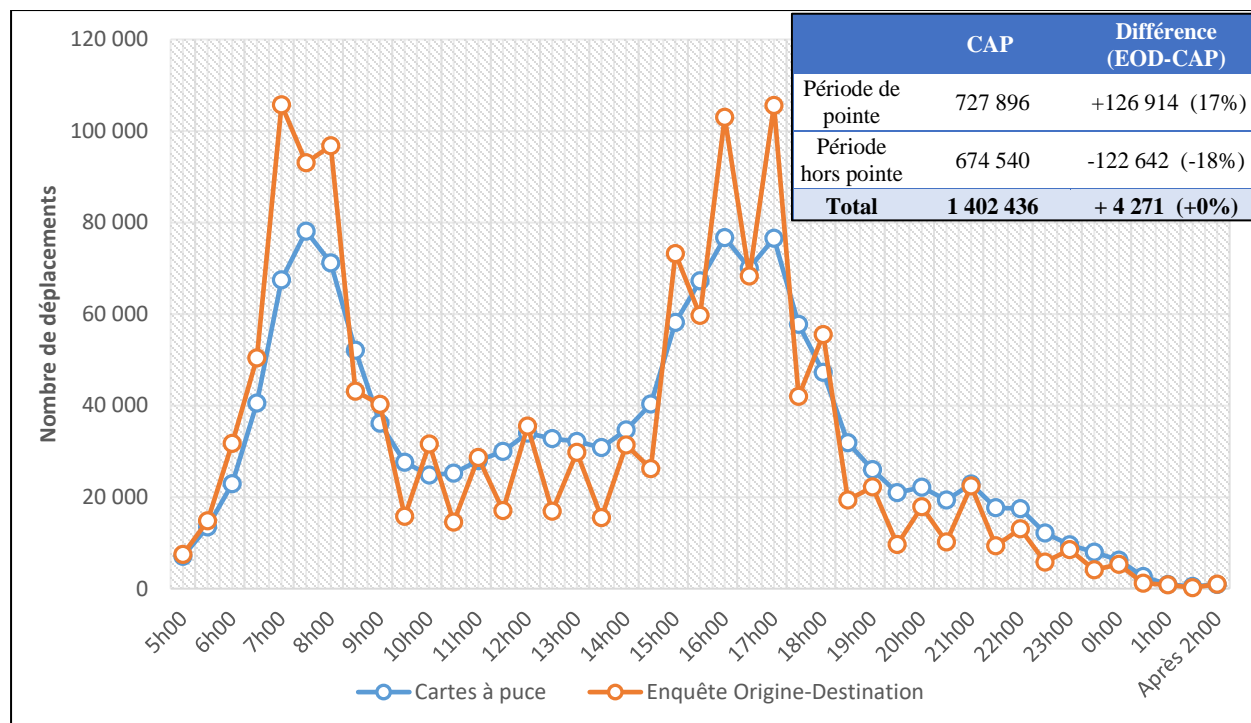


Figure 5.5 : Distribution temporelle des déplacements selon l'EOD et les CAP

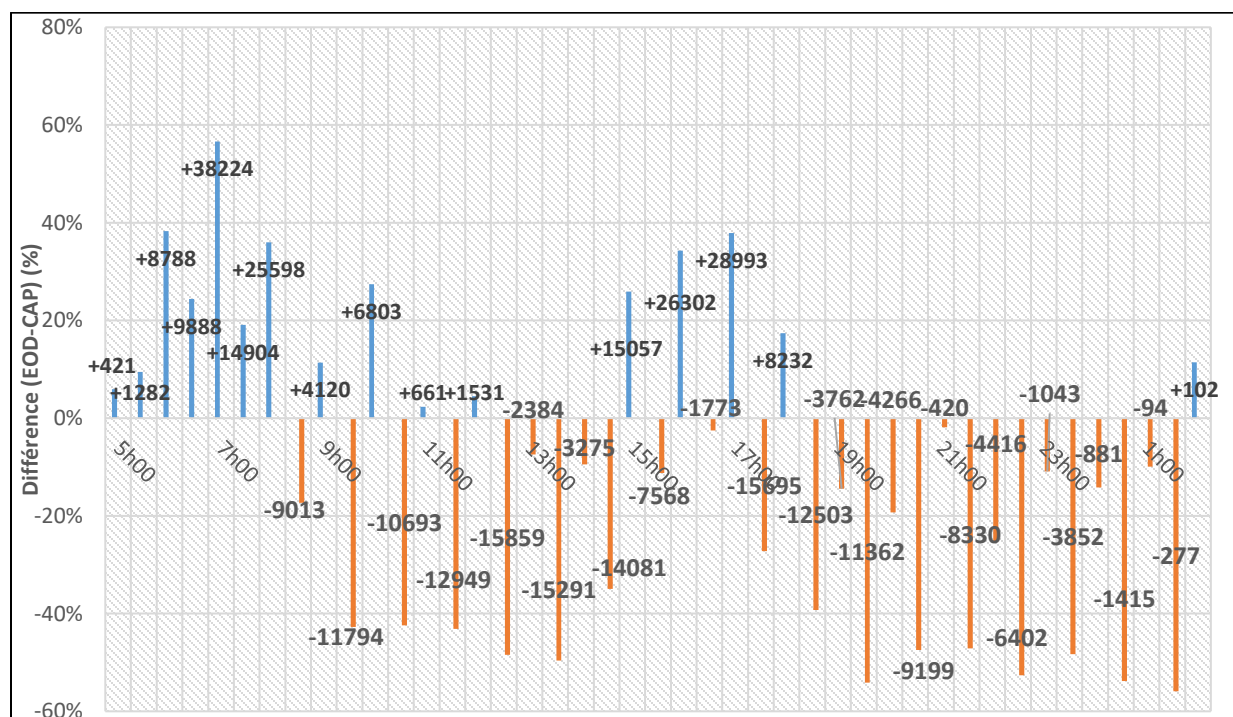


Figure 5.6 : Variation du nombre de déplacements par période de 30 minutes

5.1.4 Les durées d'activités

Nous allons maintenant nous intéresser aux durées d'activités. Pour cela, nous avons procédé de la même façon que dans l'EOD, c'est-à-dire en agrégeant les heures de déplacements par période de 30 minutes. Chaque activité est caractérisée par une paire qui spécifie l'heure de début et de fin de cette occupation. La Figure 5.7 représente les différences entre l'EOD et les CAP. En vert, on distingue les paires début/fin d'activités qui sont sous-estimées dans l'EOD alors que celles en rouge sont celles qui sont surestimées par l'EOD. Ainsi, on remarque que de nombreuses paires sont sous-estimées par l'EOD. Cependant, ce sont des valeurs comprises entre 0 et 5 000 déplacements. Alors que l'EOD surestime un nombre moins important de paires début/fin d'activités, mais de façon plus importante (jusqu'à 18 741 activités d'écart dans la paire 7h/16h). Deux raisons expliquent ces différences. Premièrement, comme vue dans la section 5.1.3, l'EOD surestime le nombre de déplacements en période de pointe et c'est dans ces périodes qu'il y a le plus de déplacements et donc le plus de chances d'avoir des différences importantes. Deuxièmement, l'EOD accentue le nombre d'entrées aux heures pile : c'est pour cela qu'on observe deux pics.

Pour compléter sur les durées d'activités, la Figure 5.8 présente les variations du nombre de début et de fin d'activité en fonction de la période de la journée. La structure de graphique rappelle celui de la section 5.1.3. On remarque qu'en période de pointe, le nombre de déplacements est surestimé. Cependant, en période de pointe du soir, le nombre de départs est sous-évalué. On en conclut que l'EOD a tendance d'exagérer la structure « classique » d'un travailleur pour les usagers alors que les systèmes d'activités sont plus complexes avec notamment de nouvelles activités tout au long de la journée.

[illegible]

Figure 5.7 : Nombre de déplacements selon le début et la fin de l'activité

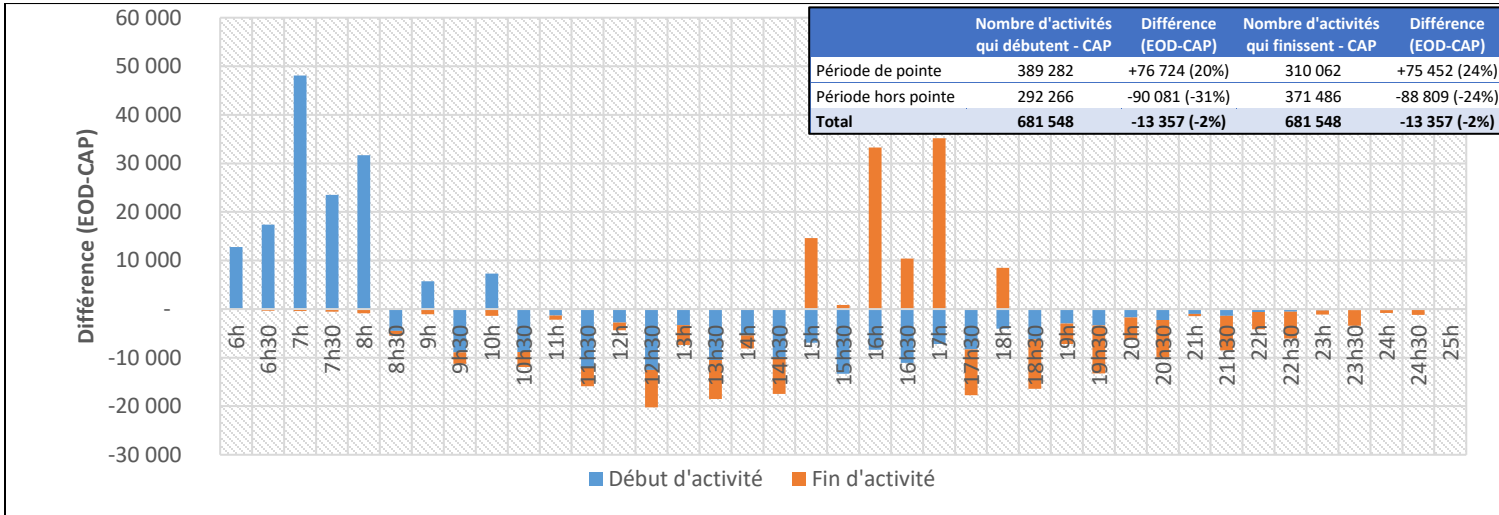


Figure 5.8 : Début et fin d'activités selon la période de la journée

5.2 Caractéristiques d'un déplacement

Dans cette section, nous allons traiter les différentes sous-sections faites dans le chapitre 4 à propos des caractéristiques d'un déplacement en TC. La principale différence de traitement avec l'EOD vient de l'absence de représentation géographique selon le secteur du domicile de l'utilisateur.

5.2.1 La séquence des entités

5.2.1.1 Les entités utilisées

Comme réalisé avec les données d'EOD (section 4.1.2.2), nous avons d'abord mesuré le nombre de transactions effectuées par entité et le ratio entre les transactions par entité et l'ensemble des transactions dans les données de CAP (2 096 776 transactions). Le métro est sous-évalué de 5% tout comme la STM Bus (-6%). Les AOT de la couronne Nord et Sud sont celles où le nombre de transactions est le plus surévalué. Cette surestimation vient, sans doute, d'une population francophone plus représentée dans ces réseaux de TC.

Tableau 5.2 : Variation du nombre de transactions entre EOD et CAP

Entité	Transactions CAP	Différence (EOD - CAP)
Métro	898 300 (43%)	-44 370 (-5%)
STM Bus	932 326 (44%)	-54 739 (-6%)
RTL	118 988 (6%)	+25 316 (21%)
STL	80 458 (4%)	+9 703 (12%)
MRC Sud	32 894 (2%)	+30 035 (+91%)
MRC Nord	33 810 (2%)	+18 179 (+54%)
Total	2 096 776	-15 876 (-1%)

Le graphique suivant présente les entités utilisées lors d'un déplacement à l'aide des données de CAP et les variations avec les résultats obtenus lors du traitement de l'EOD. Le nombre de déplacements réalisés à l'aide d'une entité est légèrement sous-estimé dans l'EOD (67 000 déplacements d'écart sur plus de 950 000 déplacements). Ensuite, pour les déplacements de plus d'une entité, l'EOD a tendance à surestimer le nombre de déplacements (+6% pour les déplacements avec deux entités et +106% pour les déplacements avec 3 entités ou plus). Nous allons explorer ceci plus en détail pour donner quelques explications à ces différences.

Concernant les déplacements d'une entité, les ordres de grandeur sont globalement respectés pour la STM Bus, la STL et le RTL. La plus grande différence en valeur absolue vient du nombre de déplacements réalisés en métro, avec une différence de près de 70 000 déplacements en faveur des CAP. On peut supposer que les déplacements réalisés par des titres unitaires sont moins rapportés dans l'EOD, car ce sont des déplacements moins fréquents. Or, il y a un pourcentage plus accru des titres unitaires pour les déplacements en métro (22,2% contre 17,5%). Cette hypothèse expliquerait une partie de la sous-estimation de l'EOD. Il y a également une surestimation des déplacements unientité faits dans la couronne Nord et Sud (respectivement +23% et +38%). À propos des déplacements bientités, l'EOD semble sous-estimer les déplacements Métro-STM Bus alors que toutes les autres combinaisons avec le métro sont surestimées. Au total, les déplacements bientités avec métro sont surestimés de 6%. Les déplacements de 3 entités ou plus ne représentent plus que 1,2% des déplacements contre 2,3% avec les données d'EOD de 2013. On peut en déduire que soit l'EOD surreprésente des usagers qui utilisent des combinaisons complexes à cause des facteurs de pondération soit les personnes interviewées connaissent mal leurs trajets ou ceux de leurs ménages.

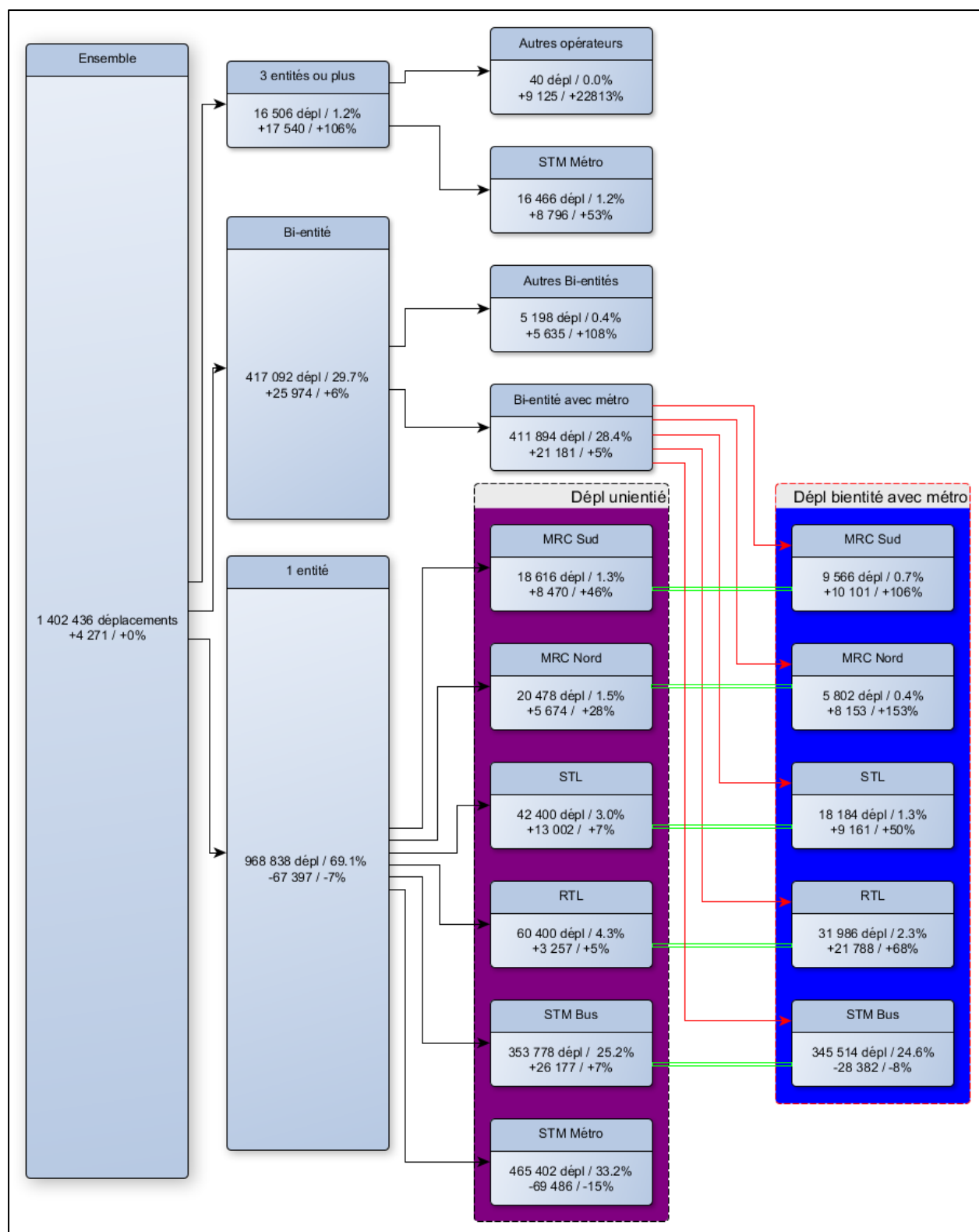
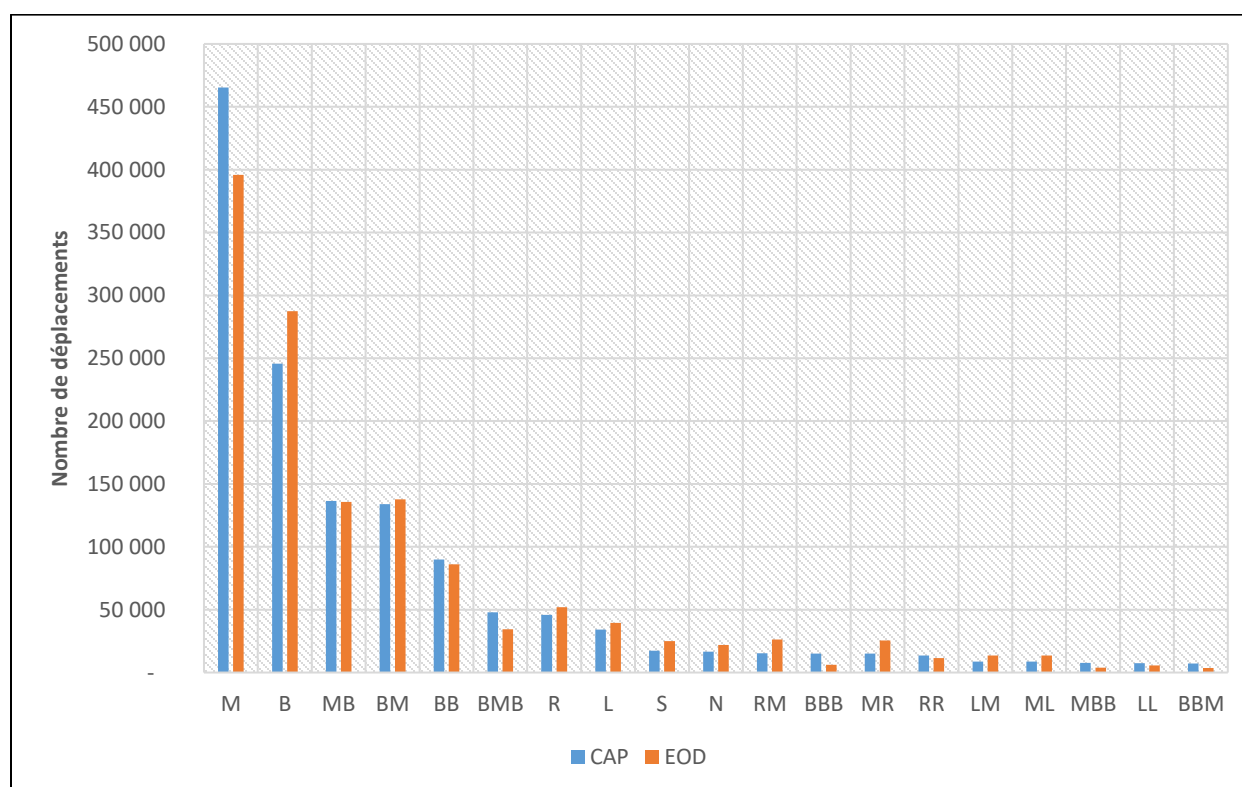


Figure 5.9 : Comparaison des séquences des entités entre l'EOD 2013 et les CAP

5.2.1.2 Les séquences les plus empruntées

Ayant beaucoup plus d'enregistrements de CAP que pour l'EOD, on retrouve un éventail de séquences plus large. Avec les CAP, nous avons 270 séquences différentes contre 153 pour l'EOD. Sur les 20 premières séquences découvertes dans les CAP, qui représentent 96% des déplacements, 17 séquences figurent parmi l'EOD. Les 20 mêmes séquences représentent 92% des déplacements dans l'EOD de 2013. Donc, d'un point de vue global, les CAP et l'EOD détectent les mêmes structures de déplacement. Les déplacements uniquement effectués en métro représentent 33% des déplacements avec les données de CAP. Cela représente 69 000 déplacements de plus que les résultats avec l'EOD. Les séquences STM Bus-STM Bus-STM Bus, STM Bus-STM Bus-Métro et Métro-STM Bus-STM Bus sont les séquences qui sont relativement les plus sous-estimées par l'EOD. Celles-ci, comme STM Bus-Métro-STM Bus, doivent être mal renseignées par les répondants qui ont sans doute simplifié leur trajet. Ainsi, les déplacements les plus complexes sont ceux les plus sous-estimés de la part de l'EOD.



M : Métro

B : STM Bus

R : RTL

L : STL

A : Train

N : MRC Nord

S : MRC Sud

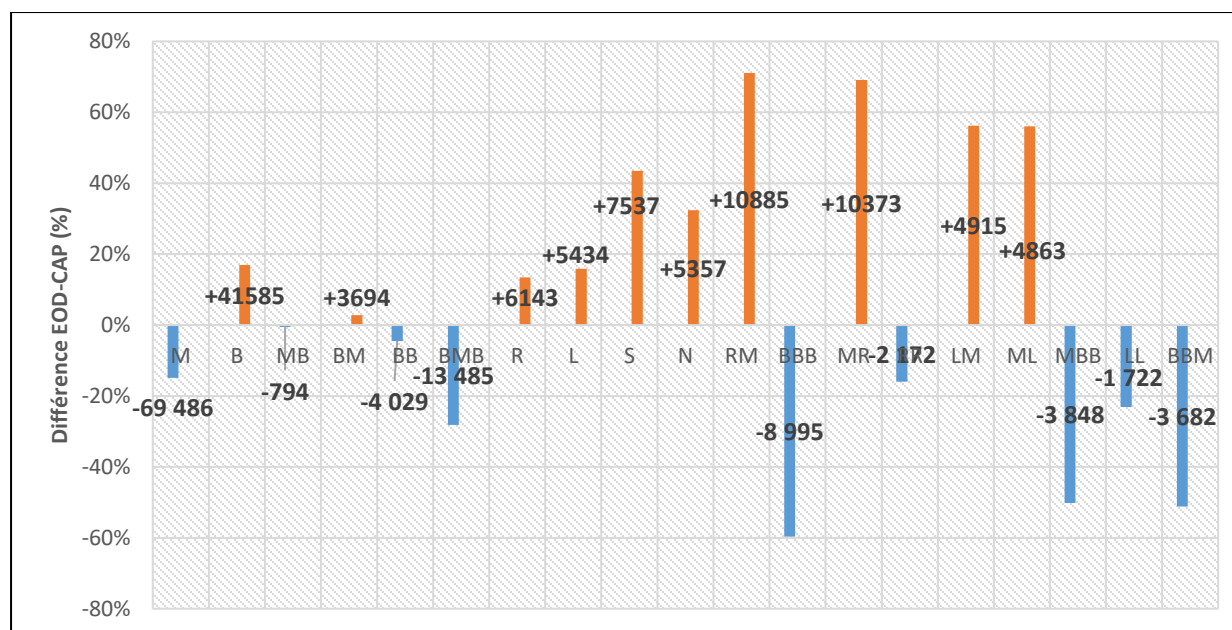


Figure 5.10 : Variation des séquences entre EOD et CAP

La variation entre les deux ensembles de données varie beaucoup selon que les déplacements se soient déroulés en période de pointe ou en période hors pointe. En bleu, nous avons les variations en valeur absolue lors de la période hors pointe alors qu'en vert, ce sont les variations lors des périodes de pointe. Les pourcentages présentés indiquent les différences relatives entre EOD et CAP pour chaque période. Ainsi, comme observées dans la section 5.1.3, les surestimations sont faites en période de pointe alors qu'en période hors pointe, l'EOD a plutôt tendance à sous-estimer le nombre de déplacements. Pour les déplacements uniquement réalisés en métro, la sous-estimation se fait principalement lors de la période hors pointe (-35% par rapport au nombre de déplacements lors de la période hors pointe de l'EOD). Des séquences qui paraissent similaires avant la distinction période de pointe/période hors pointe se retrouvent maintenant différentes. Ainsi, les séquences Métro-STM Bus, STM Bus-Métro et STM Bus-STM Bus sont surestimées en période pointe et sous-estimées en période hors pointe. Cela peut venir d'une mauvaise retranscription du parcours fait lors de l'entretien de l'EOD. La deuxième raison, qui est plus en lien avec les périodes, est l'arrondi fait par les personnes interviewées lors de l'EOD. Ainsi, une personne pourrait se trouver juste en dehors des périodes de pointe dans les CAP alors qu'elle serait comptabilisée dans la période de pointe dans les EOD (par exemple 15h20 dans les EOD contre 15h30 dans l'EOD). Ce graphique confirme donc le problème de retranscription disproportionné des déplacements en période de pointe découvert dans la section 5.1.3.

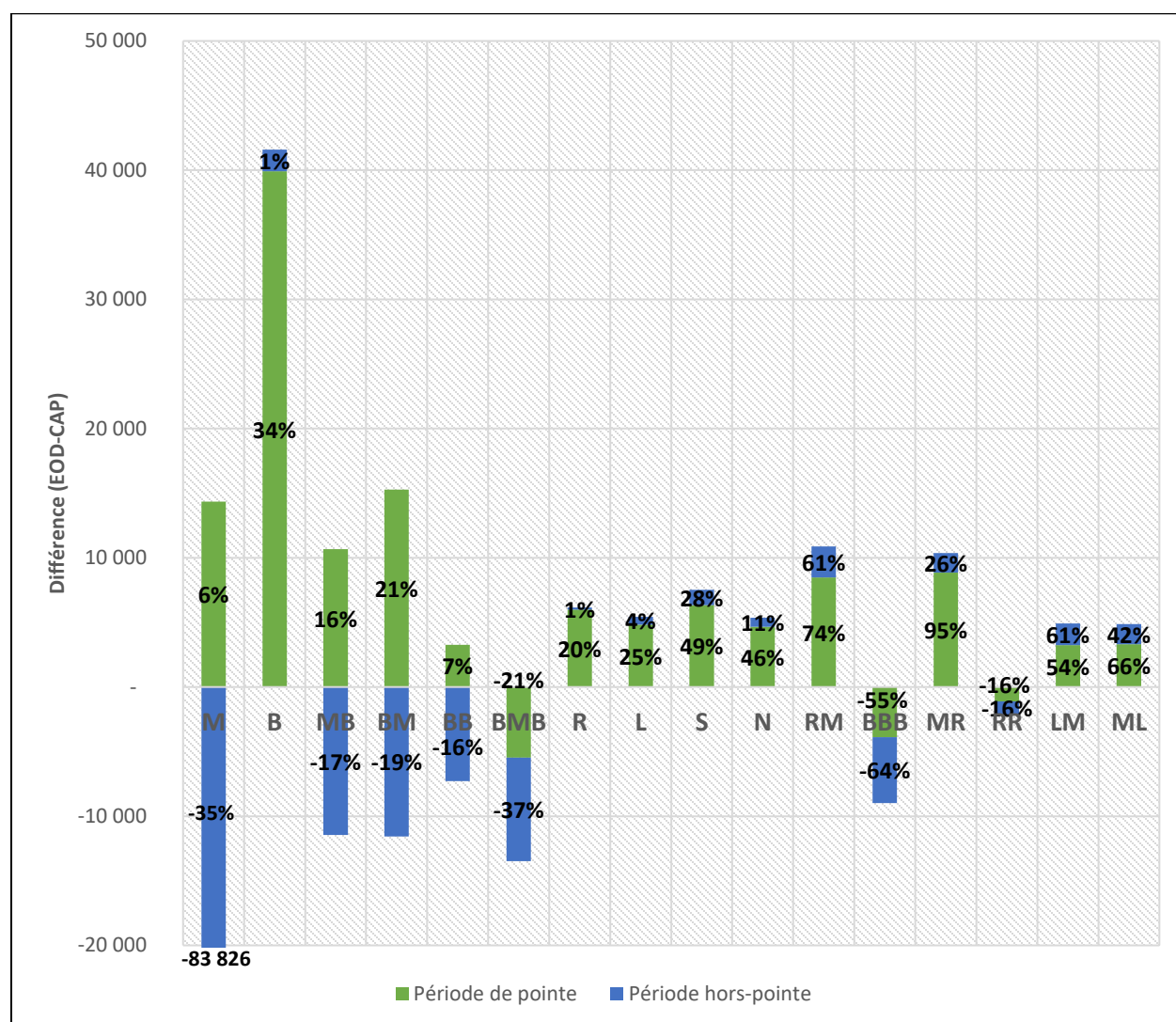


Figure 5.11 : Variation du nombre de déplacements selon la séquence et la période

5.2.2 Les correspondances

Le concept reliant les transactions et les déplacements est la correspondance. Avec les données de CAP, on trouve que le nombre moyen de correspondances par déplacement est identique à celui trouvé dans l'EOD (0,50 contre 0,48). Dans le détail, on observe qu'il y a plus de déplacements déclarés sans correspondances ou avec une correspondance dans l'EOD que dans les CAP. Cependant, on observe une diminution des déplacements ayant plus d'une correspondance. Cette variation peut venir soit, comme expliquée auparavant, d'une mauvaise retranscription dans l'EOD du trajet effectué soit de la méthode de reconstruction des déplacements avec les données de CAP.

Dans les données de CAP, des personnes auraient utilisé 6 lignes différentes lors d'un même déplacement (362 déplacements avec 6 lignes). Si une personne a réalisé deux déplacements consécutifs dans une période de moins de 2 heures (par exemple, partir du travail pour aller magasiner puis rentrer à son domicile), alors, selon les CAP, la personne aura réalisé 1 déplacement si la personne change de ligne alors que selon l'EOD, la personne aura réalisé 2 déplacements, ce qui est l'observation retenue. C'est ainsi qu'il y a peut-être une surestimation faite par les CAP du nombre de déplacements avec plus d'une correspondance et une sous-estimation des autres déplacements.

Tableau 5.3 : Nombre de correspondances par déplacement

Nombre de correspondances	CAP	EOD	Différence (EOD-CAP)	Différence relative (%)
0	832 758	821 568	-11 190	-1%
1	453 784	501 399	47 615	10%
>1	115 894	83 740	-32 154	-28%

5.3 Le réseau structurant

N'ayant aucune information sur le mode utilisé ni sur le secteur du domicile, nous nous intéresserons principalement dans cette partie, à l'accès aux stations de métro. Comme vu dans la section 4.1.3.3, certaines stations de métro sont liées à des gares de train. Ainsi, dans cette section, l'étude conserve les données de l'EOD à propos des entrées faites à partir d'un trajet réalisé en train, pour comprendre les différences entre l'EOD et les CAP.

5.3.1 L'accès aux stations de métro

Avec des données de CAP, il est également possible d'obtenir le moyen de transport utilisé pour entrer dans le métro. Par rapport aux données de l'EOD, il est impossible de savoir si une personne est arrivée en voiture pour ensuite prendre le métro. Cependant, comme vus dans le chapitre précédent, les usagers de PR et KR sont minoritaires (11% des déplacements dans l'EOD de 2013). Ainsi, les éventuelles entrées réalisées par des usagers aux déplacements bimodaux sont entrées dans la catégorie Marche. Le nombre d'entrées dans le métro est globalement équivalent (898 300 entrées pour les CAP contre 859 100 pour l'EOD soit une différence de 5%). La majorité des entrées sont réalisées à pied (72% des entrées). Une sous-estimation des entrées à pied ou en STM Bus est présente dans l'EOD. Pour toutes les autres entités, il y a une surévaluation du nombre

d'entrées au métro. La forte surestimation pour le train (580 entrées pour les CAP contre 15 407) vient probablement de l'explication renseignée dans la section 5.2.1.1. Ainsi, les entrées qui auraient dû être renseignées comme Train, sont renseignées comme Marche, car il est impossible de connaître, dans les données de CAP, le trajet précédant l'entrée dans le métro. Cela réduit donc près d'un quart la « sous-estimation » du nombre d'entrées à pied par l'EOD. Le graphique confirme donc que l'EOD a tendance à exagérer les entités les moins achalandées.

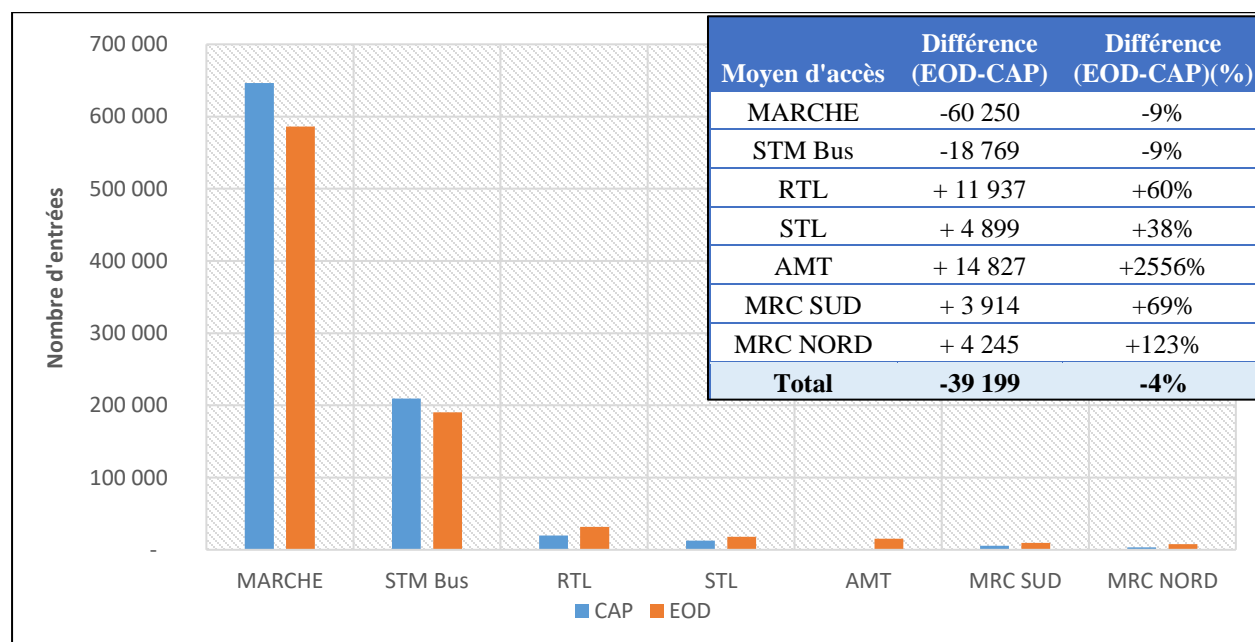


Figure 5.12 : Variation du nombre d'entrées selon le moyen d'accès

La carte suivante présente les différences du nombre d'entrées des stations entre les valeurs mesurées avec l'EOD et les CAP. Les stations en rouge subissent des sous-estimations faites par l'EOD alors que les stations en bleu ont une surestimation du nombre d'entrées faite lors de l'EOD. Une station particulière présente une grande différence entre les chiffres annoncés lors de l'EOD et les CAP. C'est la station Université de Montréal. Une surévaluation de plus de 11 000 entrées est réalisée lors de l'EOD, ce qui représente une augmentation de 48% du nombre de transactions. Cette station est principalement fréquentée par des étudiants. Or, comme nous l'avons expliqué dans la section 3.2.2, les étudiants de l'Université de Montréal étaient en semaine de relâche d'où la chute de la fréquentation de cette station. Deux autres biais sont, par ailleurs, possibles. Premièrement, les parents qui répondent pour leurs enfants et connaissent mal l'ensemble de leurs déplacements. Deuxièmement, beaucoup de logements situés à proximité sont occupés par des

ménages composés de jeunes adultes (principalement étudiants) qui n'ont pas de ligne fixe. Or la sélection des répondants de l'EOD se fait à partir de la liste téléphonique de l'ensemble des ménages du Grand Montréal donc ces ménages sont automatiquement rejetés d'une possible sélection dans l'EOD.

Les différences du nombre d'entrées entre l'EOD et les CAP viennent probablement d'une précision peu fine de l'EOD. Dès qu'il est nécessaire d'avoir une vision fine d'un phénomène, l'échantillonnage devient un enjeu crucial. On peut noter que les stations des quartiers francophones sont généralement surestimées alors que les stations des quartiers anglophones sont généralement sous-estimées (Spurr et al., 2014). Par ailleurs, les stations se situant dans des quartiers avec une proportion importante d'immigrés (Station Mont-Royal, Côte-Sainte-Catherine, Plamondon, etc.) sont sous-évaluées par l'EOD, probablement à cause d'une population qui est plus difficile à joindre et très mobile. Au centre-ville, les entrées aux stations de métro sont, en général, sous-estimées. La station de Bonaventure est la station la plus surestimée. L'explication vient, dans les paragraphes suivants, à travers la Figure 5.14.

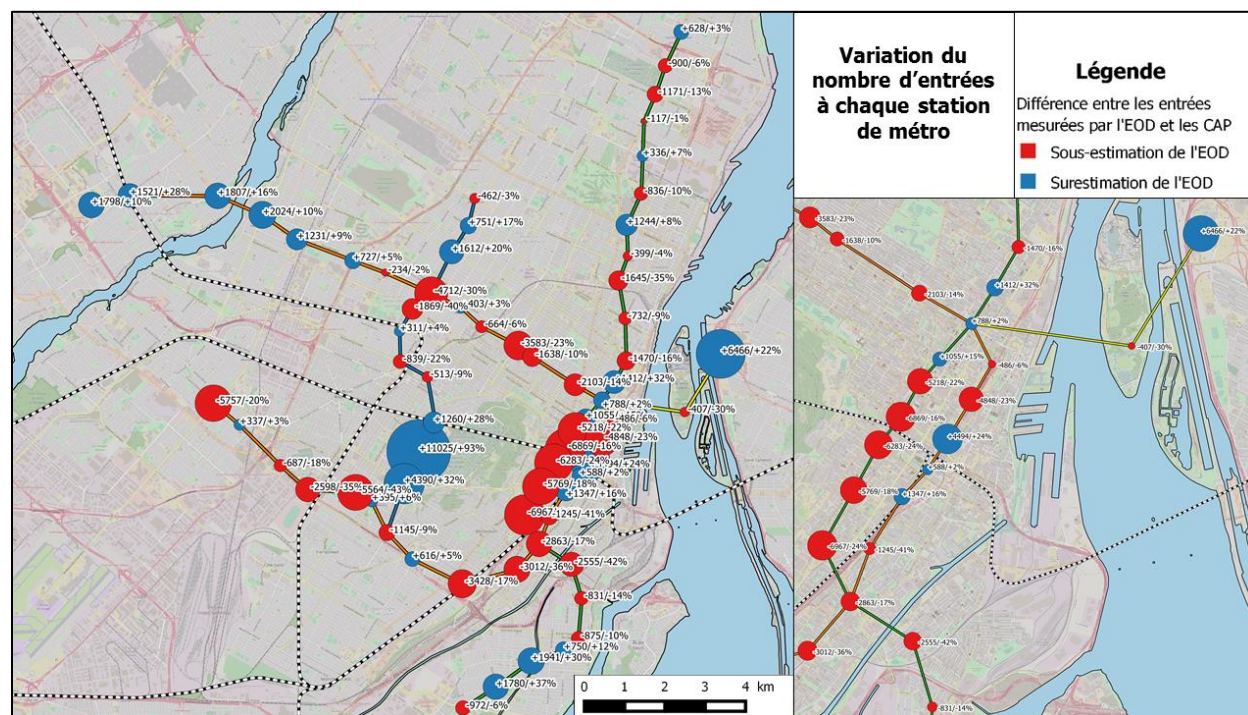


Figure 5.13 : Comparaison du nombre d'entrées entre EOD et CAP

Ensuite, le profil des moyens d'accès des stations de métro est représenté géographiquement. Le profil de certaines stations change radicalement par rapport aux données de l'EOD. D'un point de

vue global, vu qu'aucun déplacement précédant l'entrée dans le métro n'est réalisé en train, il devient impossible de reconnaître les stations intermodales avec le train. De plus, comme explicité par la Figure 5.12, le nombre d'entrées, fait avec les autres entités que la STM Bus ou la marche, est surestimé. Cette différence se ressent dans la « part modale » des stations en périphérie. Ainsi, la part d'entrées liée aux AOT de la couronne Nord à la station de Montmorency est moindre dans les CAP. C'est le même phénomène à la station Longueuil-Université-de-Sherbrooke. La Figure 5.15 résume les variations à chaque station du nombre d'entrées selon le moyen d'accès. Au centre-ville, la différence la plus flagrante est la station Bonaventure. Alors que la moitié des entrées avait pour déplacement précédent un mode autre que la marche, les données de CAP indiquent qu'il n'y a plus qu'un quart des déplacements qui sont faits par ces entités. Cette grande différence vient du problème avec le train, mais les entrées avec la MRC Sud ou le RTL sont aussi représentés en nombre inférieur dans les données de CAP. C'est sans doute un problème d'échantillonnage, même s'il y a quand même une différence de 2 000 entrées (représentent environ 80 déplacements sans la pondération faite par l'EOD) pour ces deux entités.

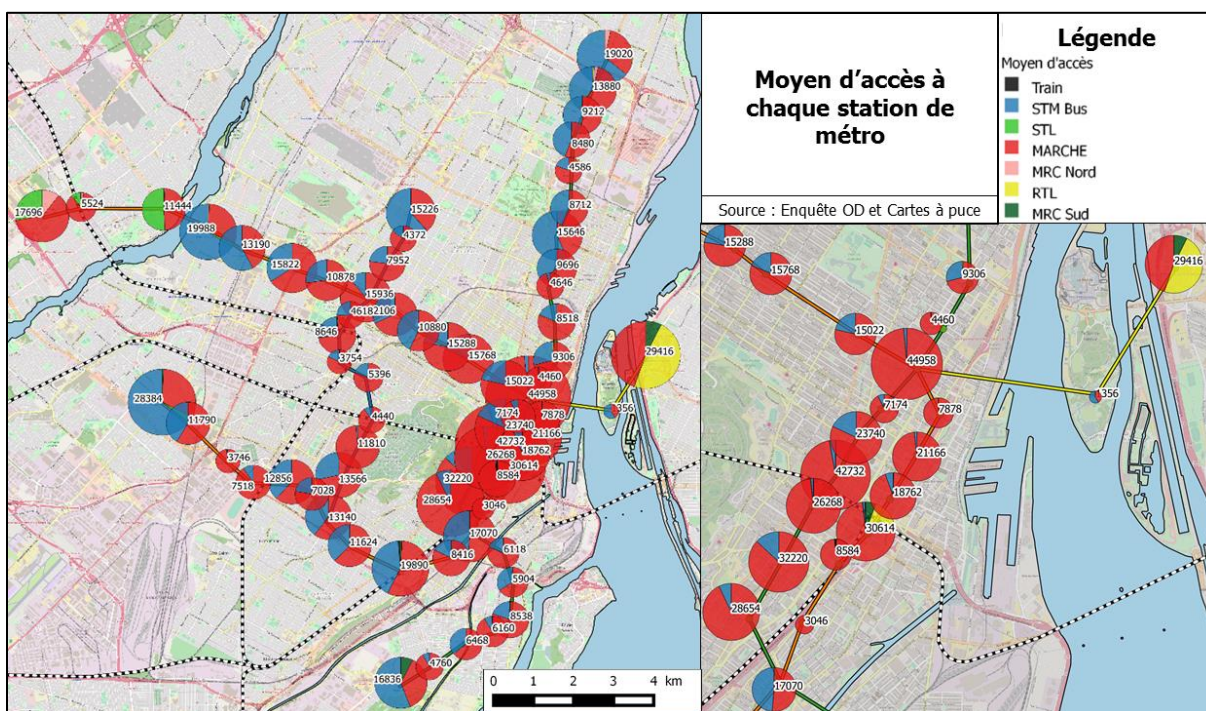


Figure 5.14 : Achalandage des stations de métro et leurs accès

La Figure 5.15 présente les variations du nombre d'entrées aux stations de métro entre EOD et CAP selon le moyen d'accès utilisé. Les stations sont ordonnées selon la ligne à laquelle elle

appartient. Dans la majorité des stations (45 sur 68), le nombre d'entrées faites à pied est sous-estimé par l'EOD. Concernant la station Université-de-Montréal, il est logique de voir une forte surévaluation faite par l'EOD (plus de 11 000 entrées à pied en plus dans l'EOD), car le jour de données des CAP se situe durant la semaine de relâche de l'Université de Montréal. La même explication peut être élaborée pour la station Côte-des-Neiges, car certains édifices du campus de l'Université de Montréal ont un accès plus rapide à cette station qu'à la station Université-de-Montréal. La station Longueuil-Université-de-Sherbrooke subit à la fois une surestimation du nombre d'entrées liées aux bus (RTL et AOT de la couronne Sud) et une sous-estimation du nombre d'entrées à pied. On peut donc émettre comme hypothèse que les personnes ont déclaré dans l'EOD être venues en bus alors qu'ils s'y sont rendus en voiture (auto conducteur ou auto passager). La deuxième hypothèse est l'emploi de deux titres différents. Par exemple, certaines personnes ont utilisé un titre sur le réseau RTL puis un titre unitaire pour utiliser le métro. Dans l'EOD, la personne a répondu avoir utilisé un seul titre alors qu'elle en a sans doute utilisé deux. Ce constat s'applique aux stations lavalloises. Pour les autres stations, il est difficile de déduire d'éventuels biais à part un problème d'échantillonnage qui implique une précision moins fine des résultats.

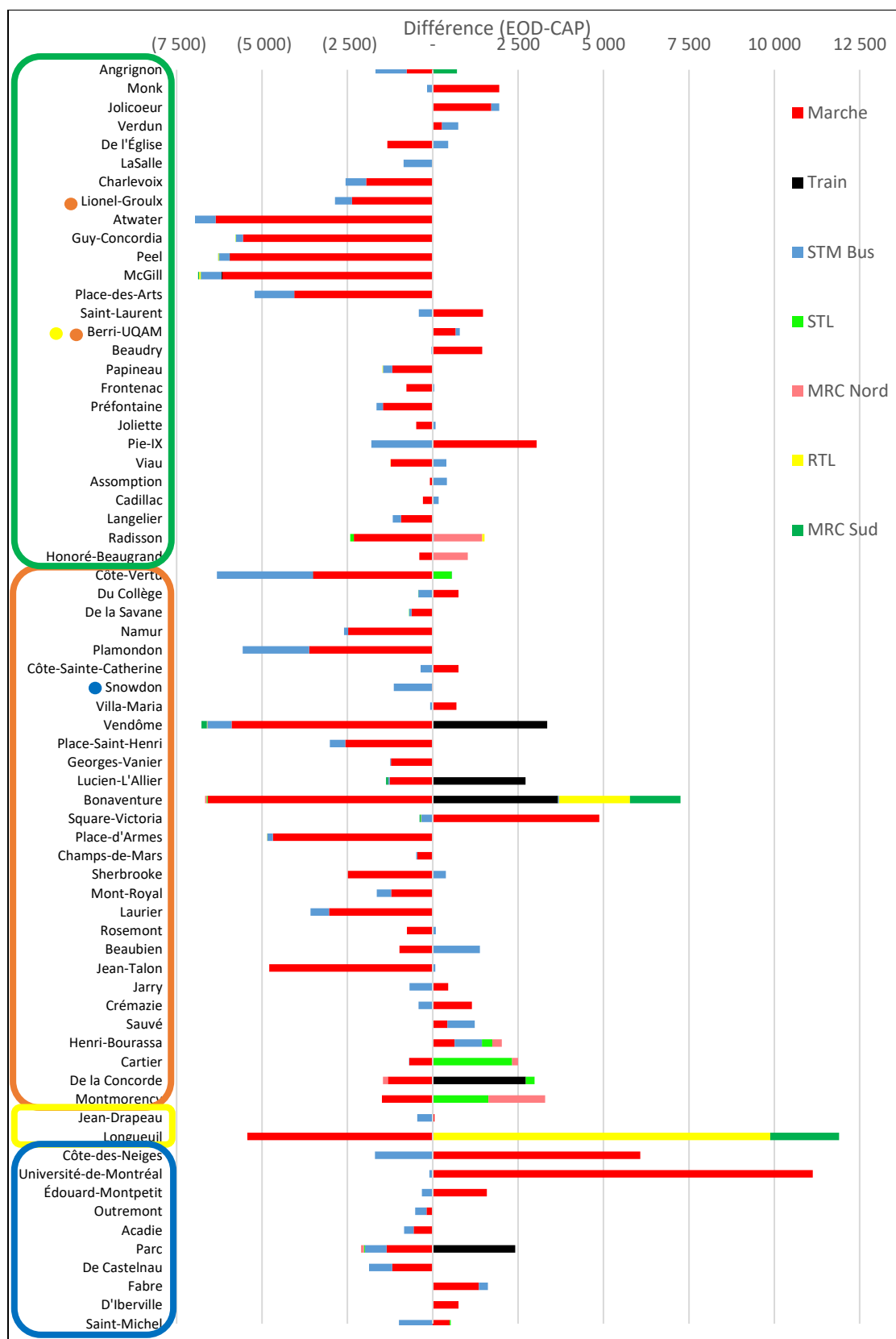


Figure 5.15 : Variation du nombre d'entrées par station selon le moyen d'accès à la station

CHAPITRE 6 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Ce dernier chapitre résume les principaux travaux de ce projet. Il fait la synthèse des résultats obtenus en mettant en évidence l'apport engendré par les CAP, mais également les limites de ces données. Par ailleurs, nous verrons les perspectives quant à l'exploitation de ce mémoire.

6.1 Résultats et contributions

6.1.1 Portrait de mobilité grâce aux données d'EOD

Ce projet a tout d'abord été l'occasion de réaliser un portrait précis de la mobilité des usagers en TC. Ce mémoire n'est pas le premier à étudier les déplacements. Cependant, aucune étude ne s'était pleinement intéressée aux différentes AOT utilisées dans la structure des déplacements. Il est vrai que le contexte du transport en commun montréalais est particulier avec de très nombreuses AOT sur le territoire et qu'il est ardu d'extrapoler certains résultats obtenus quant à la structure des déplacements. Cependant, il est néanmoins possible de diviser le système de TC montréalais en 4 catégories qui est reproductible dans les villes ayant un aménagement urbain similaire (villes concentriques) :

- Le réseau structurant ;
- Le réseau de bus du centre-ville (zone fortement densifiée) ;
- Le réseau de bus de la première couronne (zone à densité moyenne) ;
- Le réseau de bus de la seconde couronne (zone rurale).

Ainsi, les conclusions apportées sur les différents réseaux à Montréal sont à généraliser. Un des premiers enseignements à tirer de l'étude faite à partir des données de l'EOD est l'impact du réseau structurant, et en particulier du métro. Cette influence dans la structure des déplacements des usagers du TC a été ensuite confirmée par les CAP. Les déplacements contenant au moins un tronçon en métro représentent 58% (853 619 déplacements) des déplacements quotidiens en TC (1 475 225 déplacements). Ainsi, de très nombreux déplacements s'articulent autour du réseau structurant et certaines stations de métro (principalement en périphérie et les stations liées aux gares de train) sont la porte d'entrée sur ce réseau. L'étude a démontré que le réseau de bus du centre-ville est également largement utilisé. 49% ont utilisé la STM Bus et 25% des déplacements sont

uniquement effectués en STM Bus. La part modale du TC diminue avec l'éloignement du centre-ville. Ainsi, le RTL et la STL, les AOT de la première couronne, représentent respectivement 9 et 6% des déplacements totaux en TC. Les AOT de la couronne Nord et de la couronne Sud représentent quant à eux, 3 et 4%. Les habitants de ces couronnes ont une propension plus importante à utiliser le PR et KR pour se rendre directement sur le réseau structurant. Ainsi, la dimension spatiale a un très grand rôle dans la structure des déplacements en TC.

Par ailleurs, l'étude a tenté d'expliquer les structures de déplacements sur une journée au total. Voulant se rapprocher de la structure des données de CAP, il est ainsi assez compliqué d'établir des conclusions définitives sur la structure des déplacements des usagers du TC sur une journée. Cependant, on peut conclure que la structure majoritaire des usagers de TC est composée d'une chaîne d'une seule activité, donc deux déplacements (72% des personnes). Dans ces structures à deux déplacements, il est fort probable que l'activité soit Travail (50% des personnes) ou Étude (35% des personnes). Ainsi, les usagers du TC sont des personnes fortement contraintes par leur activité principale. L'analyse des durées d'activités a permis de confirmer cette structure avec un pic d'activité commençant entre 6h30 et 8h30 et terminant entre 15h30 et 17h30.

6.1.2 Confrontation avec les données de CAP

Par ailleurs, ce projet a permis de confirmer les différents biais de l'EOD dans le contexte montréalais. Nous exposerons dans la section suivante les limites qui pourraient réfuter les conclusions faites.

Premièrement, l'étude a démontré des différences majeures concernant les systèmes d'activités. L'EOD surestime amplement la journée « classique » d'un travailleur (journée commençant à 8h et finissant à 17h). Cette surévaluation est visible à la fois par le nombre de déplacements en TC dans une journée (surestimation des structures à 2 déplacements TC et sous-estimation de toutes les autres structures) et par l'aspect symétrique des déplacements beaucoup plus flagrant dans l'EOD. Ainsi, on peut en conclure que l'EOD établit un effet miroir à propos des déplacements en TC.

Au global, l'EOD a tendance à surestimer le nombre de déplacements en période de pointe (+17%) alors qu'elle sous-évalue le nombre de déplacements en période hors pointe (-18%). Sur toute une journée, la différence entre ces deux types de données est insignifiante. Cette variation varie

énormément selon les entités utilisées. Ainsi, moins l'entité est achalandée, plus la surestimation faite par l'EOD est importante.

La géolocalisation des entrées de métro a permis d'analyser les différences de façon spatiale. Le métro occupe une large part des déplacements en TC et la différence entre EOD et CAP est faible. Cependant, selon les stations, les CAP peuvent faire apparaître de grandes disparités. Il faut noter que le jour étudié dans les CAP est situé durant la semaine de relâche de l'Université de Montréal. Ainsi, il est logique de voir que les données de CAP ont enregistré moins de validations par rapport à l'EOD.

Le biais essentiel de la part de l'EOD à retenir concerne le manque de précision lorsqu'on analyse des détails précis de la mobilité des usagers du TC. Ainsi, au global, l'EOD semble être une source fiable sur laquelle on peut s'appuyer. Cependant, la décomposition de la structure des déplacements a prouvé la discordance entre la mobilité mesurée à travers l'EOD et la mobilité observée avec les CAP.

6.2 Perspectives

6.2.1 Limites

L'étude se concentre sur la comparaison entre l'EOD et les données de CAP. L'utilisation de ce deuxième ensemble de données a de nombreux avantages et est porteuse d'une meilleure connaissance de la mobilité des usagers du TC. Une connaissance plus fiable pour cette classe de personnes est alors possible avec ces données. Un des premiers enseignements à tirer de ce mémoire est que l'utilisation d'une journée unique peut entraîner des inexactitudes. Ainsi, il faudrait trouver une méthode pour créer un jour moyen sans pour autant affecter la précision de ces données désagrégées.

De plus, l'absence de renseignements sociodémographiques des détenteurs des titres et la non-connaissance du motif dans les données de CAP limitent l'étude pour comprendre les structures de déplacements. Ainsi, il faudrait pouvoir enrichir les données de CAP pour tirer pleinement possession de ces données. L'analyse sociodémographique aurait cependant pu être réalisée avec les données de l'EOD et aurait permis de mieux caractériser la structure des déplacements et les systèmes d'activités.

Par ailleurs, les usagers aux déplacements bimodaux sont impossibles à détecter dans les données de CAP. Ils représentent tout de même 11% des usagers du TC d'après l'EOD de 2013. Ces usagers mériteraient d'être mieux analysés, car ils forment une possible clientèle dans un contexte où l'étalement urbain continue de s'accroître. Les habitants des secteurs de couronne Nord ou Sud utilisent en majorité la voiture comme moyen de locomotion pour ensuite utiliser le TC, et en quasi-exclusivité le réseau structurant (seuls 15% des usagers de PR et KR n'utilisent pas le train ou le métro). Certains secteurs montrent jusqu'à 50% d'usagers de PR et KR. Ainsi, il serait intéressant d'analyser les stations de métro et les gares de train qui servent de portes d'entrée aux usagers de PR et KR grâce aux données de l'EOD et ensuite d'enrichir les données de CAP de cette caractérisation.

En outre, l'étude comparative, entre l'EOD et les CAP, ne comprend pas les usagers du train. La meilleure solution pour lutter contre cette absence de données dans les CAP serait de contraindre les usagers à valider leurs titres. De plus, l'embarquement par les portes arrière des bus de la STM sur certaines lignes sans validation des titres mensuels ou hebdomadaires (<http://www.stm.info/fr/presse/communiqués/2016/la-stm-annonce-la-prolongation-du-projet-pilote-d-embarquement-toutes-portes-sur-la-ligne-121---sauve>) va réduire la qualité des données des CAP et poser de nouveaux problèmes quant au traitement des données.

L'étude gagnerait sans doute également en justesse si les données de CAP étaient enrichies de la localisation des origines et des destinations des déplacements. Le procédé de localisation des extrémités des déplacements a déjà été réalisé par de nombreux auteurs (Bouman et al., 2012 ; Kusakabe & Asakura, 2014). Cet enrichissement des données de CAP aurait permis une meilleure caractérisation spatiale des déplacements, et non pas seulement une caractérisation basée sur les stations de métro (même si, comme vu précédemment, le métro occupe 64% des déplacements en TC selon les données de CAP).

6.2.2 Fusionner les deux ensembles

L'avenir est sans doute dans la fusion de ces deux ensembles de données. Tout d'abord, avec l'EOD, les générateurs de déplacements (écoles, hôpitaux, centres commerciaux, etc.) peuvent être découverts et avoir un profil des activités des personnes. Les CAP permettraient d'avoir une vision beaucoup plus précise et fine de la demande. D'un point de vue plus global, les CAP pourraient enrichir et compléter les modèles de micro-simulation qui sont actuellement basés sur l'EOD.

6.2.3 Incidences sur le système tarifaire

Nous sommes partis de la problématique de la redistribution tarifaire des titres intégrés. Avec cette étude, nous avons analysé en détail les structures de déplacements. Au vu des différents problèmes apportés par l'EOD, il serait sans doute préférable de baser la redistribution sur les données de CAP. Cependant, les données devront être enrichies pour avoir un portrait fiable et précis et déjouer les quelques problèmes apportés par les CAP (notamment les problèmes liés au train). Ainsi, il est toujours avantageux d'avoir un autre ensemble de données et l'EOD apporte de réels bénéfices à l'étude de la mobilité des usagers du TC. Vu les systèmes d'activités découverts dans l'étude, la création de titres « 2 passages » intégrés à l'échelle du Grand Montréal serait sans doute un premier pas pour permettre le changement de mentalité et le développement du TC dans les couronnes. Par ailleurs, cette étude atteste d'une relation de cause à effet entre l'organisation du système de TC et la structure du déplacement. Par exemple, dès que 2 entités (donc 2 AOT) sont utilisées lors d'un déplacement, alors la quasi-totalité des déplacements est réalisée en partie en métro, et par extension à travers le réseau structurant. Ainsi, la redistribution tarifaire, pour servir au plus grand nombre (aux habitants de l'île de Montréal et aux habitants des couronnes), devrait sans doute être utilisée à développer le réseau structurant.

BIBLIOGRAPHIE

- Agard, B., Morency, C., & Trépanier, M. (2006). Mining public transport user behaviour from smart card data. *IFAC Proceedings Volumes*, 2006(3), 399-404,
- Agard, B., Nia, V. P., & Trépanier, M. (2013). *Assessing public transport travel behaviour from smart card data with advanced data mining techniques*. Communication présentée à 13th World Conference on Transportation Research, Rio de Janeiro.
- Agence Métropolitaine de Transport. (2013). *Rapport annuel*. Tiré de <https://www.amt.qc.ca/Media/Default/pdf/section8/amt-rapport-annuel-2013>
- Agence Métropolitaine de Transport. (2015). *L'enquête Origine-Destination 2013 - La mobilité des personnes dans la région de Montréal - Faits saillants*. Tiré de <https://www.amt.qc.ca/fr/a-propos/portrait-mobilite/enquete-od-2013>
- Agence Métropolitaine de Transport. (2016). Statut, mandats et territoire. Tiré de <https://www.amt.qc.ca/fr/a-propos/statut-mandat>
- Ashley, D., Richardson, T., & Young, D. (2009). *Recent information on the under-reporting of trips in household travel surveys*. Communication présentée à Australasian Transport Research Forum (ATRF), Auckland.
- Loi modifiant principalement l'organisation et la gouvernance du transport collectif dans la région métropolitaine de Montréal, (2016).
- Axhausen, K. (1996). Can we ever obtain the data we would like to have ? *ResearchGate*.
- Bailly, A. (1973). Les théories de l'organisation de l'espace urbain. *Espace géographique*, 2(2), 81-93,
- Bouman, P., Lovric, M., Li, T., E. van der, H., Kroon, L., & Vervest, P. (2012). Recognizing Demand Patterns from Smart Card Data for Agent-Based Micro-simulation of Public Transport.
- Chapleau, R., Allard, B., Lavigueur, P., & Grondines, J. (1995). *Les nouvelles données de la mobilité des personnes sur la Communauté Urbaine de Montréal*. Communication présentée à 30e congrès de l'Association Québécoise du Transport et des Routes, Montréal.

- Chapleau, R., Allard, B., & Trépanier, M. (1996). Transit path calculation supported by a special gis-transit information system. *Transportation Research Record*, 1521, 98,
- Chu, K. K. (2010). *Leveraging data from a smart card automatic fare collection system for public transit planning*. (Thèse), École polytechnique de Montréal, Montréal. Tiré de <https://publications.polymtl.ca/441/>
- Chu, K. K., & Chapleau, R. (2007). *Imputation techniques for missing fields and implausible values in public transit smart card data*. Communication présentée à 11th World Conference on Transportation Research, Berkeley.
- Collectivités viables. (2017). Réseau structurant de transport en commun. Tiré de <http://collectivitesviables.org/articles/reseau-structurant-de-transport-en-commun/>
- Communauté métropolitaine de Montréal. (2011). *Définition du réseau de transport en commun métropolitain structurant*. Tiré de http://cmm.qc.ca/fileadmin/user_upload/pmad2011/documentation/20110201_reseauTransportStructurant.pdf
- Data Management Group. (2008). *Transportation Tomorrow Survey Version 1,0 Data Validation*. Tiré de <http://dmg.utoronto.ca/transportation-tomorrow-survey/tts-reports>
- Devilleine, F., Munizaga, M., & Trépanier, M. (2012). Detection of Activities of Public Transport Users by Analyzing Smart Card Data. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*.
- Direction des Affaires corporatives et du développement durable. (2014). *Optimiser le financement du transport collectif*. Tiré de https://www.stm.info/sites/default/files/pdf/fr/stm_memoire-fiscalite_2014_10_10.pdf
- Hensher, D. A., & Reyes, A. J. (2000). Trip chaining as a barrier to the propensity to use public transport. *Transportation (Netherlands)*, 27(4).
- Institut d'aménagement et d'urbanisme - île-de-France. (2006). Système tarifaire des transports collectifs _ éléments de réflexion. Tiré de <http://www.iau-idf.fr/savoir-faire/nos-travaux/edition/systeme-tarifaire-des-transport-collectifs-elements-de-reflexion-2.html>

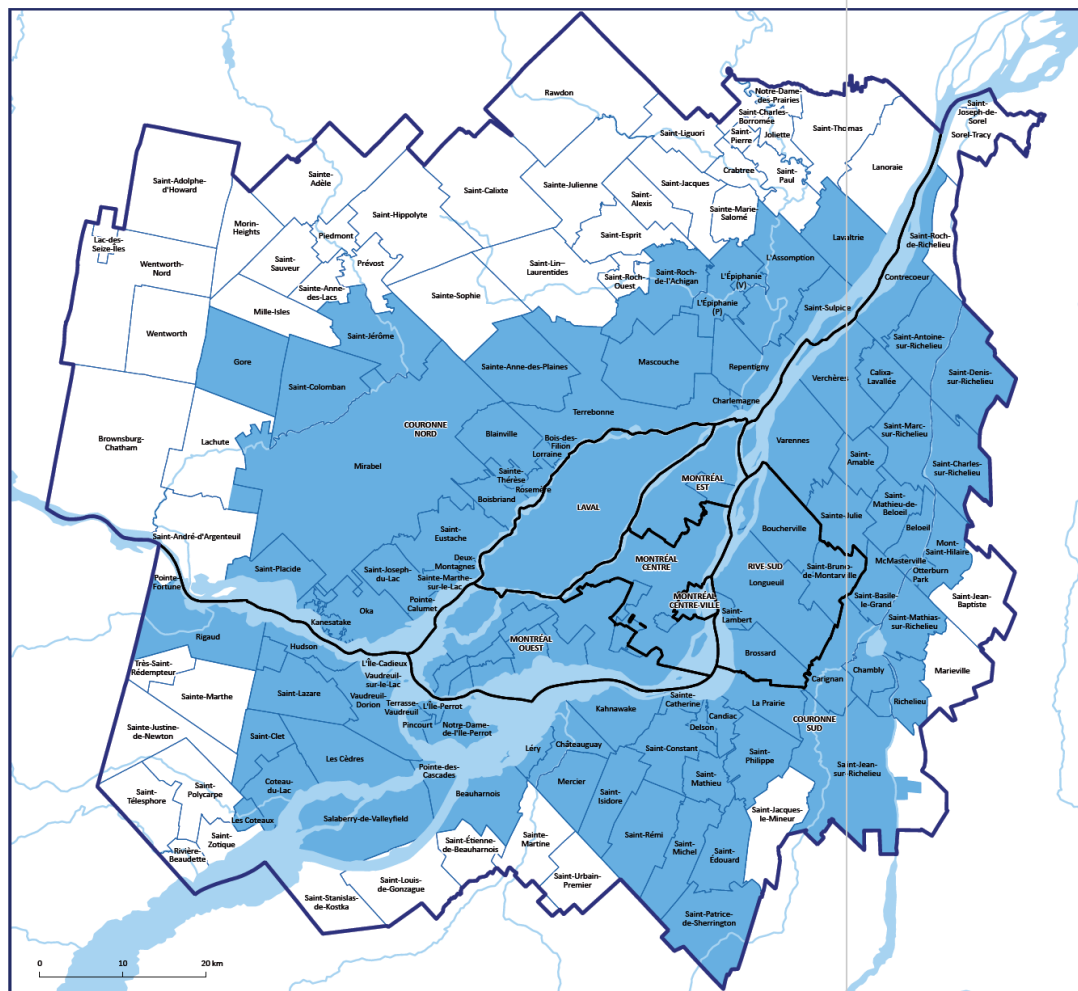
- Kumar, A., & Levinson, D. M. (1995). Chained Trips in Montgomery County, Maryland. *ITE Journal*, 65(5), 27-32,
- Kusakabe, T., & Asakura, Y. (2014). Behavioural data mining of transit smart card data: A data fusion approach. *Transportation Research Part C*, 46 179–191,
- Lathia, N., & Capra, L. (2011). *How Smart is Your Smartcard ? Measuring Travel Behaviours, Perceptions, and Incentives*. Communication présentée à UbiComp'11, Beijing.
- McGuckin, N., & Murakami, E. (1999). Examining trip-chaining behavior : a comparison of travel by men and women. *Transportation Research Record*.
- Meloche, J. P. (2012). *Le financement du transport en commun dans la région métropolitaine de Montréal*. Tiré de http://www.obsmobiledurable.umontreal.ca/recherche/pdf/Note01-2012_JPMeloche.pdf
- Morency, C., Trépanier, M., Tremblay, V., & Poliquin, E. (2011). *Insights on the determinants of walk trips using large scale travel survey data*. Communication présentée à T&DI Congress.
- Munizaga, M., Devillaine, F., Navarrete, C., & Silva, D. (2014). Validating travel behavior estimated from smartcard data. *Transportation Research Part C*, 44, 70-79,
- Organisation des Nations Unies. (2014). Plus de la moitié de la population mondiale vit désormais dans des villes – ONU. Tiré de <http://www.un.org/fr/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects.html>
- Pelletier, M., Trépanier, M., & Morency, C. (2010). Smart card data use in public transit : A literature review. *Transportation Research Part C*, 19, 557–568,
- Primerano, F., Taylor, M. A. P., Pitaksringkarn, L., & Tisato, P. (2007). Defining and understanding trip chaining behavior. *Transportation*, 35(1), 55-72,
- Richer, C., Meissonnier, J., & Rabaud, M. (2016). Quelle(s) intermodalité(s) dans les mobilités quotidiennes ? *Transports et intermodalité*, 261-288,

- S. Vande Walle, & Steenberghen, T. (2006). Space and time related determinants of public transport use in trip chains. *Transportation research part A*, 40(2), 151-162,
- Shiftan, Y. (1998). Practical Approach to Model Trip Chaining. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1645, doi:10.3141/1645-03
- Sicotte, G. (2014). *Modélisation de l'interdépendance entre modes de transport et chaînes de déplacements*. (Mémoire de maîtrise), École polytechnique de montréal, Montréal. Tiré de <https://publications.polymtl.ca/1657/>
- Spurr, T., Chapleau, R., & Piché, D. (2014). Use of Subway Smart Card Transactions for the Discovery and Partial Correction of Travel Survey Bias. *Transportation Research Record*, 2405, 57–67,
- Spurr, T., Chu, A., Chapleau, R., & Piché, D. (2015). *A smart card transaction “travel diary” to assess the accuracy of the Montréal household travel survey*. Communication présentée à 10th International Conference on Transport Survey Methods, Sydney.
- Steenberghen, T., Toint, P., & Zuallaert, J. (2005). *Déterminants des choix modaux dans les chaînes de déplacements*. Tiré de https://www.belspo.be/belspo/organisation/Publ/pub_ostc/CPtrans/rappCP42sum_fr.pdf
- Trépanier, M. (2011). L'exploitation des données de cartes à puce à des fins de planification des transports collectifs urbains. *Recherche Transport Sécurité*, 139-152,
- Trépanier, M., & Chapleau, R. (2001). Analyse orientée-objet et totalement désagrégée des données d'enquêtes ménages origine-destination. *Revue canadienne de génie civil*, 28(1), 48-58,
- Trépanier, M., Tranchant, N., & Chapleau, R. (2007). Individual Trip Destination Estimation in a Transit Smart Card Automated Fare Collection System. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 11(1), 1-14,
- Valiquette, F. (2010). *Typologie des chaînes de déplacements et modélisation descriptive des systèmes d'activités des personnes*. (Mémoire de maîtrise), École polytechnique de Montréal, Montréal. Tiré de <https://publications.polymtl.ca/405/>

- Yuan, N. J., Wang, Y., Zhang, F., X.Xie, & Sun, G. (2013). *Reconstructing Individual Mobility from Smart Card Transactions: A Space Alignment Approach*. Communication présentée à IEEE International Conference on Data Mining (ICDM), Dallas.
- Zhong, C., Huang, X., Arisona, S. M., Schmitt, G., & Batty, M. (2014). Inferring building functions from a probabilistic model using public transportation data. *Computers, Environment and Urban Systems*, 48, 124–137,

ANNEXES

ANNEXE A – CARTE DU TERRITOIRE DE L'ENQUÊTE ORIGINE-DESTINATION DE 2013 (AGENCE METROPOLITAINE DE TRANSPORT, 2015)



TERRITOIRE DE L'ENQUÊTE OD 2013 Liste des municipalités et secteurs par région

MONTREAL (centre-ville) Montréal – Secteurs : Centre-ville Centre-ville périphérique

MONTREAL (centre) Hampstead Mont-Royal Westmount

MONTREAL – Secteurs Ahuntsic Côte-des-Neiges Mercier Notre-Dame-de-Grâce Plateau Mont-Royal Rosemont Saint-Michel Sud-Est Sud-Ouest Verdun Villeray Outremont

MONTREAL (est) Montréal-Est

MONTREAL – Secteurs Anjou Pointe-aux-Trembles Rivière-des-Prairies Montréal-Nord Saint-Léonard

MONTREAL (ouest) Baie-D'Urfe Beaconsfield Dollard-Des-Ormeaux Donval Kirkland L'Île-Des-Ormeaux Montréal-Ouest Pointe-Claire Sainte-Anne-de-Bellevue Senneville

Montréal – Secteurs Côte-Saint-Luc Lachine Lafontaine L'Île-Bizard Pierrefonds Roxboro Sainte-Geneviève Saint-Laurent Saint-Pierre

LONGUEUIL (agglomération) Boucherville Brossard

Saint-Lambert Saint-Bruno-Montarville Longueuil – Secteurs De Lyon Greenfield Park Longueuil-Est LeMoyne Saint-Hubert Vieux-Longueuil

LAVAL Laval

COUROUTE NORD Blainville Boisbriand Bois-des-Filons Brossard Châteauguay Deux-Montagnes Gore Joliette Kanesatake Lac-des-Seize-Isles Lachute Lanoraie L'Assomption Lavaltrie L'Épiphanie (ville) L'Épiphanie (paroisse) Lorraine Mascouche Mille-Isles Mirabel Morin-Heights Notre-Dame-de-Prairies Oka Piedmont Pointe-Claire Prévost Rawdon Repentigny Rosemère Saint-Adèle Saint-André-d'Argenteuil Saint-Alexis Saint-André-d'Argenteuil Sainte-Anne-des-Lacs Sainte-Anne-des-Plaines Saint-Calixte Saint-Charles-Borromée Saint-Colomban Saint-Esprit Saint-Eustache Saint-Hippolyte Saint-Jacques Saint-Jérôme Saint-Joseph-du-Lac Saint-Julienne

Montréal – Secteurs Ahuntsic Côte-des-Neiges Mercier Notre-Dame-de-Grâce Plateau Mont-Royal Rosemont Saint-Michel Sud-Est Sud-Ouest Verdun Villeray Outremont

MONTREAL (est) Montréal-Est

MONTREAL (ouest) Baie-D'Urfe Beaconsfield Dollard-Des-Ormeaux Donval Kirkland L'Île-Des-Ormeaux Montréal-Ouest Pointe-Claire Sainte-Anne-de-Bellevue Senneville

LONGUEUIL (agglomération) Boucherville Brossard

Saint-Liguori Sainte-Marie-Salomé Sainte-Marthe-sur-le-Lac Sainte-Sophie Saint-Thérèse Saint-Lin – Laurentides Saint-Placide Saint-Roch-de-l'Assomption Saint-Roch-Ouest Saint-Sauveur Saint-Sulpice Saint-Zotique Wentworth Wentworth-Nord

Terrebonne – Secteurs Lachenaie La Plaine Terrebonne

COUROUTE SUD Beauharnois Beloeil Calixa-Lavallée Cardiac Carignan Chambly Châteauguay Saint-Mathieu-de-Beloeil Saint-Michel Saint-Patrice-de-Sherrington Saint-Philippe Saint-Polycarpe Saint-Rémi Saint-Roch-de-Richelieu Saint-Stanislas-de-Kostka Saint-Télesphore Saint-Urbain-Premier Salaberry-de-Valleyfield Sorel-Tracy Tremblay-Lamer Trois-Rivières Verdun Vaudreuil-Dorion Vaudreuil-sur-le-Lac Verchères

Montréal – Secteurs Ahuntsic Côte-des-Neiges Mercier Notre-Dame-de-Grâce Plateau Mont-Royal Rosemont Saint-Michel Sud-Est Sud-Ouest Verdun Villeray Outremont

MONTREAL (est) Montréal-Est

MONTREAL (ouest) Baie-D'Urfe Beaconsfield Dollard-Des-Ormeaux Donval Kirkland L'Île-Des-Ormeaux Montréal-Ouest Pointe-Claire Sainte-Anne-de-Bellevue Senneville

LÉGENDE

- Territoire de l'enquête OD 2013
- Région
- Municipalité
- Territoire comparable

		Période de fin d'activité																														Total	Durée moyenne (en Heures)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
		6h	6h30	7h	7h30	8h	8h30	9h	9h30	10h	10h30	11h	11h30	12h	12h30	13h	13h30	14h	14h30	15h	15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30			21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Période de début d'activité	6h			7h	7h30	8h	8h30	9h	9h30	10h	10h30	11h	11h30	12h	12h30	13h	13h30	14h	14h30	15h	15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		32 120	9.8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	6h30		7h	7h30	8h	8h30	9h	9h30	10h	10h30	11h	11h30	12h	12h30	13h	13h30	14h	14h30	15h	15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		52 230	9.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	7h		7h30	8h	8h30	9h	9h30	10h	10h30	11h	11h30	12h	12h30	13h	13h30	14h	14h30	15h	15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		106 562	8.9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
	7h30		8h	8h30	9h	9h30	10h	10h30	11h	11h30	12h	12h30	13h	13h30	14h	14h30	15h	15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		91 708	8.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	8h		8h30	9h	9h30	10h	10h30	11h	11h30	12h	12h30	13h	13h30	14h	14h30	15h	15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		92 748	8.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	8h30		9h	9h30	10h	10h30	11h	11h30	12h	12h30	13h	13h30	14h	14h30	15h	15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		38 946	7.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	9h		9h30	10h	10h30	11h	11h30	12h	12h30	13h	13h30	14h	14h30	15h	15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		34 695	6.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	9h30		10h	10h30	11h	11h30	12h	12h30	13h	13h30	14h	14h30	15h	15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		12 296	5.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	10h		10h30	11h	11h30	12h	12h30	13h	13h30	14h	14h30	15h	15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		25 374	5.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	10h30		11h	11h30	12h	12h30	13h	13h30	14h	14h30	15h	15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		9 222	4.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	11h		11h30	12h	12h30	13h	13h30	14h	14h30	15h	15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		18 187	4.8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	11h30		12h	12h30	13h	13h30	14h	14h30	15h	15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		8 098	4.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	12h		12h30	13h	13h30	14h	14h30	15h	15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		19 458	4.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	12h30		13h	13h30	14h	14h30	15h	15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		8 179	4.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	13h		13h30	14h	14h30	15h	15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		16 137	4.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	13h30		14h	14h30	15h	15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		6 623	3.9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	14h		14h30	15h	15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		11 764	3.8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	14h30		15h	15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		6 650	3.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	15h		15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		11 714	3.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
	15h30		16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		5 654	3.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
16h		16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		11 050	3.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
16h30		17h	17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		6 788	2.9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
17h		17h30	18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		11 933	3.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
17h30		18h	18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		6 792	3.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
18h		18h30	19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		9 476	3.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
18h30		19h	19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		3 993	2.8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
19h		19h30	20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		4 101	2.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
19h30		20h	20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		1 272	2.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
20h		20h30	21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		2 039	2.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
20h30		21h	21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		400	2.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
21h		21h30	22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		1 262	1.9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
21h30		22h	22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		214	2.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
22h		22h30	23h	23h30	24h	24h30	25h		430	1.8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
22h30		23h	23h30	24h	24h30	25h		67	1.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
23h		23h30	24h	24h30	25h		101	0.9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
23h30		24h	24h30	25h		-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												

ANNEXE C – SÉQUENCES D'ENTITÉS LES PLUS EMPRUNTÉES

Rang	Chaînes	Nombre de déplacements	Proportion
1	M	371 724	25,2%
2	B	279 790	19,0%
3	BM	136 658	9,3%
4	MB	134 751	9,1%
5	BB	85 504	5,8%
6	A	68 387	4,6%
7	R	51 135	3,5%
8	L	38 302	2,6%
9	BMB	34 229	2,3%
10	RM	26 051	1,8%
11	MR	25 152	1,7%
12	S	23 606	1,6%
13	N	20 907	1,4%
14	LM	13 630	0,9%
15	ML	13 506	0,9%
16	AM	12 543	0,9%
17	MA	11 649	0,8%
18	RR	11 365	0,8%
19	SM	8 679	0,6%
20	MS	8 513	0,6%
Total	-	1 475 225	100,0%