

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

CARACTÉRISATION SYSTÉMIQUE DES
CORRIDORS DE TRANSPORT EN COMMUN

POOYA RAFIEE
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)
JANVIER 2009



Library and Archives
Canada

Published Heritage
Branch

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Direction du
Patrimoine de l'édition

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence
ISBN: 978-0-494-53921-7
Our file Notre référence
ISBN: 978-0-494-53921-7

NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.


Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé:

CARACTÉRISATION SYSTÉMIQUE DES
CORRIDORS DE TRANSPORT EN COMMUN

présenté par: RAFIEE, Pooya

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, président

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

Mme MORENCY Catherine, Ph.D., membre

Remerciement

L'auteur désire exprimer sa gratitude au professeur Robert Chapleau pour sa rigueur, son soutien et sa disponibilité. Ce projet s'est avéré une formation hors paire grâce à son dévouement et son encadrement.

L'auteur remercie aussi les membres groupe MADITUC, Bruno, Daniel, Guillaume et Vincent pour leur aide technique et le partage de leurs connaissances. Il tient aussi à remercier ses collègues, Hubert, Vincent, Marie-Christine, Tim, Alfred et Pierre pour les discussions stimulantes et les moments décontractés.

Mama et Baba, je vous remercie pour vos conseils précieux ainsi que votre soutien inestimable. À ma petite sœur, Veera, je te remercie pour ton honnêteté et ton énergie. Tu as toujours été une source de motivation.

À ma copine, Marilyn Mauricio, je te remercie pour ta patience et ton amour inconditionnel ainsi que les nombreux moments inoubliables passés ensemble. Ton sens de l'humour et tes mots d'encouragement m'ont inspirés dans les moments les plus difficiles. Le futur ne m'a jamais semblé aussi prometteur.

Résumé

Le système de transport d'une région est en interrelation avec le système socioéconomique et il est en changement continu qu'il soit question de la demande en transport, des technologies utilisées ou des valeurs qui entraînent aux prises de décision. Le défi du planificateur en transport est d'analyser un système complexe et changeant, d'une manière juste, pertinente et qui aide à clarifier les sujets qui vont être débattus. De ce point de vue, la caractérisation des axes de transport en commun devient un problème systémique et multidimensionnel où les aspects opérationnels, sociodémographiques et de mobilité individuelle sont fusionnés. La revue de littérature suggère que ces thèmes sont surtout abordés de façon individuelle et confirme un manque au niveau d'une approche intégrée dans la caractérisation des corridors.

L'objectif de ce mémoire de maîtrise est donc de définir une approche méthodologique pour la caractérisation des corridors de transport en commun par le traitement, l'intégration et l'analyse des données de temps de passages, de feux de circulation, de recensement et d'enquête origine-destination. Elle a aussi pour but de présenter des méthodes automatiques de traitement de bases de données par l'usage des outils de technologies informationnelles.

Le projet débute en définissant les concepts d'un corridor selon une approche orientée-objet et l'identification des indicateurs de performance d'un système de transport en commun. Les données opérationnelles sont ensuite exploitées pour l'analyse des attributs du service tels que le temps de parcours et la vitesse ainsi que l'étude des ressources nécessaires en termes de flotte, de véhicules-kilomètres et de véhicules-heures. De plus, la conception de diagramme espace-temps par l'usage d'outils SIG permet une analyse interactive des résultats. L'étape suivante consiste à évaluer l'effet des feux de circulation selon une méthode d'intégration des données de

temps de phases et de service planifié. Puis, les riverains de la ligne de transport en commun sont caractérisés par la définition d'une zone d'influence et par le traitement des données de recensement à l'aide d'outils SIG. L'approche totalement désagrégée permet l'analyse des déplacements individuels à la plus fine résolution. Cet exercice ouvre la porte à une analyse multidimensionnelle qui permet d'étudier le rôle du corridor au sein du système de transport. Quels sont les attributs des personnes empruntant le corridor? Le corridor est-il un moyen indépendant de transport ou agit-il en tant que moyen de correspondance? Finalement, l'approche totalement désagrégée permet aussi la caractérisation des générateurs de déplacements à l'aide des extrémités de déplacements géocodées et identifiées.

Abstract

The transport network of a region is in interrelation with the socioeconomic system and it's continuously changing in regards to the transport demand, the use of technologies or the values that lead to decision making. Transportation planners face the challenge of analysing a complex and changing system in a valid and pertinent way, and which helps in clarifying the issues to be debated. In that sense, the characterization of transit corridors becomes a systemic and multidimensional problem where the operational, socio-demographic and individual mobility aspects are brought together. The literature revue suggests that these aspects are often treated independently and that there's a lack in an integrated approach.

The objective of this master's thesis is to define a methodological approach for characterizing transit corridors by processing, merging and analysing data from different sources: planned schedule, traffic light, census and origin-destination survey. It also aims to bring forward automatic methods to process databases through the use of information technology tools.

The project is launched with the definition of transit corridor concepts through an object-oriented approach and the identification of performance measures in transit networks. Operational data are then used to analyse service attributes such as the operating time and the speed, and to study the necessary resources in terms of fleet, vehicle-kilometres and vehicle-hours. Furthermore, space-time diagrams are built with GIS tools to allow an interactive analysis of results. The next step evaluates the effects of traffic lights on bus circulation by integrating data from light phases and data from the planned schedule. With the help of census data and GIS tools, the residents within the catchment area of the transit line are characterized in regards to their social, economic and demographic attributes. The totally disaggregate approach permits the analysis of individual trips at the finest resolution. This exercise opens the door to a multidimensional analysis where the role of the corridor within the transport network

can be defined. What are the attributes of the people using the corridor? Is the corridor an independent way of travel or does it act as a transfer line? Finally, the totally disaggregate approach permits the characterization of trip generators by using the geographical reference and identification of trip extremities.

Table des matières

REMERCIEMENT	IV
RÉSUMÉ	V
ABSTRACT	VII
TABLE DES MATIÈRES	IX
LISTE DES FIGURES	XII
LISTE DES TABLEAUX	XVII
LISTE DES ABRÉVIATIONS	XIX
LISTE DES ANNEXES	XX
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION	1
CHAPITRE 2 : CORRIDOR DE TRANSPORT EN COMMUN	5
2.1 Qu'est-ce qu'un corridor de transport en commun	5
2.1.1 L'approche orientée objet.....	5
2.1.2 Les objets d'une ligne d'autobus.....	6
2.2 Attribut des objets	8
2.3 Concepts d'une ligne d'autobus	13
2.4 Mesures de la performance d'un système de TC	15
2.4.1 Indicateurs de performance pour le transport en commun (IPTC).....	17
2.4.2 Catégorisation des indicateurs de performance à différents niveaux..	19
2.5 Représentation visuelle avec GIS.....	22
2.6 Le corridor Saint-Michel.....	24
CHAPITRE 3 : CARACTÉRISATION DU SERVICE	26
3.1 Revue de littérature	26
3.2 Méthodologie	30
3.3 Données.....	31
3.4 Résultats	35
3.4.1 Distances de parcours et caractéristiques spatiales	35
3.4.2 Temps de parcours	38
3.4.3 Les coûts pour l'opérateur du service	39

3.4.4	Diagramme espace-temps	40
3.4.5	Vitesse commerciale	41
3.4.6	Fréquence et intervalle	44
3.4.7	Flotte minimale	47
3.5	Conclusion.....	48
CHAPITRE 4 : SYNCHRONISATION DES FEUX		50
4.1	Les concepts de la coordination des feux.....	50
4.2	Collecte des données	54
4.2.1	Procédure.....	54
4.2.2	Structure de la base de données.....	55
4.3	Visualisation spatio-temporelle.....	55
4.3.1	Procédure de traitement de données.....	55
4.3.2	Les résultats.....	58
4.4	Conclusion.....	60
CHAPITRE 5 : CARACTÉRISATION SOCIO-ÉCONOMICO- DÉMOGRAPHIQUE.....		61
5.1	Revue de littérature	61
5.1.1	Le concept d'accès au transport en commun	61
5.1.2	Couverture du territoire par le TC.....	63
5.1.3	Les usagers et les variables importantes	64
5.1.4	Exemple de caractérisation socio-économico-démographique d'un corridor de transport en commun	65
5.2	Méthodologie	65
5.3	Les recensements nationaux.....	66
5.3.1	Qu'est-ce que le recensement?	66
5.3.2	Les découpages territoriaux	66
5.3.3	Les données	67
5.4	Les variables retenues	68
5.5	L'assemblage des données pour un corridor	71

5.6	Les résultats.....	73
5.7	Analyse comparative.....	81
5.8	Segmentation virtuelle du corridor.....	84
5.9	Conclusion.....	87
CHAPITRE 6 : CARACTÉRISATION DES DÉPLACEMENTS		
INDIVIDUELS ET DES GÉNÉRATEURS DE DÉPLACEMENTS.....		89
6.1	Revue de littérature	89
6.1.1	Approche agrégée.....	89
6.1.2	Approche totalement désagrégée	91
6.1.3	Enquête OD.....	93
6.1.4	L'enquête de 2003.....	94
6.2	Les déplacements empruntant le service de TC du corridor	95
6.2.1	Les données de la ligne 67	95
6.2.2	Méthodologie de travail	99
6.2.3	Les personnes	100
6.2.4	Les déplacements et leur distance	102
6.2.5	L'analyse des déplacements sans tenir compte des déplacements à motif retour à domicile.....	103
6.3	Les générateurs de déplacements	113
6.3.1	Revue de littérature	113
6.3.2	Identification des grands générateurs.....	114
6.3.3	Caractérisation des grands générateurs	118
6.4	Conclusion.....	120
CHAPITRE 7 : CONCLUSION.....		122
7.1	Sommaire des thématiques abordées.....	122
7.2	Perspectives.....	124
RÉFÉRENCES.....		126
ANNEXES.....		126

Liste des figures

Figure 1.1 : Structure générale du document	4
Figure 2.1 : Les types d'objets dans une approche orientée objet.....	6
Figure 2.2 : Les éléments et les mesures de performance de base d'un système de TC (Vuchic, 2005)	8
Figure 2.3 : Représentation de différents types de longueur sur un réseau de TC (Vuchic, 2005).....	11
Figure 2.4 : Représentation des concepts de base d'une ligne d'autobus	14
Figure 2.5 : Différentes composantes de la journée de travail d'un chauffeur (Chapleau, 2008)	15
Figure 2.6 : Fonction de performance du TC selon Manheim (1979).....	16
Figure 2.7 : Les 4 catégories de la caractérisation du service de TC (Vuchic, 2005).	17
Figure 2.8 : Les concepts de la performance du TC selon Fielding (1987).....	18
Figure 2.9 : Exemple de visualisation d'un territoire et d'une zone tampon sur SIG (Esri Canada, 2006).....	23
Figure 2.10 : Illustration des fuseaux pour le système UTM (St-Onge, 2000).....	24
Figure 2.11 : Superposition des fuseaux du système UTM et MTM (St-Onge, 2000)	24
Figure 2.12 : Localisation géographique de la ligne 67	25
Figure 3.1 : Illustration d'un parcours d'autobus dans un diagramme espace-temps (Vuchic, 2005).....	28
Figure 3.2 : Diagramme espace-temps où la vitesse est catégorisée avec différentes couleurs (Wolfe & Berkow, 2007).....	28
Figure 3.3 : Représentation spatio-temporelle des chaînes de déplacement (Kwan, 2005).	29
Figure 3.4 : Méthodologie empruntée pour la caractérisation du service d'autobus ..	31
Figure 3.5 : Procédure de préparation des données de temps de passage	33
Figure 3.6 : Procédure de conversion des coordonnées de MTM à UTM	34

Figure 3.7 : Représentation d'entités points, lignes et polygones dans un SIG.....	35
Figure 3.8 : Points de contrôle dans le trajet de la ligne 67	36
Figure 3.9 : Trajet de la ligne 67 avec les points de correspondance.....	37
Figure 3.10 : Temps de parcours selon la l'heure du jour.....	38
Figure 3.11 : Temps de parcours selon les segments de ligne	39
Figure 3.12 : Mesure des ressources impliquées pour l'opération de la ligne 67 en véh-km et véh-h.....	40
Figure 3.13 : Préparation des données pour l'importation de lignes dans DivaGIS ...	40
Figure 3.14 : Diagramme espace-temps de la ligne 67 créé avec DivaGIS.....	41
Figure 3.15 : Vitesse commerciale de parcours en fonction de l'heure du jour.....	42
Figure 3.16 : Diagramme espace-temps avec représentation des vitesses selon les segments de ligne	43
Figure 3.17 : Fréquence des départs par intervalle de 15 minutes	45
Figure 3.18 : Niveau de service par intervalle de 15 minutes	45
Figure 3.19 : Illustration des fréquences de passage en période de pointe AM avec DivaGIS.....	46
Figure 3.20 : Illustration des fréquences de passage en période de pointe PM avec DivaGIS.....	46
Figure 3.21 : Organisation des données de temps de passage pour trouver le nombre minimum de véhicules requis	47
Figure 3.22 : Nombre minimum de véhicules requis par intervalle de 15 minutes	48
Figure 4.1 : Représentation d'un diagramme espace-temps et des volumes de véhicules par le logiciel TimeSpace.....	53
Figure 4.2 : Représentation d'une onde verte à sens unique (Baass, 2007).....	53
Figure 4.3 : Onde verte favorisant la circulation des autobus avec des cycles fixes (Baass, 2007).....	54
Figure 4.4 : Organisation des données de temps de phase pour un diagramme espace-temps	56

Figure 4.5 : Procédure d'intégration des temps de passages d'autobus aux temps de phase des feux de circulation.....	56
Figure 4.6 : Visualisation spatio-temporelle du phasage des feux de circulation et d'un parcours de la ligne 67 en direction nord selon les temps de marche théoriques.	59
Figure 4.7 : Analyse des temps perdus aux feux rouges dans la période de 6h00 à 9h00	59
Figure 5.1 : Pourcentage des gens marchant plus qu'une certaine distance pour atteindre le service de TC dans des villes nord-américaines (TRB, 2003)	63
Figure 5.2 : Aire de couverture selon la mesure euclidienne (a) ou par réseau (b) en utilisant la même distance.	64
Figure 5.3 : Procédure de caractérisation de la population d'un corridor de TC	66
Figure 5.4 : Hiérarchie des unités géographiques normalisées pour la diffusion, Recensement 2006 (Statistique Canada, 2007).....	67
Figure 5.5 : Procédure d'assemblage des données de recensement pour les corridors	72
Figure 5.6 : Représentation SIG des AD qui se retrouvent dans la zone d'influence de la ligne 67	72
Figure 5.7 : Pondération des variables de recensement selon la proportion des AD couvertes par la zone d'influence.....	73
Figure 5.8 : Densité brute de la population selon les AD et section entre les rues Jarry et Industriel.....	74
Figure 5.9 : Distribution de la population résidant dans la zone d'influence selon le groupe d'âge et le sexe.	75
Figure 5.10 : Distribution de la population selon l'état matrimonial, la taille des familles et la taille des ménages.....	76
Figure 5.11 : Taille moyenne des familles et des ménages selon les AD	76
Figure 5.12 : Évolution temporelle du nombre de logements selon les AD.	77

Figure 5.13 : Distribution de la population selon la langue maternelle et la langue parlée le plus souvent à la maison.....	78
Figure 5.14 : Revenu moyen des personnes selon les AD	80
Figure 5.15 : Part modale du TC comme principal mode de transport au travail selon les AD	81
Figure 5.16 : Densité de la population (île de Montréal)	82
Figure 5.17 : Revenu individuel (île de Montréal).....	82
Figure 5.18 : Type de logements (île de Montréal).....	83
Figure 5.19 : Langue la plus souvent parlée à la maison (île de Montréal)	83
Figure 5.20 : Niveau d'éducation selon le plus haut certificat, diplôme ou grade (île de Montréal).....	83
Figure 5.21 : Segmentation du corridor Saint-Michel selon les secteurs municipaux	85
Figure 5.22 : Application Excel interactive pour l'analyse d'un corridor selon les secteurs municipaux	87
Figure 6.1 : Schéma classique de modélisation d'un réseau de transport (Chapleau, 1992a)	91
Figure 6.2 : Définition d'un itinéraire de déplacement et composantes analytiques. (Chapleau & Morency, 2002) adapté de (Chapleau & Cea, 1982).	92
Figure 6.3 : Catégorisation des données d'enquête OD selon les ménages, les personnes et les déplacements (Chapleau & Morency, 2001)	94
Figure 6.4 : Territoire de l'enquête OD (Agence métropolitaine de transport, 2005)	95
Figure 6.5 : Résumé de l'ensemble des champs pour les déplacements ayant emprunté la ligne 67.....	96
Figure 6.6 : Distribution de la différence des distances à vol d'oiseau et des distances MADITUC.....	98
Figure 6.7 : Pyramide d'âge selon la taille des ménages	101
Figure 6.8 : Pyramide d'âge selon le revenu des ménages.....	101

Figure 6.9 : Distribution des déplacements et des distances de déplacement selon le motif	103
Figure 6.10 : Application interactive illustrant les extrémités de déplacement selon différentes variables	104
Figure 6.11 : Motif et distance des déplacements pendant l'heure de pointe	106
Figure 6.12 : Mode d'accès au corridor et distribution des distances d'accès	108
Figure 6.13 : Origines des déplacements selon le mode d'accès au corridor.....	109
Figure 6.14 : Destinations des déplacements selon le mode d'accès aux destinations à partir du corridor	110
Figure 6.15 : Profil de charge de la ligne 67 en direction nord en période de pointe AM (6h à 9h) selon le chargement MADITUC	111
Figure 6.16 : Profil de charge de la ligne 67 en direction sud en période de pointe AM (6h à 9h) selon le chargement MADITUC	112
Figure 6.17 : Achalandage total engendré par les usagers de la ligne 67 sur le réseau de transport en commun pendant l'heure de pointe AM selon le chargement MADITUC.....	112
Figure 6.18 : Relation entre les objets et leurs attributs dans l'approche totalement désagrégée (Chapleau, 1999)	114
Figure 6.19 : Carte des générateurs et intersections importants des usagers de la ligne 67.....	116
Figure 6.20 : Représentation du nombre de destinations pondérées dans des cellules de 500mx500m.....	117
Figure 6.21 : Visualisation des destinations avec ou sans dénomination de générateurs	118
Figure 6.22 : Lignes de désir selon le générateur de déplacement (écoles secondaires).....	120

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Les lignes d'autobus les plus achalandées de la STM (Société de transport de Montréal, 2007)	25
Tableau 3.1 : Description des champs dans la base de données des temps de passage	32
Tableau 3.2 : Caractéristiques des bases de données de temps de passage de la ligne 67. Les données de la ligne courte sont entre parenthèses.	33
Tableau 3.3 : Vitesse commerciale selon le segment de la ligne 67	43
Tableau 4.1 : Données nécessaires pour l'analyse des intersections à feux.....	51
Tableau 4.2 : Champs retrouvés dans la base de données initiale des feux de circulation.....	55
Tableau 5.1 : Variables retenues du recensement pour l'analyse socio-économico-démographique des corridors de TC	69
Tableau 5.1 (suite) : Variables retenues du recensement pour l'analyse socio-économico-démographique des corridors de TC	70
Tableau 5.2 : Distribution des logements selon le type, le mode d'occupation et la période de construction	77
Tableau 5.3 : Distribution de la population selon le statut d'immigrant.....	79
Tableau 5.4 : Distribution de la population (25 à 64 ans) selon l'éducation.....	79
Tableau 5.5 : Distribution de la population de 15 ans et plus selon le niveau d'activité et le revenu	79
Tableau 5.6 : Répartition modale des personnes occupées selon le principal mode de transport du domicile au lieu de travail	80
Tableau 5.7 : Caractéristiques socio-économico-démographiques selon la segmentation municipale du corridor Saint-Michel.	86
Tableau 6.1 : Distribution temporelle et distance des déplacements selon le genre ..	105
Tableau 6.2 : Mode d'accès au corridor et mode d'accès à la destination à partir du corridor	107

Tableau 6.3 : Répartition des destinations de déplacements selon le type de déclaration	114
Tableau 6.4 : Générateurs et intersections importants selon la destination des déplacements	115
Tableau 6.5 : Distance et motif des déplacements pour les importants générateurs ..	119

Liste des abréviations

AD: Aire de diffusion

APC: Automatic Passenger Count

AMT: Agence métropolitaine de transport

GPS: Geographical Positioning System

HCM: Highway Capacity Manual

NCHRP: National Cooperative Highway Research Program

MADITUC: Modèle d'analyse désagrégée des itinéraires de transport urbain collectif

OD: Origine-destination

PSC: Procédure séquentielle classique

SIG: Système d'information géographique

SIG-T: Système d'information géographique en transport

SIGGAR: Système interactif et graphique de gestion et d'analyse des arrêts

SRB: Service de bus rapides

STM : Société de transport de Montréal

TC: Transport en commun

TCRP: Transit Cooperative Research Program

TQSM: Transit Quality and Service Manual

Liste des annexes

Annexe A : Traitement des données de temps de passage d'autobus	132
Annexe B : Formulaire de collecte de données pour les carrefours à feux	134

Chapitre 1 : Introduction

L'expansion d'un système de transport en commun et l'ajout de nouveaux types de service (tramways, autobus articulés, voies réservées) sur des corridors posent un défi quant à l'évaluation et la gestion des ressources ainsi qu'à l'estimation de l'achalandage prévu. L'un des rôles du planificateur en transport est d'analyser les choix disponibles à l'agence de transport en commun pour amener des changements au système et au service dans le cadre d'une région particulière (Manheim, 1979). Dans le contexte du transport en commun, la question fondamentale demeure l'approche à prendre pour planifier un service attrayant et viable, mais qui réduit aussi les coûts pour l'opérateur du service. L'étude d'un corridor de transport en commun exige donc la caractérisation de l'offre et de la demande de service.

Selon la littérature, la caractérisation d'un corridor de transport en commun comporte généralement quatre composantes : l'offre de service, la population dans la zone d'influence, les chaînes de déplacements et les générateurs de déplacements. Cette caractérisation exige l'intégration de plusieurs types de données : service planifié, coordination des feux de circulation, recensement national et enquête origine-destination. L'objectif de ce mémoire est donc de faire une caractérisation systémique des corridors de transport en commun, c'est-à-dire, de :

- Définir le concept d'un corridor et d'une ligne de transport en commun selon une approche orientée objet en transport.
- Consulter la littérature dans le domaine des indicateurs de performance du TC, de la synchronisation des feux de circulation, de la zone d'influence d'une ligne de TC et de l'approche totalement désagrégée en transport.
- Définir une approche méthodologique pour l'intégration des données opérationnelles, de feux de circulation, de recensement et d'enquête origine-destination.

- Caractériser le corridor selon le service de TC, les résidents dans la zone d'influence, les déplacements individuels empruntant le corridor et les pôles d'attraction des usagers du corridor.
- Concevoir une application interactive permettant la visualisation rapide et efficace des résultats numériques et graphiques.
- Utiliser des outils SIG pour la visualisation géospatiale ainsi que la conception de « faux SIG » tels que des diagrammes espace-temps.

L'approche procédurale de la caractérisation des corridors de transport en commun est segmentée en six grandes parties (Figure 1.1). Le chapitre 2 agit comme fondation à ce projet puisqu'il définit les concepts de base selon une approche orientée objet en répondant à certaines questions fondamentales : qu'est-ce qu'un corridor de TC? Quels sont les objets qu'on y retrouve? Quels sont les attributs des objets? Quels sont les indicateurs de performance d'un système de TC? De plus, ce chapitre introduit l'utilité des SIG-T et présente le corridor Saint-Michel, qui servira d'exemple type à l'application de la procédure de caractérisation.

Les chapitres 3 à 6 suivent une structure systématique qui comprend la mise en contexte, la revue de littérature, la méthodologie, la description et le traitement des données et les résultats.

La composante opérationnelle d'une ligne de TC engendre des coûts à l'exploitant du service, généralement mesurés en véhicule-kilomètres, véhicules-heures et nombre de véhicules ainsi que des coûts aux usagers mesurés par le niveau de service (intervalle) et le temps de parcours (chapitre 3). La variabilité des caractéristiques d'un corridor exige l'analyse à trois niveaux de résolution : la ligne, les segments inter-arrêts et les arrêts. L'analyse et la visualisation spatio-temporelle des véhicules permettent d'exposer divers attributs tels que l'espacement, l'intervalle et la fréquence du service, le temps de parcours et la vitesse.

La coordination des feux de circulation demeure primordiale pour minimiser le temps en arrêt des autobus. Le chapitre 4 examine l'effet des feux de circulation dans la progression fluide des autobus et propose, dans un premier temps, une procédure de relevé d'information sur le terrain et, dans un deuxième temps, une approche méthodologique pour l'analyse du coût (temps perdu) engendré par les feux de circulation. De nouveau, les diagrammes espace-temps sont exploités dans le but de présenter les concepts de temps de phase, de décalage et de bande verte.

Comme le présent projet se penche sur la notion de corridor, il est indispensable de caractériser les résidents dans la zone d'influence du service de TC (chapitre 5). Les données de recensement sont exploitées à la plus fine résolution disponible : les aires de diffusion. Des fonctions SIG sont utilisés pour isoler la population dans la zone d'influence du corridor et extraire les variables de nature socio-économico-démographique. L'implantation d'une méthodologie systématique et d'une application interactive sur plateforme de chiffrier permet l'analyse comparative parmi les corridors ainsi qu'avec la population entière de l'île de Montréal.

Le chapitre 6 aborde l'analyse totalement désagrégée des déplacements empruntant le corridor par l'intermédiaire des données d'enquête OD et de la modélisation MADITUC des itinéraires de déplacements. Cette approche multidimensionnelle se démarque du paradigme agrégé par la finesse des informations qu'elle emploie, tant au niveau des déplacements (motif, mode, heure, séquence des modes, géocodage des extrémités de déplacements, etc.), qu'au niveau des caractéristiques socio-économiques des ménages et des personnes. Le traitement des itinéraires de déplacements permet de caractériser la mobilité des usagers et d'exposer le rôle du corridor au sein du système de transport. De plus, l'étude des extrémités de déplacements permet d'identifier les grands générateurs et d'examiner leurs particularités.

La conclusion résume les grands points de la méthodologie de travail et discute d'une suite plus élaborée à ce projet.

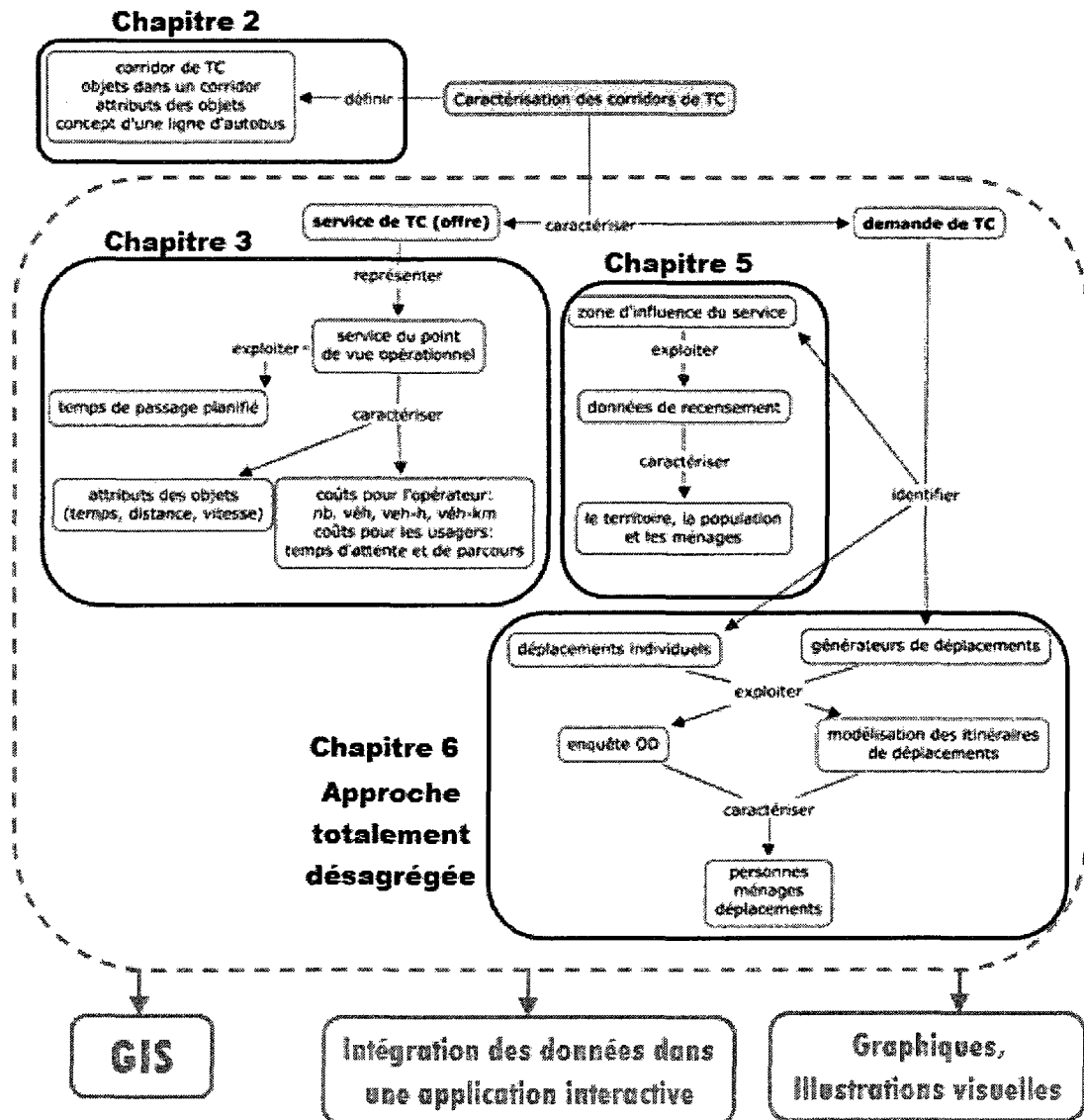


Figure 1.1 : Structure générale du document

Chapitre 2 : Corridor de transport en commun

2.1 Qu'est-ce qu'un corridor de transport en commun

De façon générale, un corridor de transport réfère à une surface géographique qui accommode la convergence de déplacements dans un patron linéaire par l'intermédiaire de liens complémentaires (autoroutes, rues ou passages piétons) pour permettre des déplacements métropolitains de plus longue distance (Smith, 1999). Les corridors font partie de régions métropolitaines qui incluent un marché affecté par des problématiques/besoins en mobilité et des améliorations potentielles au système de transport.

Plus spécifiquement, un corridor de transport en commun suit une trajectoire avec un alignement et un débit directionnel général, tel qu'un boulevard, et inclut une zone d'influence. Ce dernier est la zone dans laquelle le service de transport en commun est jugé accessible à pied. Les concepts d'accessibilité et de zone d'influence seront expliqués en détail dans le chapitre 5. D'un point de vue opérationnel, un corridor requiert des ressources matérielles (véhicules, essence, etc.) et de la main-d'œuvre (chauffeurs, mécaniciens, etc.) dont les coûts sont souvent mesurés en véhicules-kilomètres et véhicules-heures (chapitre 3). Du point de vue de la demande, le corridor peut contenir des points d'attraction et de production de déplacements ou peut servir comme moyen de rabattement vers des points de correspondance (chapitre 6). L'achalandage d'un corridor est généralement mesuré en nombre de déplacements ou de passagers-kilomètres. L'approche orientée objet en transport permet de mieux définir les composantes d'un corridor et leurs attributs.

2.1.1 L'approche orientée objet

Dans l'ordre du transport urbain collectif, l'approche orientée objet a comme objectif de créer un lien compréhensif entre les données opérationnelles et le réseau de voirie. Ces objets forment quatre catégories (Trépanier & Chapleau, 2001):

1. Les objets **statiques** sont fixes dans le temps et l'espace. Par exemple, ils incluent les générateurs de déplacements, les codes postaux et les frontières zonales.
2. Les objets **dynamiques** contribuent aux déplacements. Ils représentent un groupe de personnes (ménage, personne), un objet en mouvement (bus, automobile) ou des objets en mouvement (biens).
3. Les objets **cinétiques** décrivent les mouvements. Il est alors question de déplacements, de chemins, de liens et itinéraires en transport collectif.
4. Les objets **systémiques** sont un ensemble d'objets qui sont en relation. Ils peuvent être des objets opérationnels (réseau de transport collectif, réseau de voirie), informationnels (enquête, recensement) ou compréhensifs (système urbain).

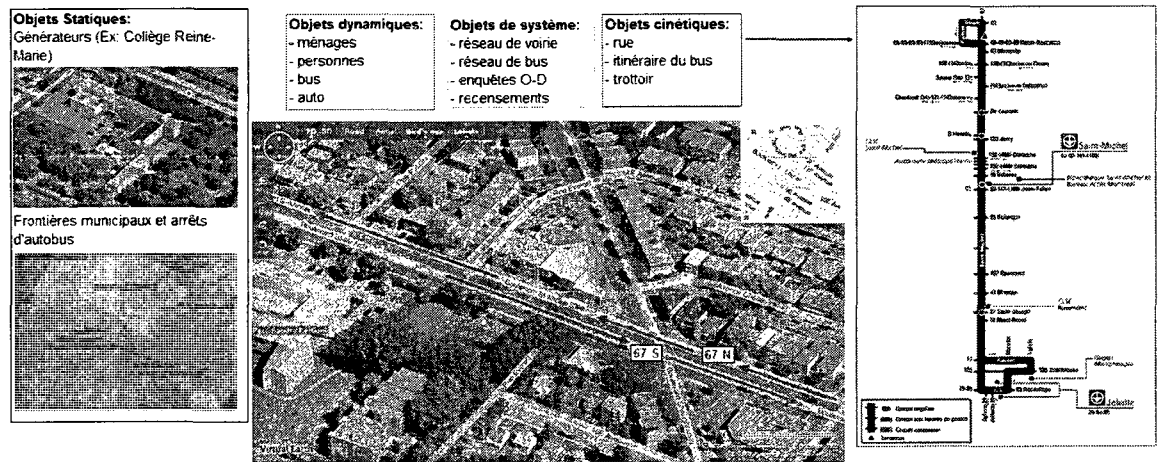


Figure 2.1 : Les types d'objets dans une approche orientée objet.

2.1.2 Les objets d'une ligne d'autobus

Sommairement, les objets dans un réseau d'autobus sont définis de la façon suivante :

1. **Véhicule ou autobus** (objet dynamique) : véhicule automobile pour le transport en commun de voyageurs (Techno-science, 2008). Une flotte réfère à un ensemble de véhicules.

2. **Arrêt** (objet statique) : un arrêt est un endroit le long de la ligne où l'autobus arrête pour embarquer ou débarquer des passagers. L'équipement peut inclure des panneaux, un banc et un abribus (Vuchic, 2005).

3. **Arrêt de correspondance** (objet statique) : un arrêt joint à plus qu'une ligne où les passagers peuvent faire des transferts de ligne (Vuchic, 2005). Un point de transfert multimodal est desservi par plus d'un mode de TC (Vuchic, 2007).

4. **Terminus** (objet statique) : le dernier arrêt d'une ligne d'autobus dans une direction (Vuchic, 2007).

5. **Garage ou dépôt** (objet statique) : bâtiment où les véhicules sont entreposés.

6. **Trajet** (objet cinétique) : ensemble du chemin à parcourir, ou parcouru, par un autobus pour atteindre une destination (Office de la langue française, 2008).

7. **Liens ou segment de ligne** (objet cinétique) : trajet entre deux arrêts d'une même ligne.

8. **Ligne d'autobus**: les rues ou les infrastructures de TC qui sont desservies par des autobus (Vuchic, 2007). Une ligne est un trajet spécifique emprunté par un autobus où des passagers sont embarqués et débarqués (Charlotte Area Transit System, 2008a). Une ligne d'autobus est composée d'arrêts et d'une série de liens.

9. **Réseau d'autobus** (objet de système) : des liens d'autobus qui sont connectés ou qui se croisent et qui sont coordonnés pour une opération efficace et une intégration des services dans une zone qui est pratique pour les passagers et pour l'efficacité des opérations (Vuchic, 2005).

2.2 Attribut des objets

Les attributs des objets permettent d'identifier les caractéristiques qui leur sont propres. Par exemple, les attributs d'une personne incluent son nom, prénom, âge et genre; tout comme les attributs d'un véhicule incluent son temps de parcours et sa vitesse. Coad et Yourdon (1991) définissent l'attribut d'un objet comme suit :

- Un attribut est une donnée (variable d'état) pour laquelle chaque objet dans une classe a une valeur propre.
- Les différentes valeurs des attributs d'un objet définissent son état.
- L'attribut fournit des détails sur l'état, les caractéristiques, les propriétés d'une classe.

Cette section définit les attributs des objets décrits dans la section précédente selon Vuchic (2005). Elle comprend les définitions théoriques, la nomenclature et les équations des attributs. Le processus de base du transport peut être défini comme le mouvement des objets u (véhicules) sur une distance s pendant un intervalle de temps t (Figure 2.2).

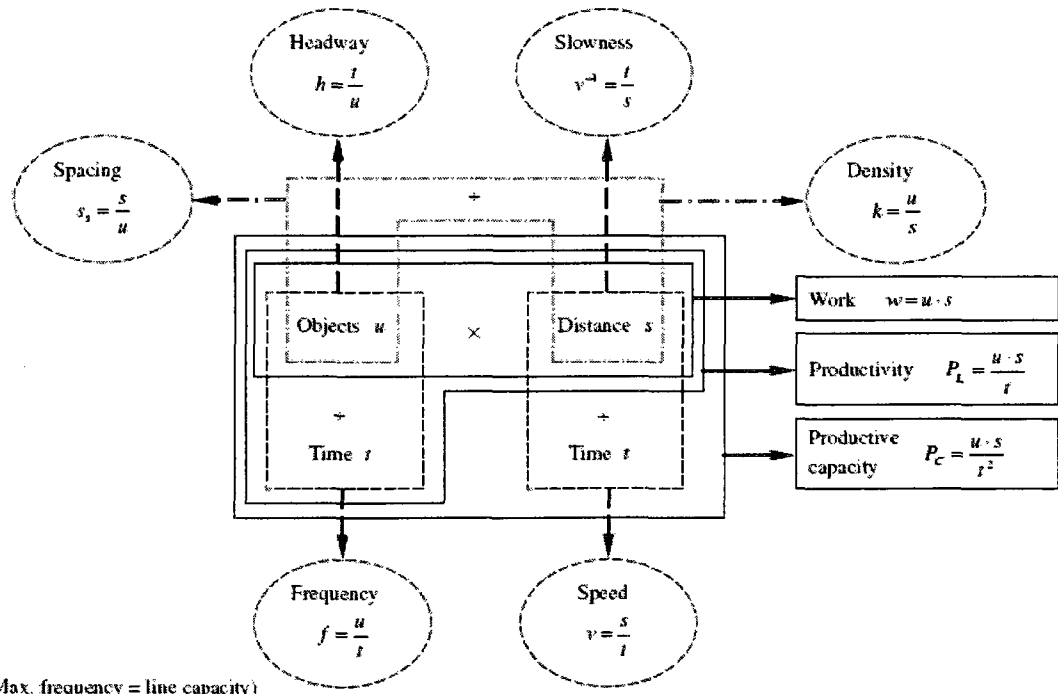


Figure 2.2 : Les éléments et les mesures de performance de base d'un système de TC (Vuchic, 2005)

a) Intervalle (« headway »), h :

L'intervalle de temps entre les moments où deux véhicules successifs passent à un endroit fixe d'une ligne d'autobus dans la même direction. Pour les horaires de bus, l'intervalle est exprimé en minutes, tandis que pour l'analyse de capacité, il est exprimé en secondes. L'intervalle est planifié en faisant un compromis entre le service offert aux passagers (temps d'attente des passagers) et les coûts opérationnels. L'intervalle maximum est déterminé selon le niveau de service minimum considéré comme acceptable. L'intervalle minimum est déterminé selon les caractéristiques physiques du système (technologie, méthode de conduite, degré de sécurité requis) et les opérations à l'arrêt (embarquements et débarquements). L'inverse de l'intervalle de passage à un point fixe est la fréquence de passage à ce point.

b) Temps de parcours, t :

Le temps de parcours correspond à l'ensemble des intervalles de temps individuels dans une opération de transport en commun ou dans le déplacement de passagers. Pour une ligne de bus, différents types d'intervalle de temps peuvent être définis :

- Le **temps de marche**, t_r , est l'intervalle de temps entre le départ d'un arrêt et l'arrivée au prochain arrêt, c.-à-d., le temps en mouvement du véhicule.
- Le **temps à l'arrêt** (« dwell time »), t_s , est le temps où le bus est immobile dans le but d'embarquer et de débarquer des passagers.
- Le **temps de parcours station à station**, T_{si} , est l'intervalle de temps entre les départs de 2 arrêts adjacents. Cet intervalle de temps est l'addition du temps de marche et du temps en arrêt dans un espace i :
- $T_{si} = t_{ri} + t_{si}$
- Le **temps de parcours (en opération)**, T_o , est l'intervalle de temps entre le départ d'un bus d'un terminus jusqu'à son arrivée à l'autre terminus de la ligne. Le temps de parcours est alors la somme des temps de parcours station à station pour tous les espaces i entre les terminus :

$$T_o = \sum_i T_{si} = \sum_i (t_{ri} + t_{si}) \text{ où } T, t \rightarrow \min \text{ ou } s$$

On fait l'hypothèse que le temps en arrêt est de $t_s/2$ aux deux terminus et ce temps est inclus dans le temps de parcours, T_o . Cependant, l'intervalle de temps quand le bus est arrêté au terminus est plus long que $t_s/2$. L'intervalle de temps excédant est le **temps de battement** et il est planifié pour les raisons suivantes :

- Pauses (selon la convention collective).
- Ajustement dans l'horaire (ex : pour maintenir un écart uniforme).
- Récupération du retard possible pendant le parcours (en fonction de la longueur du parcours).
- Temps de retournement du véhicule ou temps de changement de véhicule.

La somme du temps de battement au terminus varie entre 10 et 30% du temps de parcours. Autres que les pauses pendant le temps de battement, les chauffeurs ont le droit à des pauses repas selon la convention collective.

c) Longueur, L

Généralement exprimée en kilomètres, la **longueur d'une ligne** d'autobus est la distance dans une direction entre les deux terminus le long du trajet de la ligne. La **longueur du réseau** est la distance totale le long de tous les trajets desservis par une ou plusieurs lignes. La **longueur totale des lignes** dans le réseau est la somme des distances de toutes les lignes même si elles sont superposées.

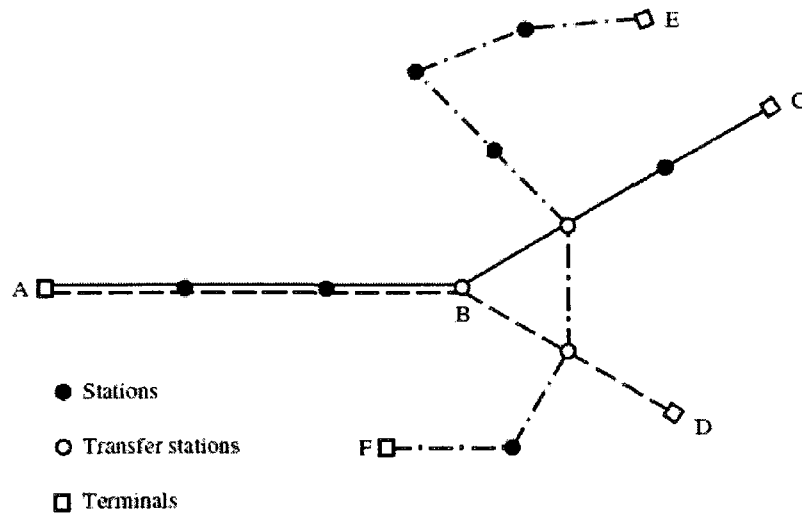


Figure 1.1 Transit line, network, and station concepts. Assuming that each spacing between stations is 1 km long, the values in this network are:

Line lengths: $L_{AC} = 6 \text{ km}$, $L_{AD} = 5 \text{ km}$, $L_{EF} = 7 \text{ km}$

Network length: $L_{AC} + L_{BD} + L_{EF} = 15 \text{ km}$

Total line or route length: $L_{AC} + L_{AD} + L_{EF} = 18 \text{ km}$

Figure 2.3 : Représentation de différents types de longueur sur un réseau de TC (Vuchic, 2005).

d) Vitesse

La **vitesse de marche** est la vitesse moyenne du départ d'un arrêt à l'arrivée au prochain arrêt. Pour un espacement de S_i entre 2 arrêts, cette vitesse est :

$$V_{ri} = \frac{60S_i}{t_{ri}} \quad \text{où } V, S, t \rightarrow \text{km/h, km, min}$$

La vitesse de marche varie selon l'espacement et comme elle n'inclut pas le temps consacré à l'embarquement et au débarquement des passagers, elle n'est habituellement pas calculée pour une ligne, mais pour des distances inter-arrêts.

La **vitesse arrêt à arrêt** est la vitesse moyenne quand le véhicule part de deux arrêts adjacents. Cette vitesse inclut le temps de marche et le temps en arrêt pour un des arrêts.

$$V_{si} = \frac{60S_i}{t_{ri} + t_{si}} = \frac{60S_i}{T_{si}} \quad \text{où } V, S, t, T \rightarrow \text{km/h, km, min, min}$$

La **vitesse commerciale** est la vitesse moyenne (pondérée selon la distance) le long d'une ligne ou d'un segment de ligne d'autobus avec des espacements inter-arrêts j :

$$V_o = \frac{60 \sum_{i=1}^j S_i}{\sum_{i=1}^j T_{si}} = \frac{60L}{T_o} \quad \text{où } V, S, L, t, T \rightarrow \text{km/h, km, km, min, min}$$

La **vitesse du cycle** est la vitesse moyenne pour un parcours complet (aller-retour) incluant le temps de battement :

$$V_c = \frac{60 \cdot 2L}{T} = \frac{120L}{T} \quad \text{où } V, L, T \rightarrow \text{km/h, km, min}$$

Cette vitesse est la plus importante pour l'opérateur, puisqu'elle influence directement le nombre de véhicules requis pour le niveau de service spécifié ainsi que les coûts capitaux et opérationnels.

La vitesse de tournée est la vitesse moyenne d'un véhicule en opération sur une ligne depuis le temps où le véhicule quitte le garage jusqu'à ce qu'il revienne au garage.

$$V_p = \frac{120(k \cdot L + L_d)}{k \cdot T + 2t_d} = \frac{60L_p}{T_p} \quad \text{où } k, L, T, t \rightarrow \text{constant, km, min, min}$$

k : nombre de parcours effectués

L_d : kilométrage mort (distance entre le garage et le point d'injection et entre le terminus et le garage).

L_p : distance parcourue par le véhicule alors qu'il n'est pas dans le garage.

Alors, la vitesse de tournée contient deux voyages à kilométrage mort et un certain nombre de voyages aller-retour sur le réseau d'autobus. Cette vitesse est influencée par l'emplacement du garage par rapport à la ligne et par différentes spécifications dans l'horaire. Elle est alors utilisée pour mesurer l'efficacité de l'assignation des autobus sur une ligne.

2.3 Concepts d'une ligne d'autobus

Une **ligne de transport en commun** est l'infrastructure et le service fourni par des véhicules ou trains qui opèrent selon un horaire préétabli sur un tracé fixe (Vuchic, 2005). Dans le cas d'une ligne d'autobus, les infrastructures sont le réseau de voirie et les arrêts d'autobus et le service est assuré par les autobus et l'horaire des temps de passage.

Une **tournée** commence lorsqu'un autobus quitte le garage et prend fin quand l'autobus revient au garage. Le service d'autobus commence avec un départ à un terminus ou à un point d'injection et se termine à l'autre terminus. Le kilométrage parcouru en début de tournée entre le garage et le point d'injection ainsi que le kilométrage parcouru en fin de tournée entre le terminus et le garage sont considérés comme du **kilométrage « mort »**. Puis, les véhicules sont injectés dans un circuit c.-à-d. le trajet suivi par un autobus identifié par un numéro ou par un nom, le long duquel des passagers sont embarqués et débarqués (Charlotte Area Transit System, 2008b). Un **parcours ou voyage** est le trajet complet (aller-retour) de la ligne d'autobus à parcourir selon les arrêts assignés à la ligne; dans le cas d'une ligne à deux directions, le parcours commence à un terminus et se termine au même terminus. Il peut aussi y avoir des lignes courtes; c'est le cas d'un autobus qui commence son parcours à un point d'injection autre qu'un terminus. Cette mesure est souvent prise pour répondre à un fort achalandage dans une direction ou sur une portion du parcours.

Les **points de contrôle** sont des arrêts qui servent de balise aux chauffeurs pour vérifier leur adhérence à l'horaire planifié. À la STM, la ponctualité des chauffeurs est mesurée selon un objectif d'une minute d'avance et de trois minutes de retard (Société de transport de Montréal, 2007). Arrivé au terminus, le chauffeur prend une pause minimale de 3 minutes ou 10 % du temps de parcours, ce qui est considéré comme le **temps de battement**. Une fois le temps de battement complété, il y a trois

alternatives : il continue sur sa tournée sur la même ligne, il continue sa tournée sur une autre ligne ou il finit sa tournée et revient au garage (Figure 2.4).

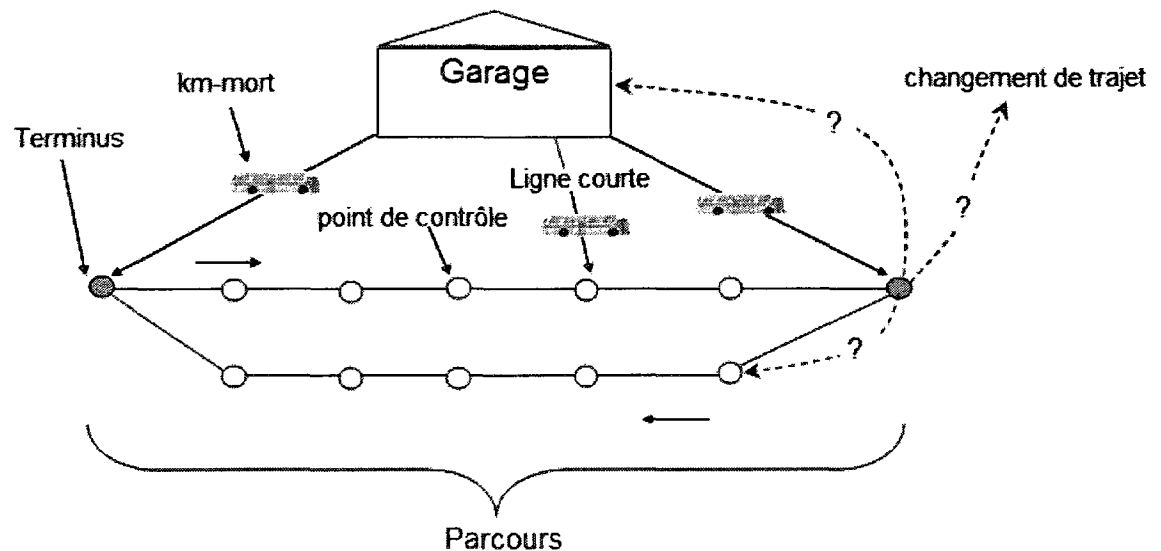
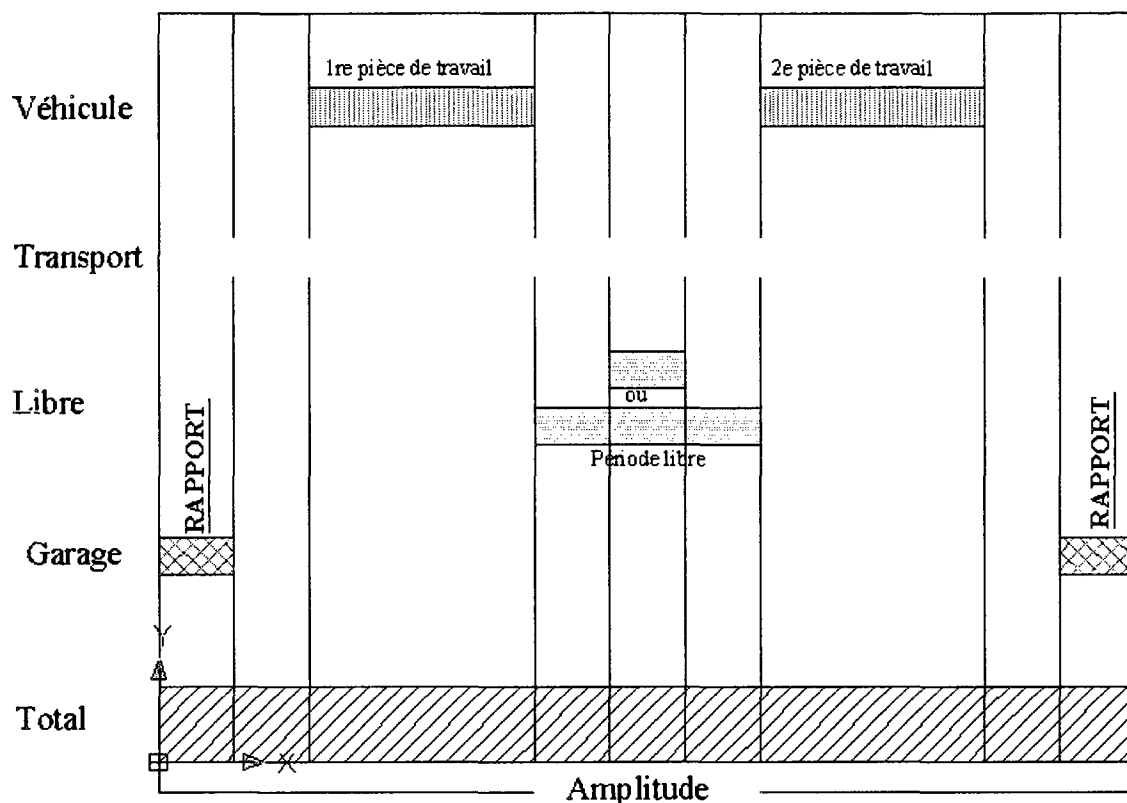


Figure 2.4 : Représentation des concepts de base d'une ligne d'autobus

La Figure 2.5 montre les activités dans la journée de travail d'un chauffeur. Le quart de travail commence au garage avec la rédaction d'un rapport. Puis le chauffeur prend la direction du point d'injection de la ligne qu'il doit desservir. Cette activité s'appelle le temps de transport. Ensuite, le chauffeur commence sa pièce de travail avec des trajets à parcourir sur une ou plusieurs lignes. La tournée débute quand le chauffeur sort du garage et prend fin lorsqu'il revient au garage, ce qui équivaut à la somme du temps de transport et d'une pièce de travail. Selon la convention collective, il y a un temps de repos alloué entre les pièces de travail. Le chauffeur termine son quart de travail avec la rédaction d'un autre rapport. L'ensemble des activités mentionnées ci-haut durant un quart de travail est l'amplitude de travail.



2.4 Mesures de la performance d'un système de TC

Dans le sens large du terme, les mesures de performance ou indicateurs de performance sont des outils qui mesurent et surveillent le travail performé et le résultat accompli. Elles décrivent ce qui doit être mesuré et les méthodes de mesure (Russo, 2001). Les indicateurs de performance permettent donc de caractériser un système de TC et cette section sera consacrée à identifier les indicateurs de performance pour un corridor de TC. Manheim (1979) a défini la performance du système de transport en commun (T) comme une fonction dépendante des ressources utilisées (R), du volume d'usagers (V) et du niveau de service (N) (Figure 2.6).

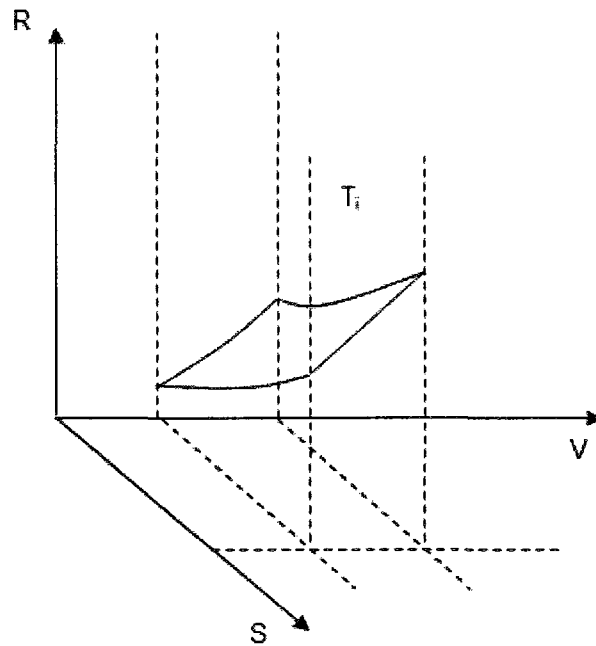


Figure 2.6 : Fonction de performance du TC selon Manheim (1979)

La performance du système de TC peut être vue de la perspective de l'exploitant ou de l'utilisateur. Pour l'exploitant, l'opération du TC inclut des activités telles que la planification des horaires, l'assignation des chauffeurs et des tournées, la supervision des véhicules, la collecte des tarifs et l'entretien du système. Le service de TC est le système tel que perçu par les usagers ou les usagers potentiels du TC. Selon Vuchic (2007), les caractéristiques d'un système de transport en commun sont classifiées en 4 catégories (Figure 2.7).

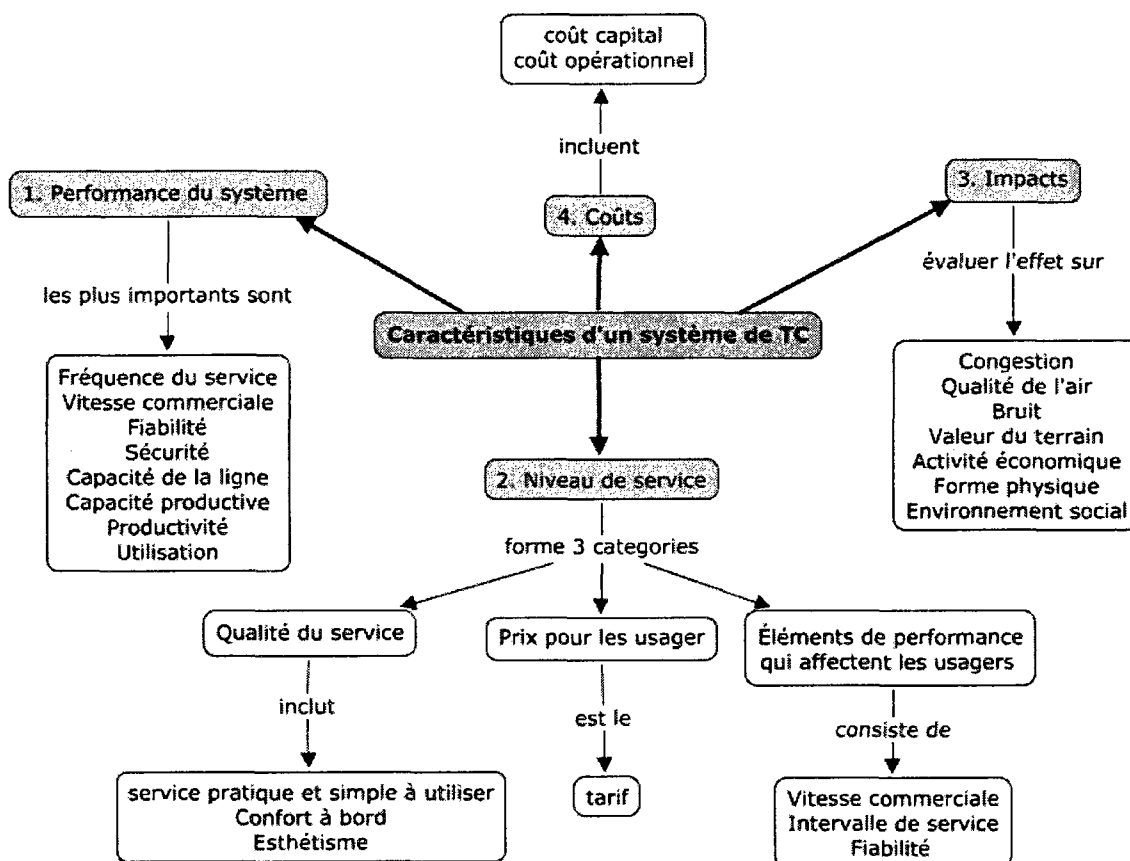


Figure 2.7 : Les 4 catégories de la caractérisation du service de TC (Vuchic, 2005)

2.4.1 Indicateurs de performance pour le transport en commun (IPTC)

Cette section est une revue de littérature sur les indicateurs de performance du TC. Deux sources importantes à ce sujet sont le Transit and Quality of Service Manual (TRB, 2003) et le National Cooperative Highway Research Program (TRB, 1999). Le TCQSM fournit aux agences de TC les outils pour mesurer l'accessibilité au TC et la qualité du service du point de vue des passagers. Voici quelques définitions fournies par le TCQSM :

- Indicateur de performance du TC : facteur quantitatif ou qualitatif utilisé pour évaluer un aspect particulier du service de TC.
- Qualité de service : performance globale mesurée ou perçue du service de TC du point de vue du passager.

- Mesure du service de TC : mesure de performance quantitative qui explique le mieux un aspect particulier du service de TC et représente le point de vue du passager. Cette mesure est aussi la mesure de l'efficacité du service.

Le TCQSM soutient que la qualité du service de TC dépend de la disponibilité et de la commodité du service qui à leur tour dépendent des décisions des agences de TC. Ceci fait référence à des notions d'accès (couverture du service) et d'accessibilité au TC qui seront explorés dans le chapitre 5. Le TCQSM considère que la distance de couverture du service est de 400 mètres à partir d'un arrêt d'autobus et de 800 mètres à partir d'une station de train ou de SRB. Fielding (1987) illustre les concepts de la performance du TC avec un triangle où le service entrant provoque un service sortant et une consommation de service (Figure 2.8).

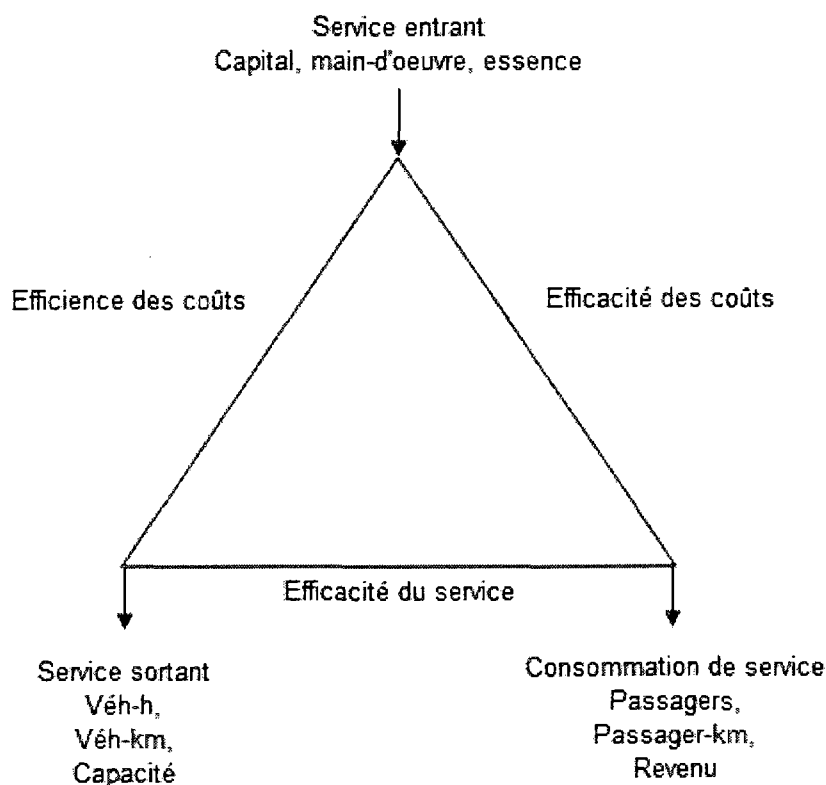


Figure 2.8 : Les concepts de la performance du TC selon Fielding (1987)

2.4.2 Catégorisation des indicateurs de performance à différents niveaux

Les mesures de performance peuvent être exprimées à quatre niveaux différents (Bertini & El-Geneidy, 2003) : a) niveau du système, b) niveau de la ligne d'autobus, c) niveau du segment et d) niveau des points (arrêts).

Indicateurs de performance au niveau du réseau

Un IPTC au niveau du système peut inclure toutes les données concernant l'achalandage, les embarquements, le revenu et les dépenses du système au complet. Les indicateurs au niveau des lignes d'autobus peuvent être agrégés pour la totalité du réseau de transport en commun.

Indicateurs de performance au niveau de la ligne

Les indicateurs de performance au niveau de la ligne sont souvent importants pour les exploitants. Ils incluent (Levinson, 1991; TRB, 2003):

- Nombre d'heures de service;
- Nombre de voyages;
- Nombre de miles parcourus;
- Nombre de passagers transportés;
- Nombre total d'embarquements et de débarquements;
- Nombre moyen de passagers dans un voyage;
- Nombre de passagers par km;
- Vitesse moyenne;
- Nombre de chauffeurs.

La disponibilité ou l'accès au transport en commun est une mesure importante de la qualité du service (TRB, 2003). L'accès est mesuré par la distance à parcourir pour atteindre un arrêt d'autobus. Par exemple, la proportion de la population ayant accès au transport en commun est la superficie couverte dans un bassin de 400 m à partir de

l'arrêt. Une mesure systématique comme la couverture du service peut permettre d'ajouter du service à des zones où il y a une croissance démographique. Des caractéristiques comme le revenu du ménage peuvent être utilisées pour estimer l'accessibilité du réseau par différents segments de population. Ceci peut ensuite être appliqué sur la totalité du système pour déterminer comment ajouter du service dans les zones mal desservies.

La vitesse et le temps de parcours du service influencent l'attractivité, les coûts et l'efficacité du service. Ils donnent une description importante de la performance du système pour le processus de la planification des transports (Levinson, 1991). La vitesse moyenne et le temps de parcours moyen sont des mesures critiques pour l'agence et l'utilisateur. Il est possible d'examiner la vitesse moyenne de différentes façons. Le trajet d'un autobus peut être illustré dans un diagramme espace-temps, où le temps est sur l'axe x et la distance sur l'axe y; alors, la pente à n'importe quel point sur la courbe représente la vitesse. Il est ainsi possible de voir la variation de la vitesse pour chaque véhicule par rapport au temps et à la distance (Bertini & El-Geneidy, 2003). La vitesse moyenne peut être calculée pour tout le jour et la vitesse moyenne des périodes de pointe peut être comparée à celle des périodes creuses (Levinson, 1991; TRB, 2003). On peut, par exemple, calculer la vitesse moyenne en début de matinée (avant 6h00), en période de pointe du matin (entre 6h00 et 9h00), en milieu de jour (entre 9h00 et 3h00), en période de pointe du soir (entre 3h00 et 6h00) et pendant le soir et la nuit (après 6h00) (Bertini & El-Geneidy, 2003).

Le temps en arrêt de l'autobus (dwell time) et le mouvement des passagers accompagnés par le temps en arrêt sont des indicateurs de performance très importants puisqu'ils expliquent souvent le retard d'un autobus (Bertini & El-Geneidy, 2003). Le temps en arrêt peut être illustré dans un diagramme espace-temps pour identifier les arrêts problématiques.

Indicateurs de performance au niveau du segment

Il est ici question de segment de trajet, c'est-à-dire, le ou les liens entre deux arrêts d'une ligne de transport en commun. Les mêmes mesures de performance utilisées au niveau de la ligne peuvent être utilisées au niveau du segment (Bertini & El-Geneidy, 2003).

Indicateurs de performance au niveau d'un point

De la perspective de l'utilisateur, la performance au niveau de l'arrêt est perçue en premier. Les retards au niveau des points peuvent aussi avoir des répercussions au niveau du système puisque les retards aux arrêts sont difficilement rattrapables surtout dans des conditions de congestion (Bertini & El-Geneidy, 2003). Il est possible d'examiner différents indicateurs au niveau d'un point (Levinson, 1991):

- Le nombre de passages planifiés et réels à ce point
- Le pourcentage d'autobus passant à ce point dans un intervalle de temps
- Le nombre de passagers transportés
- Pour un intervalle maximum de 30 minutes :
 - L'intervalle de passage;
 - La déviation moyenne;
 - L'écart type;
 - Le nombre de passages de véhicules;
 - Nombre d'embarquements et de débarquements;
 - Le nombre de passagers par véhicule.

La comparaison des temps de passage planifiés et des temps de passage réels permet d'évaluer l'écart entre les autobus. En jumelant les temps de passage aux données d'embarquement et de débarquement, on peut évaluer la possibilité de congestion ou de formation de peloton d'autobus. Dans le cas de formation de peloton, le premier autobus embarque beaucoup plus de passagers que les suivants et prend ainsi plus de temps en arrêt que les autres.

2.5 Représentation visuelle avec GIS

Un système d'information géographique est un outil informatique qui permet de gérer et de visualiser des données géoréférencées. Le rôle du SIG est de faire une représentation plus ou moins réaliste de l'environnement spatial en se basant sur des objets graphiques tels que des points, des lignes, des polygones ou des maillages (Wikipedia, 2008). À ces objets sont associés des attributs contextuels qui peuvent être affichés sur une carte ou consultés par l'utilisateur. Un SIG comporte plusieurs composantes, dont le logiciel, les données et l'utilisateur. Ce dernier doit acquérir un savoir-faire pour bien utiliser un SIG. Il doit avoir une très bonne connaissance des données et il doit aussi comprendre les opérations effectuées par le logiciel. Il faut mentionner que les SIG ne sont pas limités à la visualisation de données, mais peuvent aussi créer des données. Il est possible de créer des objets, d'ajouter des attributs, de joindre des données, de faire des analyses statistiques et faire plusieurs autres opérations selon le logiciel utilisé et le savoir-faire de l'utilisateur.

Dans le domaine des transports, les SIG peuvent être entre autres utilisés pour représenter un réseau routier ou un réseau de TC, pour représenter les volumes de circulation ou de passagers sur différents tronçons d'un système, pour représenter les caractéristiques sociodémographiques d'une clientèle, etc. Par exemple, la Figure 2.9 illustre la représentation SIG d'un corridor de transport.



Figure 2.9 : Exemple de visualisation d'un territoire et d'une zone tampon sur SIG (Esri Canada, 2006)

Comme mentionné précédemment, les objets dans un SIG ont tous une référence géographique. Deux systèmes de coordonnées géographiques sont principalement utilisés dans ce projet, le « Modified Transverse Mercator » (MTM) et le « Universal Transverse Mercator » (UTM). Le système UTM est une projection avec des coordonnées rectangulaires en mètres qui divise le monde en 60 fuseaux dont chaque fuseau couvre 6 degrés de longitude. Le territoire québécois est couvert par les zones 17 à 21 et la ville de Montréal se trouve dans le fuseau 18 (Figure 2.10). Le système MTM a aussi des coordonnées rectangulaires en mètres et chaque fuseau couvre 3 degrés de longitude. La ville de Montréal est située dans le fuseau 8. La superposition des deux systèmes pour le territoire québécois est illustrée dans la Figure 2.11. Deux datums sont utilisés en Amérique du Nord, le NAD27 et NAD83 (North American Datum), qui sont des réseaux de repères géodésiques distribués sur le territoire dont les positions précises sont connues en latitude et longitude (St-Onge, 2000).

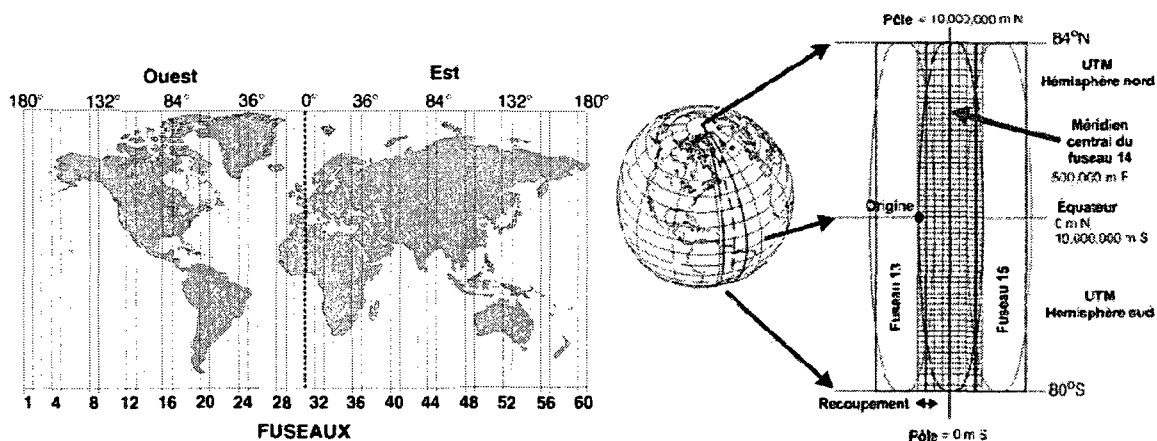


Figure 2.10 : Illustration des fuseaux pour le système UTM (St-Onge, 2000)

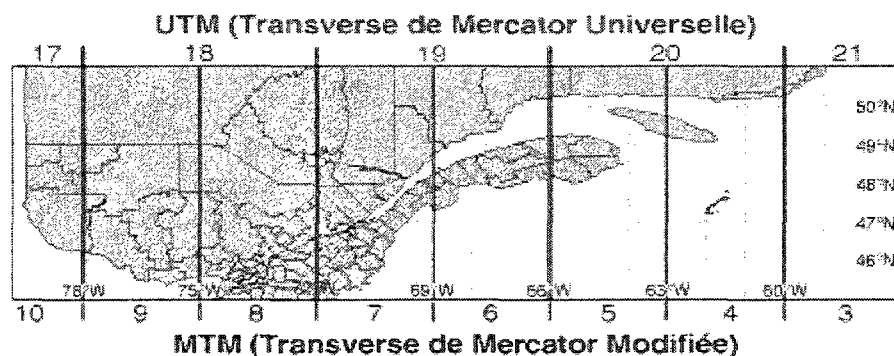


Figure 2.11 : Superposition des fuseaux du système UTM et MTM (St-Onge, 2000)

2.6 Le corridor Saint-Michel

Le rôle d'un corridor de TC est de déplacer le plus grand nombre de personnes vers les grands générateurs de déplacements. Ces générateurs peuvent inclure des pôles d'emplois, des institutions scolaires, des centres d'achat ou d'autres établissements attirant un grand nombre de déplacements. Les points de correspondance ne sont pas nécessairement des générateurs, mais peuvent avoir un effet similaire en attirant un grand nombre de déplacements empruntant le corridor. Il s'agit alors d'identifier les lignes d'autobus qui déplacent le plus grand nombre de personnes dans un jour moyen de la semaine. Les données d'achalandage journalier de la STM (Tableau 2.1) démontrent que la ligne 67 attire le plus de déplacements. En guise d'exemple, le

corridor Saint-Michel sera utilisé pour l'application des procédures mises à l'avant dans le cadre de ce projet et pour l'analyse des résultats.

Tableau 2.1 : Les lignes d'autobus les plus achalandées de la STM (Société de transport de Montréal, 2007)

Ligne	Nom de(s) rue(s)	Achalandage (déplacements)
67	Saint-Michel	38900
121	Sauvé/Côte-Vertu	36400
139	Pie-IX	34500
535	Voies réservée du Parc/Côte-des-Neiges	32100
69	Gouin	27400



Figure 2.12 : Localisation géographique de la ligne 67

Chapitre 3 : Caractérisation du service

Ce chapitre consiste à caractériser le service de TC d'un point de vue opérationnel. Il s'agit alors de déterminer les coûts du service pour l'exploitant et les usagers. Les concepts importants et leurs attributs ainsi que les indicateurs de performance ont été détaillés dans la section précédente et ils seront appliqués dans cette section. Comme expliqué dans la section précédente, il faut étudier ces indicateurs à différentes résolutions. Dans le contexte des corridors d'autobus, le service sera caractérisé au niveau de la ligne, des segments (distances inter-arrêts) et des points (arrêts).

Les données de temps de passage sont utilisées pour caractériser le service d'autobus sur les corridors. Ces données nous donnent des informations temporelles (temps de passage aux arrêts) et des informations spatiales (coordonnées géographiques des arrêts et des points de contrôle, nom des rues et distance inter-arrêts). Une revue de littérature permettra de découvrir les différentes méthodes existantes de caractérisation à partir de ces attributs. La prochaine section résume les notions importantes liées à la caractérisation du service de TC.

3.1 Revue de littérature

Fréquence et intervalle

Les temps de passage planifiés sur une ligne d'autobus sont déterminés à partir de deux facteurs : la demande et la qualité du service. La fréquence des passages est dérivée à partir du volume de passagers à bord des autobus. Pour une période de temps prédéterminée, le nombre maximum de passagers à bord pour chaque parcours est utilisé pour déterminer la fréquence du passage. La fréquence de passage planifiée est aussi une fonction de la capacité des autobus et du coefficient d'occupation. Alors, le nombre de véhicules nécessaires pour une période de temps est basé sur un facteur d'occupation maximal (F_j) (Ceder, 2007):

$$F_j = \frac{\overline{P_{mj}}}{\gamma_j \bullet c}$$

Où $\overline{P_{mj}}$ est la moyenne du nombre maximum de passagers à bord pour une période j , c représente la capacité d'un véhicule (le nombre de sièges plus le nombre maximum de personnes pouvant être debout) et γ_j est le coefficient d'occupation durant la période j . Le produit de la capacité et du coefficient d'occupation ($\gamma_j \bullet c$) équivaut à l'occupation désirée dans le véhicule pour la période j (d_{oj}). Le coefficient d'occupation est déterminé par le compromis entre les coûts engendrés aux usagers (temps d'attente, temps de parcours, confort) et les coûts engendrés à l'exploitant (véh-h). En suivant cette logique, le coefficient d'occupation est plus élevé pendant les périodes de pointes que pendant les périodes creuses.

Diagramme espace-temps

Les diagrammes espace-temps sont utilisés dans plusieurs domaines pour représenter des événements spatio-temporels et, dans le cas d'un service d'autobus, ils montrent la position d'un véhicule selon le l'heure du jour. La puissance de ces diagrammes vient du fait qu'ils représentent aussi une troisième dimension, la vitesse. Le premier dérivé d'une courbe dans un graphique espace-temps représente la vitesse de l'autobus. La Figure 3.1 représente la position (s) d'un véhicule en fonction d'un temps (t) pour un parcours aller-retour sur une ligne d'autobus. On y voit clairement les temps inter-arrêts (t_r), les temps aux arrêts (t_s) et les temps de battement ($t't$ et $t''t$). Évidemment, t_s est un temps théorique et les vrais temps en arrêt reflètent le nombre d'embarquements et de débarquements. On voit clairement que la vitesse entre deux points d'un trajet est égale à la pente (premier dérivé) de la ligne droite entre ces points. La Figure 3.1 montre différents calculs de vitesse selon ce qui a été expliqué dans la section 2.3. On peut aussi illustrer la vitesse sur un graphique espace-temps avec différentes couleurs (Figure 3.2)

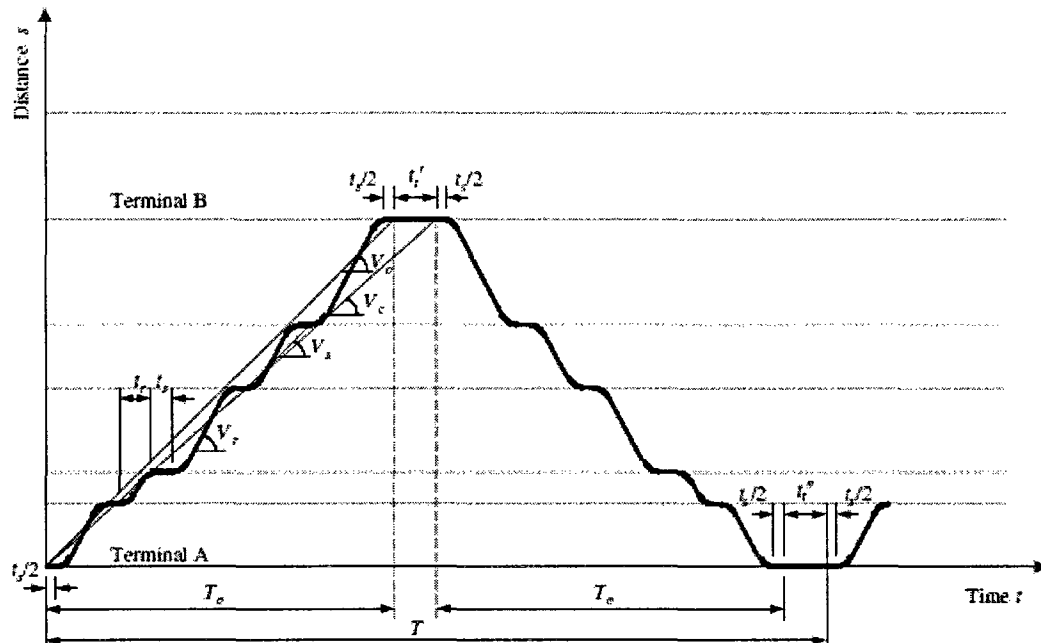


Figure 3.1 : Illustration d'un parcours d'autobus dans un diagramme espace-temps (Vuchic, 2005)

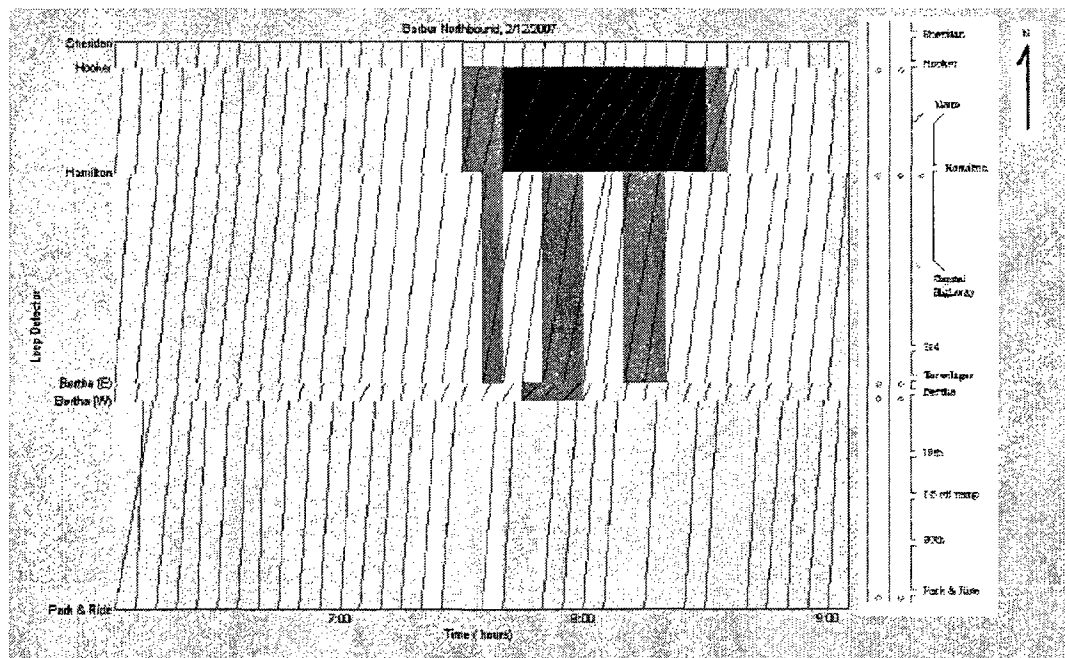


Figure 3.2 : Diagramme espace-temps où la vitesse est catégorisée avec différentes couleurs (Wolfe & Berkow, 2007)

Certains diagrammes espace-temps représentent l'espace en deux dimensions (x et y). Ceci est utile pour faire des illustrations avec des coordonnées géographiques. La Figure 3.3 démontre un exemple de représentation spatio-temporelle en 3D. Cette représentation n'est pas efficace pour illustrer une ligne d'autobus puisque les trajets des lignes d'autobus sont généralement fixes, il est alors redondant d'illustrer les coordonnées géographiques d'une ligne plusieurs fois. Les représentations 3D sont plus adaptées pour illustrer des chaînes de déplacement puisque leurs coordonnées géographiques varient selon le déplacement.

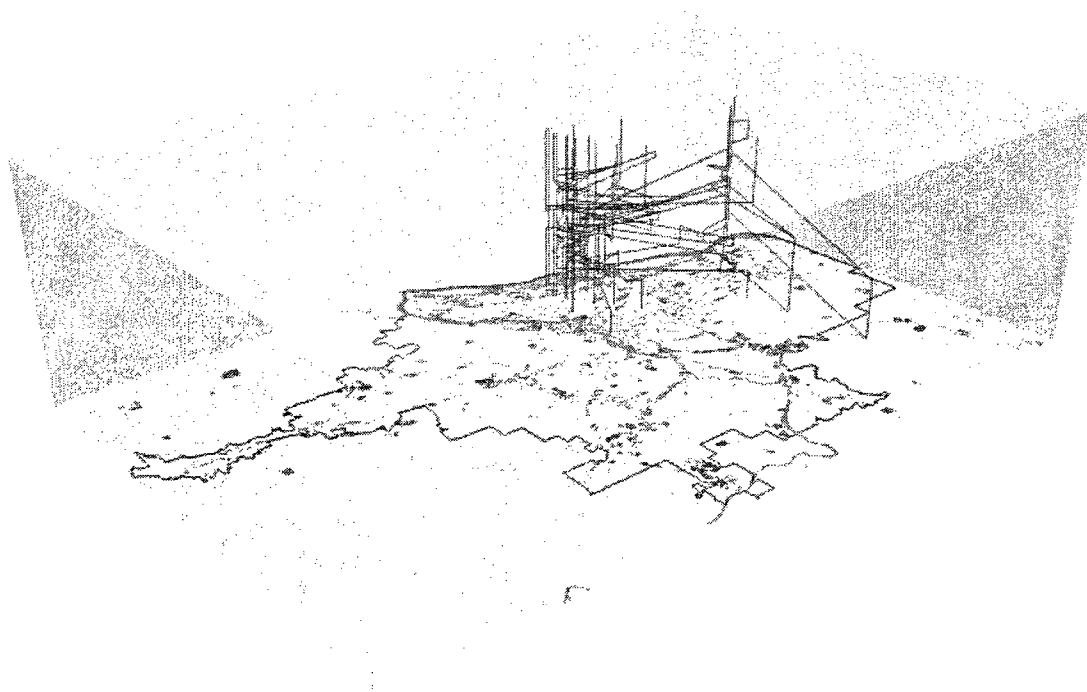


Figure 3.3 : Représentation spatio-temporelle des chaînes de déplacement (Kwan, 2005).

D'autres illustrations graphiques incluent :

- Le nombre de départs pour des intervalles de 15 minutes. On peut avoir le nombre de véhicules-kilomètres parcourus en multipliant le nombre de départs par la distance du trajet.
- Le temps de parcours pour chaque véhicule selon l'heure du jour. La somme des temps de parcours donne le nombre de véhicules-heures.

- Le nombre de véhicules requis pour l'opération de la ligne (flotte) à des intervalles de 15 minutes.

3.2 Méthodologie

Le schéma méthodologique de la caractérisation du service de transport en commun est divisé en quatre parties (Figure 3.4). L'exploration et la préparation des données consistent à structurer la base de données et à modifier son format pour pouvoir en faire une utilisation efficace. Ensuite, il est question de déterminer la performance du service au niveau de la ligne, des segments et des arrêts selon les indicateurs identifiés et définis précédemment. La prochaine étape consiste à illustrer les résultats de façon visuelle surtout en exploitant les aspects temporel et spatial des résultats. Finalement, il s'agit d'analyser les résultats sous différents angles, notamment pendant les périodes de pointe et les périodes creuses.

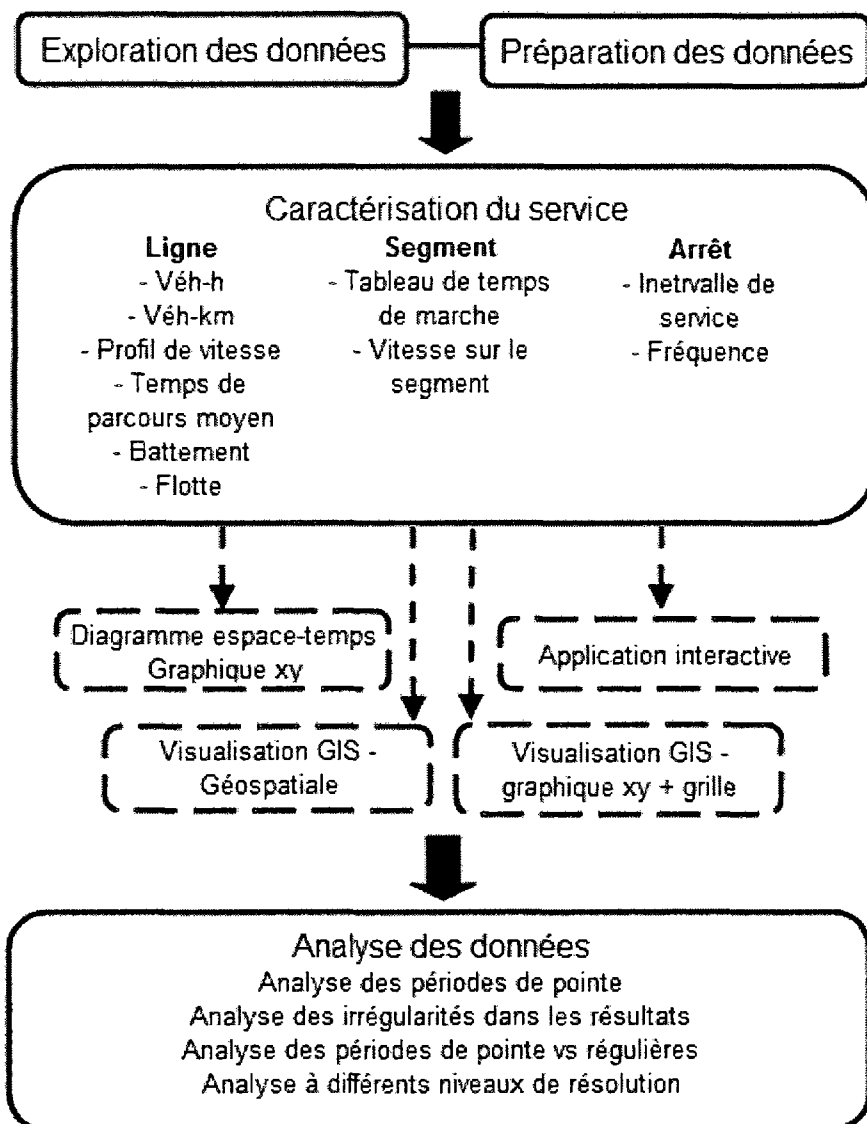


Figure 3.4 : Méthodologie empruntée pour la caractérisation du service d'autobus

3.3 Données

Les données sont les temps de passage d'autobus valide pour le 29 janvier 2008. Deux bases de données sont disponibles. La première est une description des arrêts sur la ligne et contient notamment le numéro de la ligne, la direction du parcours, la séquence des arrêts, les données spatiales des arrêts, la localisation des points de

contrôle (lieux) et le nom des rues où se trouve l'arrêt. Le Tableau 3.1 synthétise les champs retrouvés dans la base de données.

Tableau 3.1 : Description des champs dans la base de données des temps de passage

CHAMPS	DESCRIPTION
Ligne	Numéro de ligne
Direc	Direction de la ligne (nord, sud, est, ouest)
Trace	Code de tracé (JO: Jour, LC : ligne courte)
Seq	Numéro séquentiel des arrêts
Arret	Numéro d'arrêt (système SIGGAR)
Dist	Distance inter-arrêts
Distc	Distance cumulée
Xcoord	Coordonnée X (système MTM) (centre de l'intersection) des arrêts
Ycoord	Coordonnée Y (système MTM) (centre de l'intersection) des arrêts
Telephone	Numéro TELBUS
Lieu	Point de régulation pour les chauffeurs (horaires)
D_f	Code de début/fin d'un parcours
M_d	Code de montée/descente pour les arrêts
Nom_fran	Description de l'arrêt (nom des rues de l'intersection)
Nom_liste	Période de l'année (08J: Janvier 2008)

La deuxième base de données contient les temps de passage à chaque arrêt pour un jour de la semaine. Les temps de passage sont planifiés pour les points de contrôle et ensuite interpolés linéairement pour les autres arrêts. Ils sont en format HMM, par exemple 745 équivaut à 7 h 45. Ce format n'est évidemment pas adapté pour faire des calculs, il faut alors modifier les temps en format heure avec décimales pour pouvoir ensuite faire des opérations mathématiques. Comme le format original des données est à la minute près, certains arrêts consécutifs, dont le temps de parcours est moins d'une minute, ont le même temps de passage. Pour ne pas avoir le même temps de passage pour des arrêts successifs, il faut changer le format des temps en heure avec décimales pour les points de contrôle, puis interpoler les temps pour les autres arrêts. Il faut aussi organiser les temps de passage pour qu'ils suivent un ordre chronologique logique. Dans le cas où il y aurait une ligne courte, c'est-à-dire des voyages dont le point d'injection est autre que le premier arrêt de la ligne, il faut s'assurer que les temps de passage de la ligne courte sont séparés des autres parcours. La Figure 3.5 résume la procédure de préparation des données avant de commencer à faire des calculs. Les caractéristiques des données traitées sont résumées dans le Tableau 3.2.

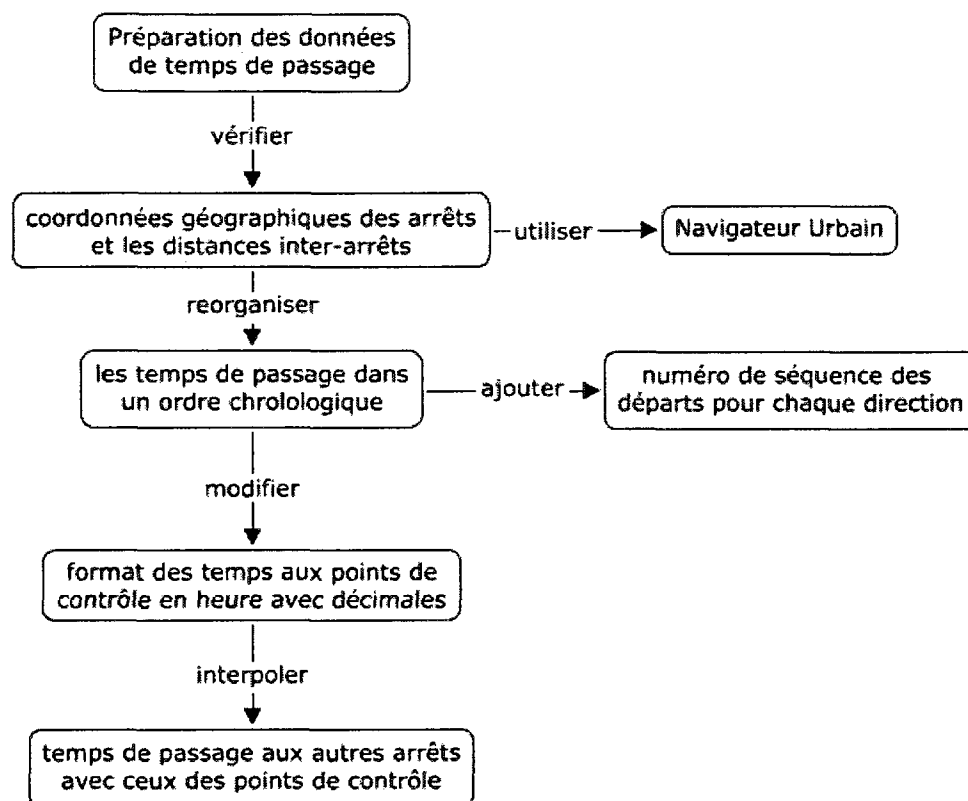


Figure 3.5 : Procédure de préparation des données de temps de passage

Tableau 3.2 : Caractéristiques des bases de données de temps de passage de la ligne 67. Les données de la ligne courte sont entre parenthèses.

Direction	BD initiale			BD traitée		
	Nord	Sud	Total	Nord	Sud	Total
Enregistrements	8034 (17)	7440	15491	8034	7254	15288
Départs	206 (1)	186	393	206	186	392
Arrêts	39 (17)	40	79	39	39	78
Lieux	6 (4)	6	12	6	6	12
Distance (m)	9009 (3882)	9653	18662	9229	9653	18882

Conversion des coordonnées de MTM à UTM

Les coordonnées des arrêts d'autobus sont dans le système québécois MTM, ce qui n'est pas compatible avec d'autres sources de données telles que les données géographiques de recensement qui sont en latitude et longitude. Le logiciel fGIS permet de convertir du système latitude/longitude au système UTM et vice-versa, mais le système MTM n'est pas intégré dans l'outil de conversion du logiciel. Le système UTM est aussi avantageux puisqu'il permet de facilement calculer la distance entre deux points avec la règle de Pythagore, contrairement au système lat/long. Alors, le système UTM est utilisé dans le cadre de ce projet. Une vérification de la validité des conversions est faite en comparant les coordonnées des arrêts à celles du réseau de voirie (Figure 3.6).

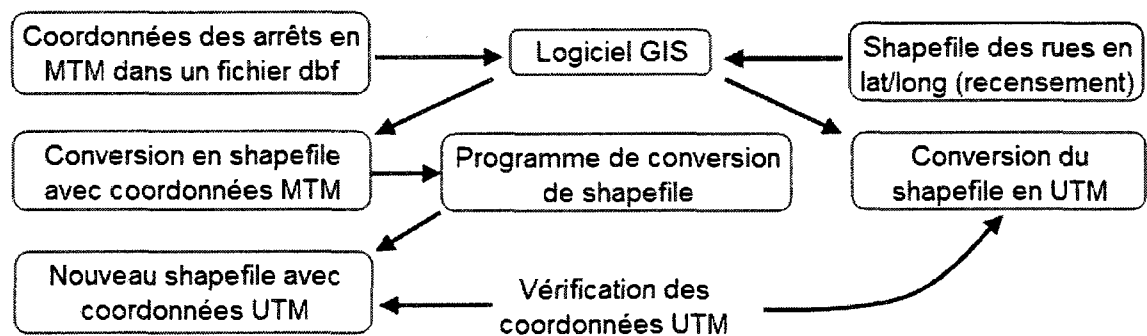


Figure 3.6 : Procédure de conversion des coordonnées de MTM à UTM

Analyse à différent niveau de résolution

Comme suggéré par Bertini (2003), l'étude du service de transport en commun des corridors peut être faite au niveau des lignes, des segments de ligne et des arrêts d'autobus. La segmentation virtuelle des lignes est faite selon les points de contrôle, car, selon l'horaire planifié, les temps de parcours entre les arrêts d'un même segment sont une fonction linéaire de la distance et la vitesse commerciale est constante pour un même segment.

Application Excel

Le traitement des données est automatisé par une application Excel. Les temps de passage aux points de contrôle peuvent être changés ou un nouvel horaire peut être

inséré sans devoir refaire la procédure de traitement des données. Cette procédure a été validée en insérant les temps de passage approximatifs du métro sur la ligne 2 entre les stations Henri-Bourassa et Berri-UQAM. Les données du métro ont été recueillies du site web de la STM.

3.4 Résultats

3.4.1 Distances de parcours et caractéristiques spatiales

La représentation spatiale d'une ligne d'autobus permet de clairement visualiser un ensemble de données géographiques qui seraient autrement difficiles à analyser. Par exemple, la représentation spatiale d'une ligne de transport en commun peut se faire sur SIG avec des points et des lignes qui contiennent chacun des caractéristiques spatiales telles que les coordonnées géographiques et les distances inter-arrêts. La représentation spatiale se résume donc à la visualisation d'une série d'objets (nœuds, liens, polygones) et à l'intégration de leurs attributs (Figure 3.7).

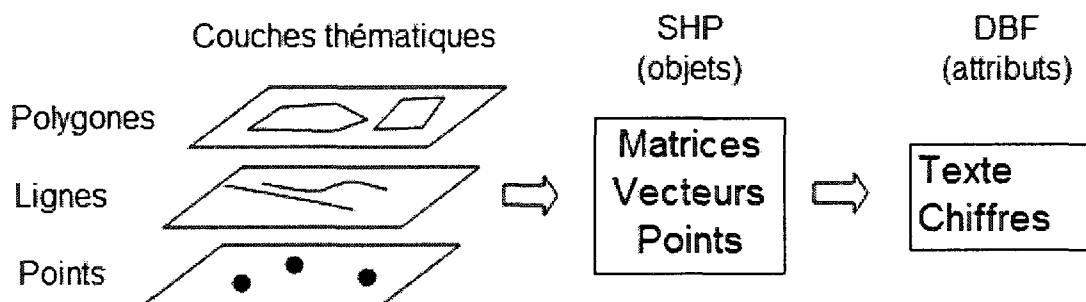


Figure 3.7 : Représentation d'entités points, lignes et polygones dans un SIG.

La Figure 3.8 permet de visualiser les arrêts et les points de contrôle de la ligne 67. La représentation spatiale permet aussi de transmettre de l'information sur l'environnement des objets tel que les découpages territoriaux. Par exemple, elle permet de connaître les secteurs municipaux dans lesquels le service opère ou de voir les autres lignes d'autobus qui sont en interrelation avec le corridor et d'identifier les points de correspondance (Figure 3.9). Comme la représentation géospatiale utilise deux dimensions (x,y) pour décrire les caractéristiques spatiales, elle limite l'ajout d'autres dimensions non spatiales. Dans certains cas, il est donc préférable de réduire

la composante spatiale à une seule dimension (Figure 3.8) comme dans l'illustration de graphiques espace-temps.

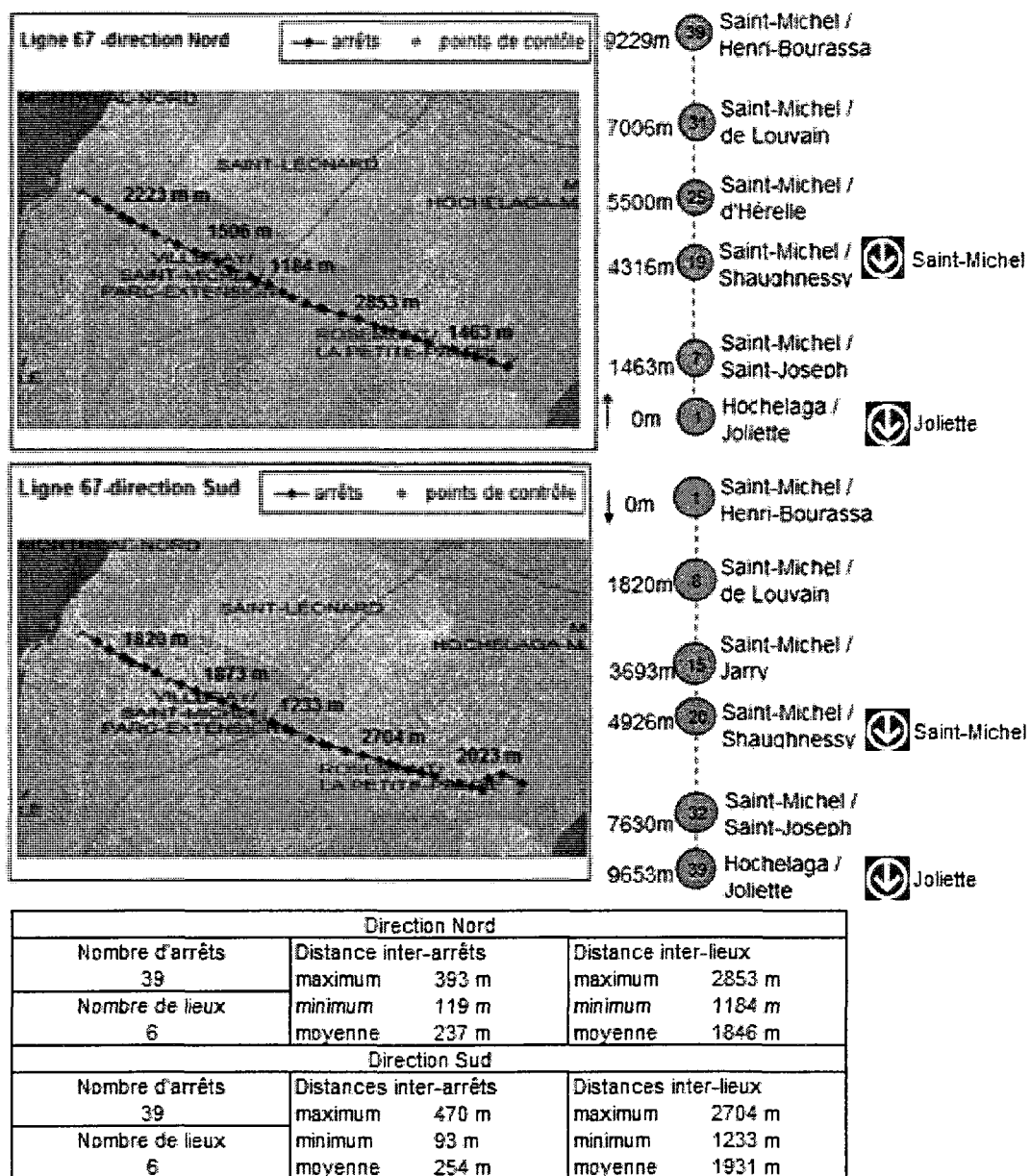


Figure 3.8 : Points de contrôle dans le trajet de la ligne 67

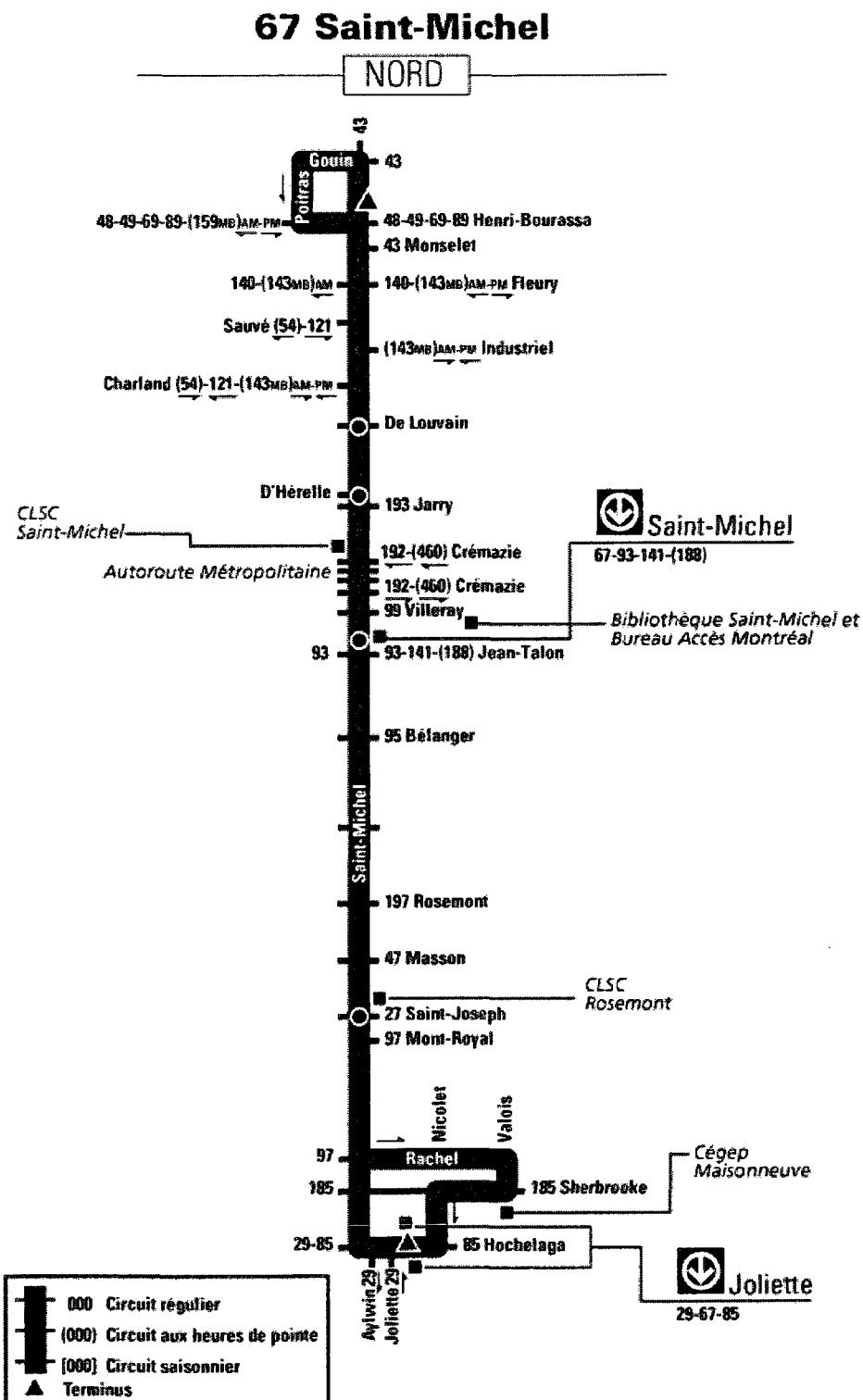
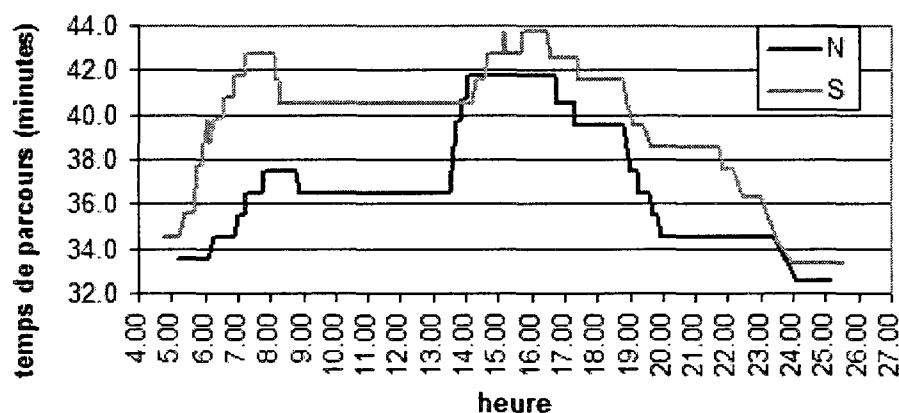


Figure 3.9 : Trajet de la ligne 67 avec les points de correspondance

3.4.2 Temps de parcours

Le temps de parcours planifié d'un autobus peut varier selon diverses variables telles que l'achalandage (embarquements et débarquements) et les conditions de circulation. Les temps de parcours de la ligne 67 sont calculés selon l'horaire du 29 janvier 2009 dans chaque direction selon l'heure de départ du premier arrêt et l'heure d'arrivée au terminus et n'incluent pas le temps de battement (Figure 3.10). Avec un trajet plus long de 424 mètres, le parcours en direction sud prend, en moyenne, 2.8 minutes de plus à compléter que celui en direction nord. L'analyse des temps de parcours selon l'heure du jour permet de constater une pointe le matin et une autre pointe l'après-midi. Les temps de parcours sont particulièrement élevés en direction nord entre 13 h 53 et 14 h 34 et sont même plus élevés que ceux en direction sud.



Direction	nb départs	distance (m)	Temps de parcours (minutes)				
			moyenne	minimum	maximum	6h à 9h	15h à 18h
Nord	206	9229	37.9	32.5	41.7	36.3	41.1
Sud	186	9653	40.7	33.3	43.8	40.9	42.2

Figure 3.10 : Temps de parcours selon la l'heure du jour

Ensuite, la ligne est segmentée selon les points de contrôle (Figure 3.8) et les temps de parcours sont étudiés à ce niveau (Figure 3.11). La Figure 3.11 illustre la longueur des segments et les statistiques relatives à leur temps de parcours. Il est ainsi clair que les temps de parcours des segments ne sont pas nécessairement proportionnels à leurs distances. Par exemple, le segment entre la rue Joliette et Saint-Joseph en direction nord a un plus grand temps de parcours que le segment entre la rue Hérèle et Louvain même si la distance de ce dernier est plus grande (Figure 3.11).

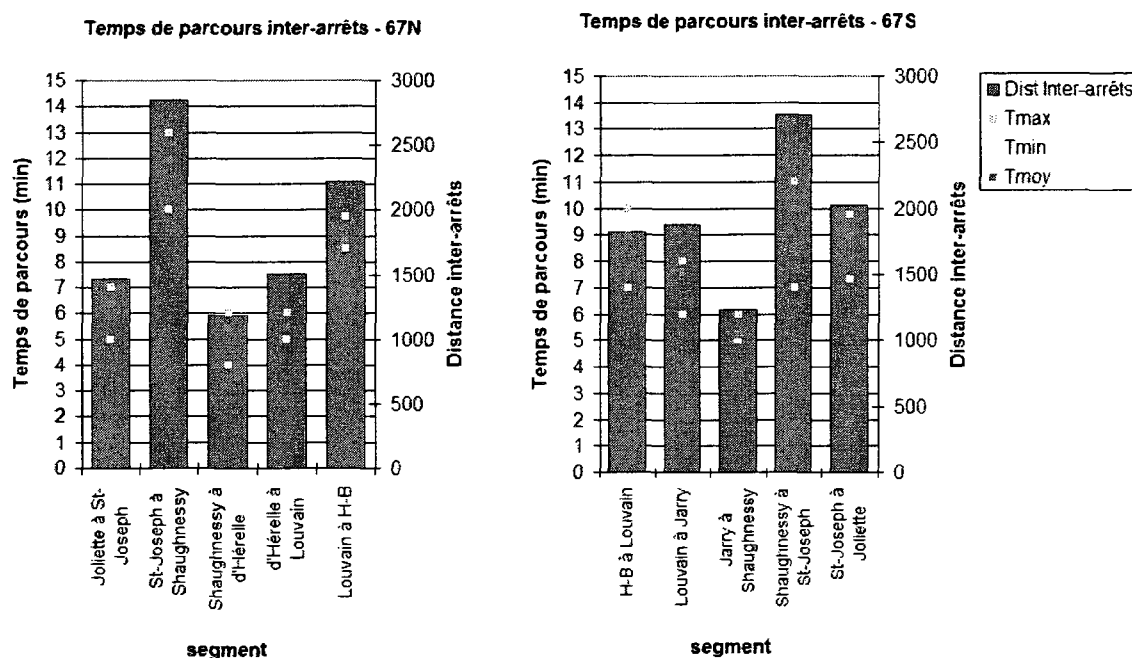


Figure 3.11 : Temps de parcours selon les segments de ligne

3.4.3 Les coûts pour l'opérateur du service

Le nombre de véhicules-kilomètres est un des indicateurs qui permet de mesurer les coûts en ressources pour l'opérateur du service. Il permet surtout d'estimer les coûts associés à l'opération d'un véhicule tels que l'entretien et l'essence. Le nombre de véhicules-kilomètres est la somme des distances parcourues par les véhicules pendant un intervalle de temps donné. Dans le cas de la ligne 67, le nombre de véhicules-kilomètres cumulés selon l'heure du jour est illustré par la Figure 3.12. Une pente plus prononcée indique un plus grand nombre de départs pendant ces heures; ainsi on peut clairement identifier les périodes de pointe du matin en direction sud et de l'après-midi en direction nord.

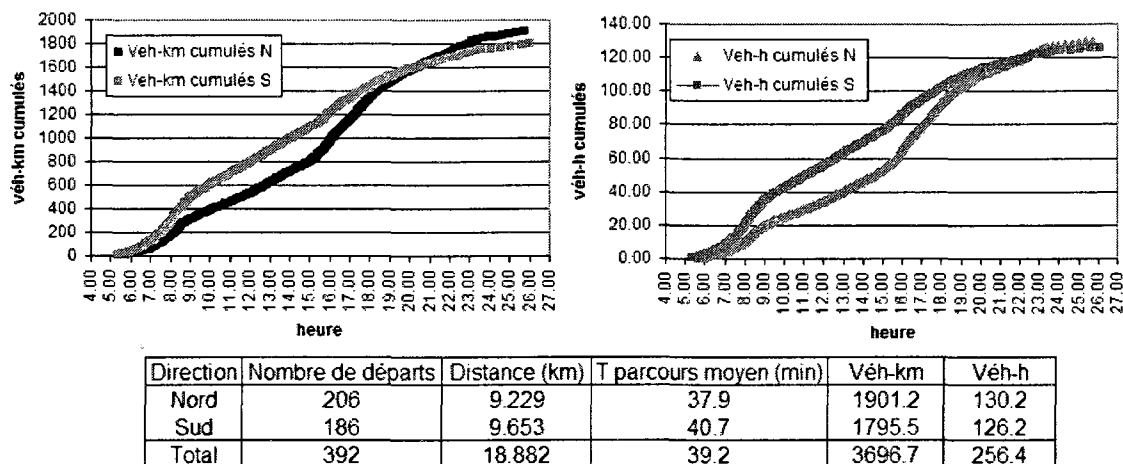


Figure 3.12 : Mesure des ressources impliquées pour l'opération de la ligne 67 en véh-km et véh-h

3.4.4 Diagramme espace-temps

Les diagrammes espace-temps illustrent clairement les caractéristiques spatiales et temporelles des parcours individuels. Ils représentent aussi d'autres concepts tels que l'intervalle de service à une distance donnée et l'espacement des véhicules à un temps donné ainsi que la vitesse des véhicules. La Figure 3.14 montre le diagramme espace-temps des parcours de la ligne 67 construit avec DivaGIS. Les lignes sont importées via un fichier texte dans lequel les coordonnées des distances et les temps de passage aux points de contrôle sont organisés dans un format précis (Figure 3.13). DivaGIS permet ensuite de créer des grilles selon différentes variables telles que la fréquence des passages dans des intervalles de temps ou de changer le format des lignes (couleur et épaisseur) selon les attributs de la ligne tels que la vitesse commerciale.

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2	ID ligne	temps x 10	distance			champs délimités par des espaces	
3							
4							
5	1	51.7	0.000		1 51.7 0		
6	51.7	0.000			51.7 0		
7	52.5	1.463			52.5 1.463		
8	END				END	fin de la ligne	
9	2	52.5	1.463		2 52.5 1.463		
10	52.5	1.463			52.5 1.463		
11	54.2	4.316			54.2 4.316		
12	END				END		
13	3	54.2	4.316		3 54.2 4.316		
14	54.2	4.316			54.2 4.316		mettre en format txt

Figure 3.13 : Préparation des données pour l'importation de lignes dans DivaGIS

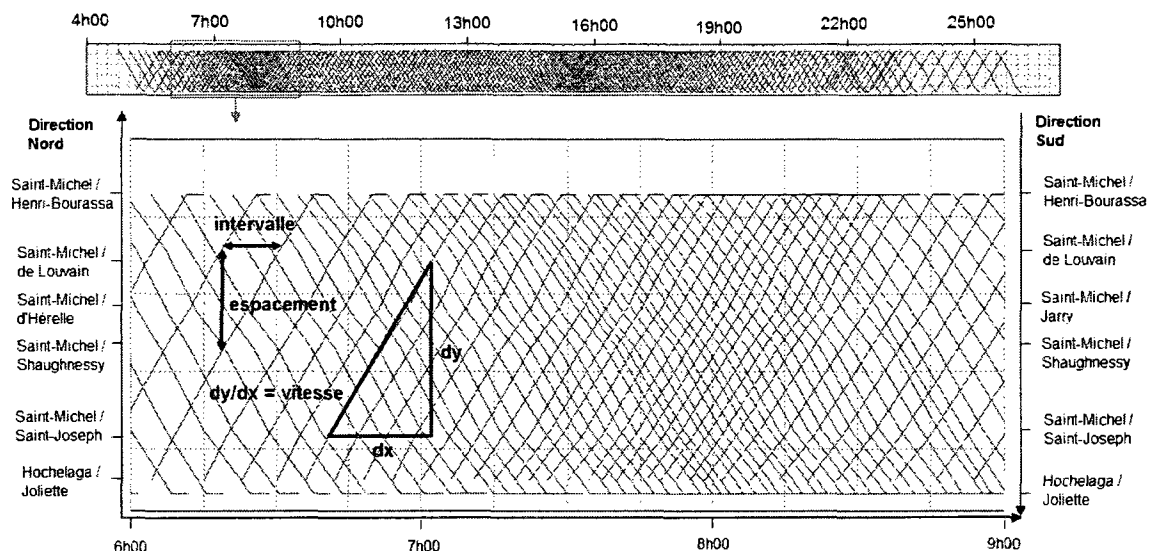
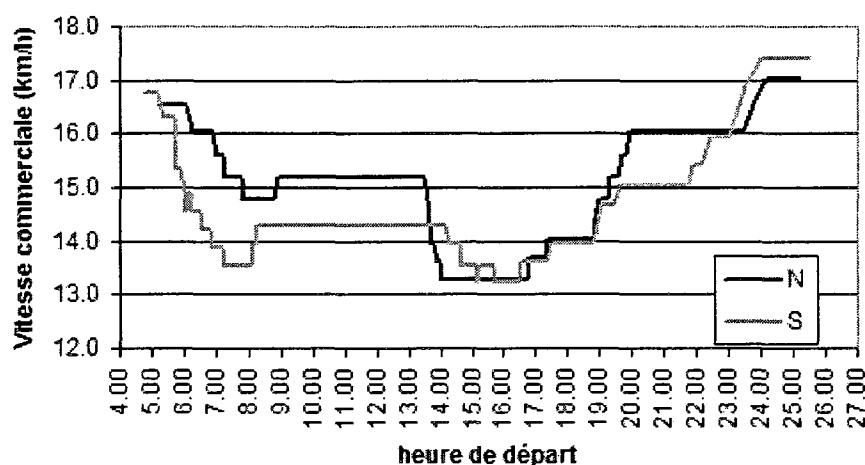


Figure 3.14 : Diagramme espace-temps de la ligne 67 créé avec DivaGIS

3.4.5 Vitesse commerciale

La vitesse commerciale prend en compte les temps aux arrêts, mais ne comprend pas le temps de battement. En premier lieu, les vitesses commerciales de parcours sont examinées dans chaque direction (Figure 3.15). On constate que la vitesse en direction nord est en moyenne 0.4 km/h plus élevée que dans la direction opposée. Il faut aussi noter que les vitesses en direction nord ont une plus grande variabilité que celles en direction sud surtout entre les périodes de pointe. La comparaison des vitesses moyennes entre les périodes de pointe AM (6h à 9h) et PM (15h à 18h) permet de voir une différence de 1.8 km/h en direction nord et de 0.5km/h en direction sud. Curieusement, la vitesse moyenne de la période de pointe AM en direction nord est plus élevée que la vitesse moyenne pour un jour complet.



Direction	Vitesse commerciale (km/h)					
	moyenne	minimum	maximum	écart type	6h à 9h	15h à 18h
Nord	14.7	13.3	17.0	1.1	15.3	13.5
Sud	14.3	13.2	17.4	0.9	14.2	13.7

Figure 3.15 : Vitesse commerciale de parcours en fonction de l'heure du jour

Ensuite, la distribution des vitesses commerciales est analysée selon les segments de ligne et le temps du jour. La Figure 3.16 illustre le diagramme espace-temps où les vitesses sont catégorisées selon la coloration du segment. Les statistiques descriptives de ce diagramme sont montrées dans le Tableau 3.3 et se résument comme suit :

- En direction nord, les vitesses minimums surviennent surtout en après-midi et en soirée, à l'exception du segment entre les rues Joliette et Saint-Joseph où la vitesse est minimale (12.5 km/h) entre 7 h 15 et 8 h 46.
- Les vitesses moyennes les plus lentes sont entre les rues Shaughnessy et Hérnelle en direction nord (13.3 km/h) et entre Henri-Bourassa et Louvain en direction Sud (12.2 km/h), surtout de 13 h 59 à 19 h 29 et de 15 h 42 à 18 h 55, respectivement.
- Les vitesses moyennes les plus rapides sont entre les rues Hérnelle et Louvain en direction nord (16.7 km/h) et entre les rues Shaughnessy et Saint-Joseph en direction sud (16.4 km/h) avec des maximums de 18.1 km/h et 23.2 km/h, respectivement. La variabilité de la distribution des

vitesse durant le jour est plus élevée dans ces deux segments avec un écart type de 1.5 km/h et 1.65 km/h, respectivement.

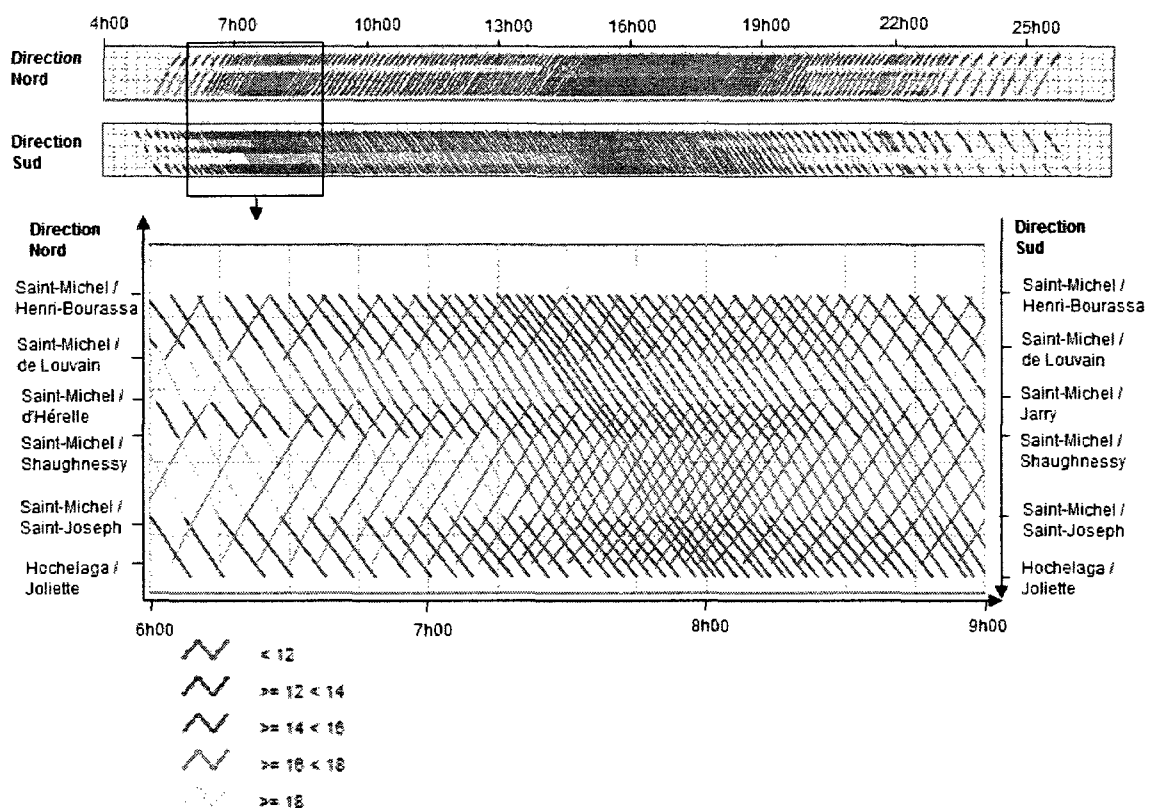


Figure 3.16 : Diagramme espace-temps avec représentation des vitesses selon les segments de ligne

Tableau 3.3 : Vitesse commerciale selon le segment de la ligne 67

Vitesse en km/h - Direction nord

	min	max	moy	écart type
Joliette à St-Joseph	12.5 (7h15-8h46 et 14h03-17h17)	17.6 (5h10-6h54 et 24h07-25h11)	14.0	1.43
St-Joseph à Shaughnessy	13.2 (13h59-18h52)	17.1 (5h15-6h09 et 20h02-25h16)	14.5	1.46
Shaughnessy à Hérelle	11.8 (13h59-19h29)	17.8 (24h01-25h26)	13.3	1.37
Hérelle à Louvain	15.1 (13h56-19h55)	18.1 (5h30-13h52 et 20h03-25h30)	16.7	1.50
Louvain à H-B	13.7 (14h11-17h15)	15.7 (5h35-14h04 et 17h18-25h35)	15.2	0.86

Vitesse en km/h - Direction sud

	min	max	moy	écart type
H-B à Louvain	10.9 (15h42-18h55)	15.6 (4h45-5h40 et 24h01-25h30)	12.2	1.06
Louvain à Jarry	14.0 (7h24-17.31)	18.7 (4h52-6h07)	14.8	1.26
Jarry à Shaughnessy	12.3 (6h13-8h31)	14.8 (4h58-6h07 et 8h34-25h44)	14.2	1.03
Shaughnessy à St-Joseph	14.7 (14h39-19h08)	23.2 (23h50-25h49)	16.4	1.65
St-Joseph à Joliette	12.4 (6h15-8h39 et 15h12-17h01)	16.6 (22h55-25h56)	13.7	1.04

3.4.6 Fréquence et intervalle

Le niveau de service planifié d'une ligne de transport se définit par la fréquence des passages et réciproquement par l'intervalle de service. Il y a différents moyens de déterminer le niveau de service d'une ligne tels que l'intervalle entre chaque départ, l'intervalle moyen dans une période donnée, ou la fréquence des départs dans un intervalle de temps donné. Dans un premier temps, la fréquence des départs est étudiée par intervalle de 15 minutes pour un jour complet (Figure 3.17). Du point de vue de l'utilisateur c'est le temps qui indique le coût du déplacement, que ce soit le temps de passage du prochain autobus ou l'intervalle de temps entre les passages, alors il est important de traduire les fréquences à des intervalles de départ par période de 15 minutes (Figure 3.18). Ensuite, les fréquences de passages sont analysées avec DivaGIS et ses options de grille pour des périodes de 15 minutes (Figure 3.19 et Figure 3.20). Une grille est formée avec les entités points représentant l'évolution des véhicules dans le temps et l'espace c'est-à-dire le temps de passage à chaque arrêt.

L'étude des fréquences de passage durant les périodes de pointe AM et PM révèle que la fréquence des passages est beaucoup plus importante en direction sud durant la période de pointe AM et que le contraire est vrai en période de pointe PM. Il est possible de naïvement faire l'hypothèse que le flot des déplacements se fait vers le centre-ville (direction sud) le matin et que le flot des déplacements est inversé le soir pour retourner à domicile. Cependant, cette hypothèse est beaucoup trop généraliste donc, les déplacements individuels empruntant la ligne 67 seront examinés minutieusement dans le chapitre 6.

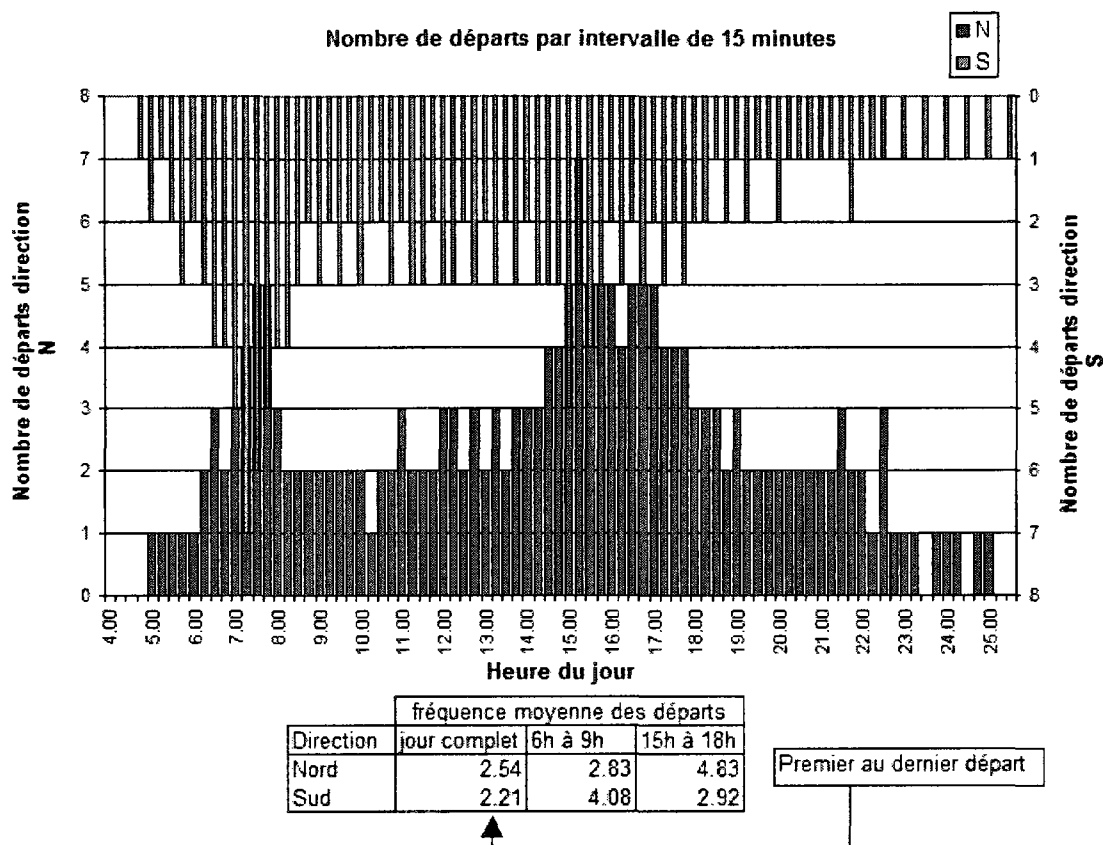


Figure 3.17 : Fréquence des départs par intervalle de 15 minutes

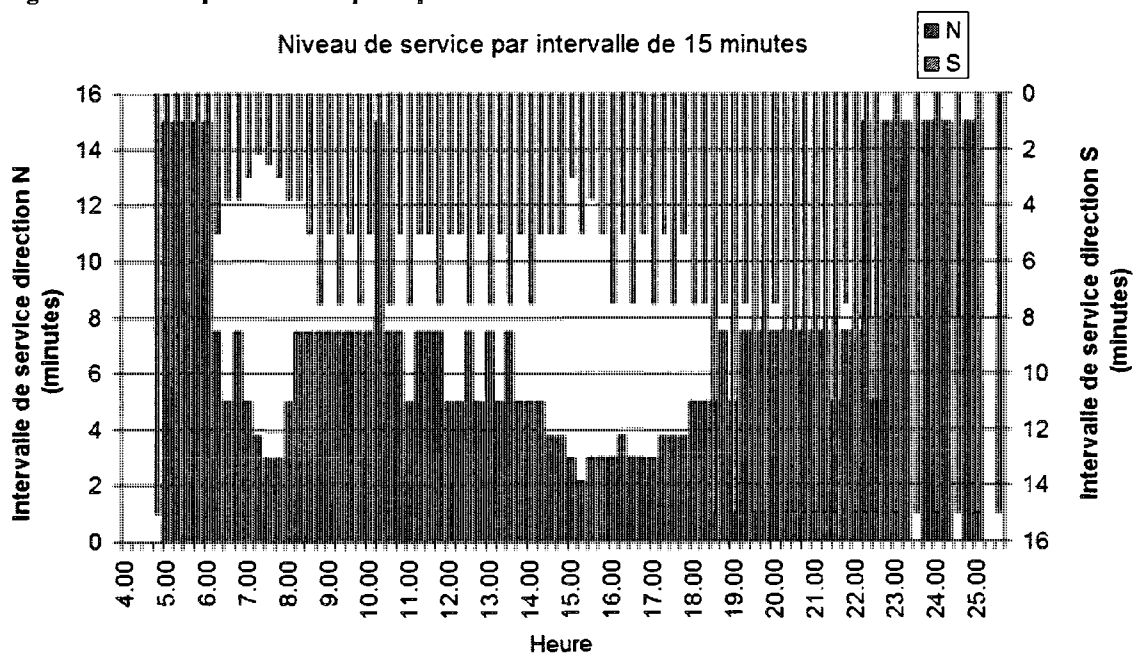


Figure 3.18 : Niveau de service par intervalle de 15 minutes

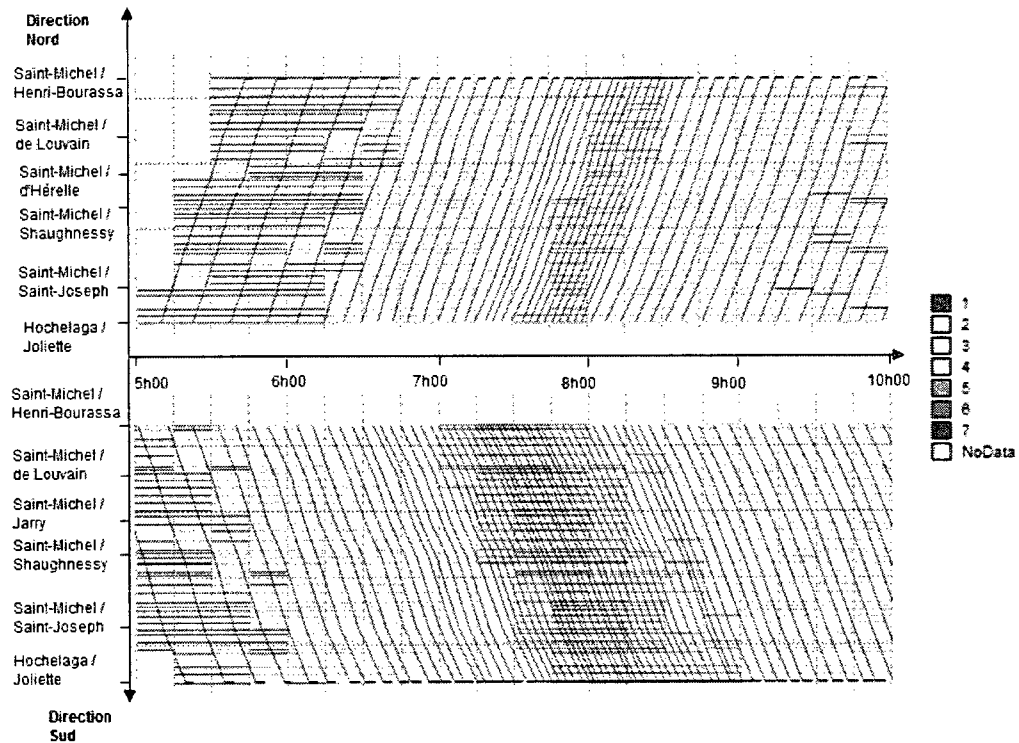


Figure 3.19 : Illustration des fréquences de passage en période de pointe AM avec DivaGIS

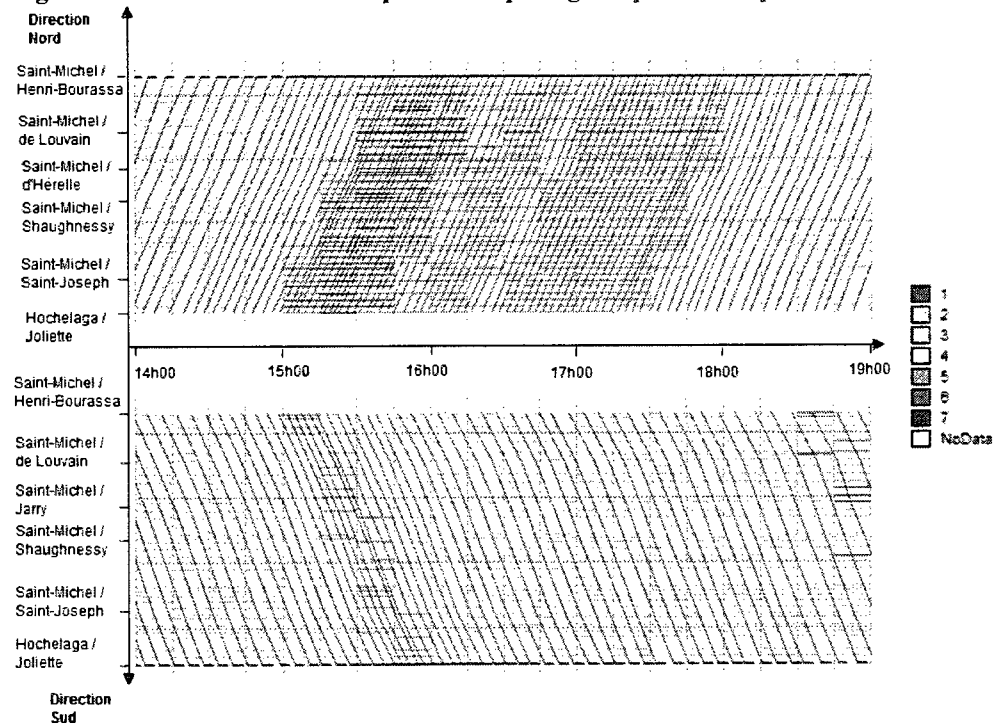


Figure 3.20 : Illustration des fréquences de passage en période de pointe PM avec DivaGIS

3.4.7 Flotte minimale

Chaque véhicule circulant sur une ligne de transport en commun comporte des coûts capitaux (l'autobus) et opérationnels (entretien et salaire du chauffeur) qui sont mesurés selon le nombre de véhicules-kilomètres et véhicules-heures effectifs. La flotte sur une ligne d'autobus devient donc un indicateur des coûts subis par l'opérateur du service. Le nombre minimum de véhicules requis est calculé en reconstituant les parcours de chaque véhicule selon les temps de passage planifiés. Les départs sont donc alloués aux véhicules selon leur remise en disponibilité après le temps de battement au terminus. La Figure 3.21 montre le format d'organisation de cette procédure. Finalement, les résultats sont illustrés avec un diagramme espace-temps jumelé à une grille et un histogramme représentant la flotte par tranche de 15 minutes (Figure 3.22). On observe une augmentation de la flotte pour les périodes de pointe du matin et de l'après-midi. Cependant, la période de pointe PM nécessite une plus grande flotte avec 27 véhicules en moyenne et un maximum de 34 véhicules entre 15h45 et 16h00.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		VEH1	VEH1	VEH2	VEH2	VEH3	VEH3	VEH4	VEH4	VEH5	VEH5	VEH6	VEH6
2	SEQ+	S1	4.75 S2				5.17 S3		5.22 S4		5.38 S5		5.55
3	HEURE		4.87				5.25		5.33		5.50		5.67
4			4.97						5.43		5.60		5.77
5			5.05						5.52		5.68		5.85
6			5.18						5.65		5.83		6.00
7			5.33			5.59	5.73		5.79		5.98		6.14
8			5.38			5.78	5.78		5.85		6.03		6.20
9		N2	5.38 N4			5.78 N5			6.07 N6		6.25 N7		6.38
10			5.47		5.95		5.92		6.15		6.33		6.47
11			5.53		6.12		6.02		6.32		6.52		6.65
12			5.72		6.20		6.10		6.40		6.60		6.73
13			5.80		6.28		6.25		6.48		6.68		6.82
14			5.94				6.41		6.63		6.83		6.96
15			6.00				6.48		6.68		6.88		7.02
16		S10	6.07 S				6.50 S18		6.68 S21		6.88 S24		7.00
17			6.20		6.63		6.58		6.83		7.03		7.20
18			6.32		6.75		6.77		6.95		7.15		7.32

Figure 3.21 : Organisation des données de temps de passage pour trouver le nombre minimum de véhicules requis

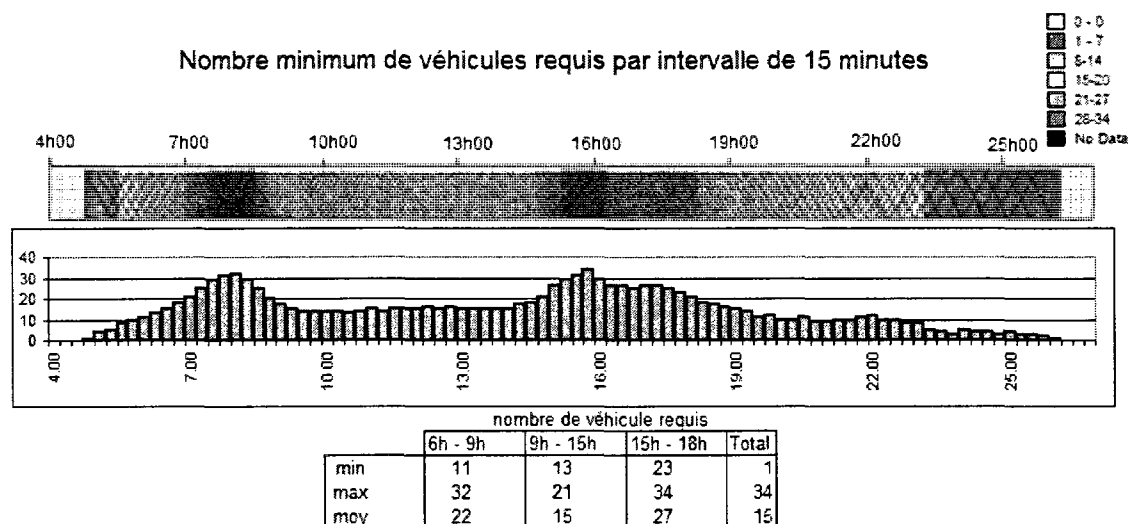


Figure 3.22 : Nombre minimum de véhicules requis par intervalle de 15 minutes

3.5 Conclusion

L'objectif de ce chapitre était de caractériser le service de transport en commun d'un corridor. La méthode proposée vise à faire ressortir les attributs du service (distance, temps et vitesse) ainsi qu'à mesurer les ressources nécessaires pour l'opération d'un tel service à différent niveau de résolution : la ligne, le segment de ligne et l'arrêt. Elle propose un traitement efficace des données de temps de passage facilitant la répétition de la procédure et une visualisation claire et concise des résultats. L'accent est mis sur l'illustration des diagrammes espace-temps par l'intermédiaire d'outils SIG permettant une consultation dynamique des résultats (zoom, attributs des objets, etc.) et l'intégration d'une troisième dimension telle que la vitesse des véhicules ou la fréquence des passages.

Dans l'approche intégrée de la caractérisation des corridors de transport en commun, le présent chapitre sert à établir les caractéristiques opérationnelles d'un corridor de transport en commun. Cette caractérisation est justifiée par le fait que l'exploitation d'un service de TC est basée sur des standards de performance et sur la gestion des ressources matérielles et humaines.

Le prochain chapitre explore une méthode pour mesurer l'impact des feux de circulation sur les temps de parcours des autobus. Affectent-ils la performance d'un corridor de transport en commun?

Chapitre 4 : Synchronisation des feux

La coordination des feux de circulation demeure primordiale pour minimiser le temps en arrêt des autobus. Comme le temps consacré à l'embarquement et au débarquement des passagers, l'arrêt à un feu rouge diminue considérablement la vitesse commerciale d'un autobus. Dans ce contexte, le rôle du planificateur de transport consiste à estimer le temps perdu aux feux et l'effet sur le niveau de service. L'objectif de ce chapitre est d'établir une méthodologie d'analyse des coûts (temps perdu) engendrés par les feux de circulation pour une ligne de transport en commun. Le chapitre est divisé en cinq parties :

- Exploration des concepts de base en matière de coordination des feux.
- Méthodologie de collecte de données.
- Organisation de la base de données et visualisation des phases dans un diagramme espace-temps.
- Intégration des temps de passage dans le diagramme espace-temps.
- Calcul du temps perdu aux feux rouges.

4.1 Les concepts de la coordination des feux

Selon le Highway Capacity Manual (TRB, 2000), l'analyse des feux de circulation comporte l'étude de trois conditions (Tableau 4.1) : la géométrie, la circulation et la signalisation. Dans ce chapitre, on s'attardera à définir les paramètres et les concepts qui caractérisent les conditions de signalisation.

Tableau 4.1 : Données nécessaires pour l'analyse des intersections à feux

Type of Condition	Parameter
Geometric conditions	Area type Number of lanes, N Average lane width, W (m) Grade, G (%) Existence of exclusive LT or RT lanes Length of storage bay, LT or RT lane, L_s (m) Parking
Traffic conditions	Demand volume by movement, V (veh/h) Base saturation flow rate, s_0 (pc/h/ln) Peak-hour factor, PHF Percent heavy vehicles, HV (%) Approach pedestrian flow rate, v_{ped} (p/h) Local buses stopping at intersection, N_b (buses/h) Parking activity, N_m (maneuvers/h) Arrival type, AT Proportion of vehicles arriving on green, P Approach speed, S_A (km/h)
Signalization conditions	Cycle length, C (s) Green time, G (s) Yellow-plus-all-red change-and-clearance interval (intergreen), Y (s) Actuated or pretimed operation Pedestrian push-button Minimum pedestrian green, G_p (s) Phase plan Analysis period, T (h)

Un **cycle** est l'intervalle de temps correspondant à une séquence complète d'indications et une **phase** est une fraction du cycle constitué de l'ensemble des intervalles alloués à l'écoulement d'un mouvement en particulier ou de plusieurs mouvements recevant simultanément un droit de passage. Il existe différents systèmes de coordination des feux. Il y a le fonctionnement à temps **fixe** où les phases opèrent selon un programme prédéterminé. Il peut y avoir plusieurs plans à temps fixe pour une journée. Il y a aussi des feux qui sont activés par des détecteurs selon la demande sur chaque approche. Ces feux peuvent être **semi-adaptatifs** où l'autorisation de passage est maintenue sur la route la plus importante jusqu'à ce que des véhicules

soient détectés sur les approches de la route secondaire. Ils peuvent aussi être en fonctionnement **adaptatif** où les feux sont commandés par la détection des véhicules sur toutes les approches de l'intersection (Baass, 2007).

La coordination des feux est souvent illustrée dans un diagramme espace-temps où l'on peut voir le temps de vert, jaune et rouge. La Figure 4.1 illustre l'interface du logiciel TimeSpace (Université de Maryland, 1999) qui démontre bien les concepts de la coordination des feux sur une artère avec un diagramme espace-temps. Dans l'axe x on a le temps et dans l'axe y on a la distance. On voit très bien les intersections qui créent des retards dans chaque direction et le volume de véhicules passant chaque intersection selon le temps. On voit aussi le décalage des cycles d'une intersection à l'autre qui permet de synchroniser les feux selon la vitesse de parcours des véhicules.

Ceci nous amène à la notion de bande verte (Figure 4.2) qui représente la progression d'un peloton de véhicules avec un mouvement uniformément constant entre deux carrefours. En d'autres mots, la bande verte est une fenêtre de temps qui permet le passage continu des véhicules entre deux carrefours. Le calcul du **décalage** du début du vert entre deux lignes de feux successives, c'est-à-dire, le temps nécessaire aux véhicules pour parcourir à la vitesse v , la distance d entre les carrefours, est donc régi par la relation linéaire $v=d/t$ et trouve sa représentation sur un simple diagramme espace-temps (Baass, 2007). La Figure 4.3 représente une bande verte qui est adaptée à la circulation des autobus pour des cycles fixes. Ce genre de synchronisation peut seulement être justifié s'il y a une régularité dans le temps en arrêt et le temps de marche. La largeur de la bande compense une certaine incertitude, mais n'est pas adaptée à de grandes irrégularités. Alors, la coordination des feux pour des cycles fixes est efficace quand il y a une voie réservée exclusivement pour les autobus. Cependant, des feux activés par l'entremise de détecteurs pour favoriser la circulation des autobus sont une meilleure solution quand il y a une irrégularité du service.

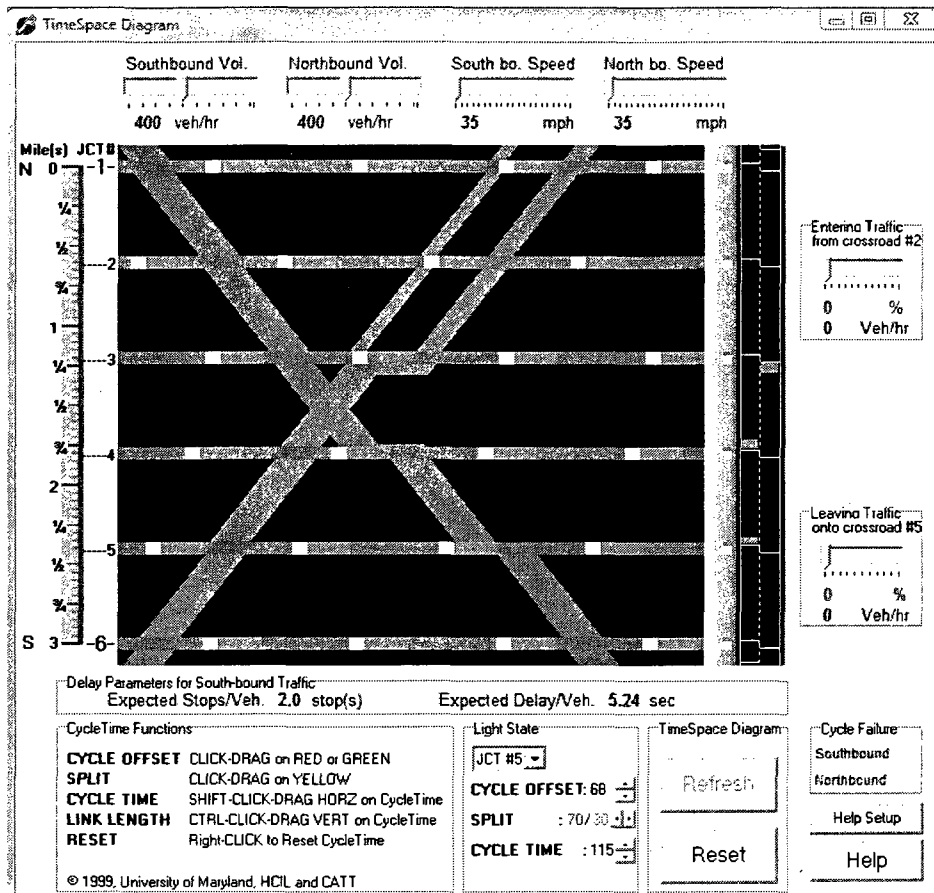


Figure 4.1 : Représentation d'un diagramme espace-temps et des volumes de véhicules par le logiciel TimeSpace.

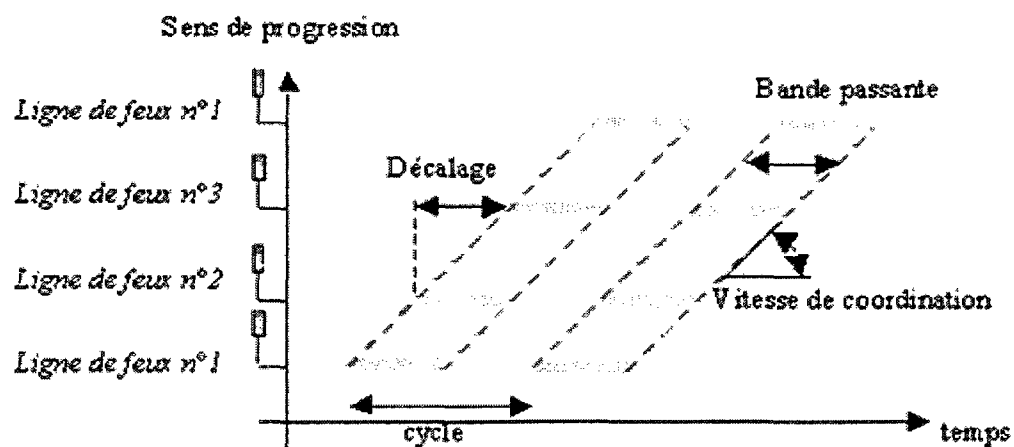


Figure 4.2 : Représentation d'une onde verte à sens unique (Baass, 2007)

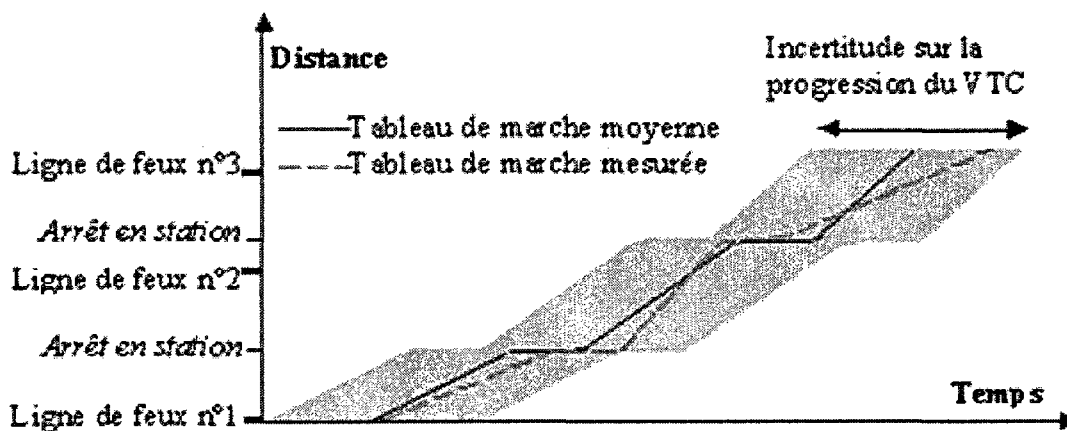


Figure 4.3 : Onde verte favorisant la circulation des autobus avec des cycles fixes (Baass, 2007)

4.2 Collecte des données

4.2.1 Procédure

La première étape consiste à se familiariser avec les intersections sur le corridor par l'intermédiaire d'outils comme GoogleMaps¹, LiveMaps², Navigateur Urbain³ et Zonum Solutions⁴. Il est déjà possible d'identifier les grandes intersections et de connaître leurs caractéristiques spatiales. Ensuite, un formulaire de prise de données est développé en fonction de l'information nécessaire (Annexe B) : date, heure exacte du début du cycle, nom des rues, géométrie, diagramme des phases, durée des phases. Les diagrammes de phases, inspirés du HCM, incluent les mouvements de virage permis et protégé ainsi que les mouvements de piétons. Le chronométrage des phases est noté, premièrement, pour connaître la durée de chaque phase dans le cycle et, deuxièmement, pour pouvoir calculer le décalage du début de cycle entre les intersections. Le calcul des décalages entre les débuts de cycle requiert un temps de référence, il faut donc prendre les mesures avec une horloge absolue. Deux options sont envisageables pour satisfaire cette exigence : noter les temps selon un

¹ <http://maps.google.com/>

² <http://maps.live.com/>

³ <http://www.navurb.com/>

⁴ <http://www.zonums.com/>

chronomètre qui n'est jamais arrêté ou noter l'heure exacte au début des cycles et chronométrer les phases séparément. La deuxième option a été adoptée, car elle permet de noter directement les durées de phases sans devoir soustraire les temps absolus de fin et de début de phase et elle permet de facilement recommencer le chronométrage d'une phase en cas de doute sur la validité des mesures. La durée des phases inclut les phases de vert permis, les phases de vert protégé, les durées de jaune et les durées de tout rouge.

4.2.2 Structure de la base de données

La base de données brute contient le numéro de séquence des intersections, le nom des rues, les distances entre les intersections, l'heure du début des cycles, la durée du cycle, la durée de vert, de jaune et de rouge. Le temps de vert inscrit dans la base de données est le temps de vert dans le trajet de l'autobus. Par exemple, un feu vert pour virage prioritaire à gauche n'est pas considéré dans le temps du vert si l'autobus ne tourne pas à gauche. La base de données initiale comporte 80 intersections (40 intersections dans chaque direction) et 11 champs (Tableau 4.2).

Tableau 4.2 : Champs retrouvés dans la base de données initiale des feux de circulation

CHAMPS	DESCRIPTION
SEQ	Séquence des intersections à feux selon le trajet de la ligne d'autobus et la direction
RUE 1	Rue sur laquelle circule les autobus de la ligne en question
RUE 2	Rue d'intersection
DIST	Distance entre deux intersections successives
DIST CUMUL	Distance cumulative par rapport au point de départ de la ligne d'autobus
HEURE1	Heure de début du cycle des feux à une intersection en format HHMMSS
HEURE2	Heure de début du cycle des feux à une intersection en heure
C	Durée du cycle (secondes)
V	Temps de vert dans un cycle selon le trajet de l'autobus (secondes)
J	Temps de jaune et tout rouge dans le cycle selon le trajet de l'autobus (secondes)
R	Temps de rouge dans un cycle selon le trajet de l'autobus (secondes)

4.3 Visualisation spatio-temporelle

4.3.1 Procédure de traitement de données

La prochaine étape consiste à visualiser les temps de phase des feux de circulation dans un graphique espace-temps et d'y intégrer la progression spatio-temporelle des

autobus selon les temps de passage planifiés. La première étape consiste à organiser les données des temps de phases de telle façon à illustrer plusieurs cycles l'un à la suite de l'autre dans un graphique nuage de points. Évidemment, les données sont organisées de façon à avoir la distance ainsi que le début et la fin de chaque phase (Figure 4.4). Puis, les temps de passage aux points de contrôle sont intégrés aux données de phasage selon la logique illustrée dans la Figure 4.5.

R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
DIST	VERT	JAUNE	ROUGE					
72.76068	0							
72.76068	39	39						
72.76068		42	42					
72.76068			70					
72.76068	70							
72.76068	109	109						
72.76068		112	112					
72.76068			140					
72.76068	140							
72.76068	179	179						
72.76068		182	182					
72.76068			210					
72.76068	210							
72.76068	249	249						
72.76068		252	252					
72.76068			280					

Figure 4.4 : Organisation des données de temps de phase pour un diagramme espace-temps

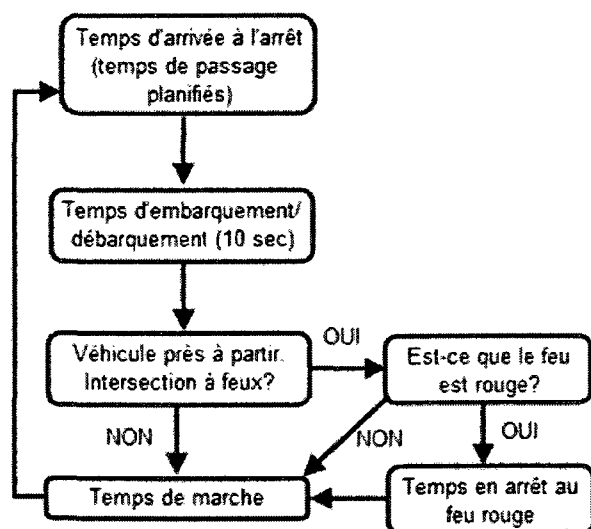


Figure 4.5 : Procédure d'intégration des temps de passages d'autobus aux temps de phase des feux de circulation

Les parcours de la ligne 67 en direction nord sont utilisés à titre d'exemple pour l'application de la procédure de visualisation. Théoriquement, un diagramme espace-temps peut être utilisé pour visualiser le parcours des véhicules dans les deux sens de la circulation à condition que les temps de phase soient les mêmes dans les deux sens. De plus, la ligne 67 ne suit pas le même trajet en direction nord qu'en direction sud pour la portion au sud de la rue Rachel. Donc, les parcours des deux directions sont traités dans des diagrammes séparés pour des raisons de clarté. Les temps de passage aux points de contrôle sont pris comme points de référence et les temps de passage aux autres arrêts sont calculés selon le phasage des feux ainsi que les temps de marche théoriques. Un temps d'embarquement et de débarquement de 10 secondes est considéré à chaque arrêt.

Les temps de marche (en mouvement) sont calculés selon la procédure définie dans le TCRP Report 26 (TRB, 1997):

$$\text{Si } d \geq \left(\frac{V_c^2}{2a_1} \right) + \left(\frac{V_c^2}{2a_2} \right) :$$

$$t = \left(\frac{V_c}{2a_1} \right) + \left(\frac{d}{V_c} \right) + \left(\frac{V_c}{2a_2} \right) + LT$$

$$\text{Si } d < \left(\frac{V_c^2}{2a_1} \right) + \left(\frac{V_c^2}{2a_2} \right) :$$

$$t = \left(\frac{d}{a_1} \right)^{1/2} + \left(\frac{d}{a_2} \right)^{1/2} + LT$$

t = temps de marche entre deux intersections, s

V_c = vitesse de croisière, m/s

d = distance entre les intersections, m

a_1 = accélération, m/s²

a_2 = décélération, m/s²

LT = temps perdu au démarrage, s

La vitesse de croisière est établie à 50 km/h (13.9 m/s), ce qui correspond à la limite de vitesse sur le boulevard Saint-Michel. En se basant sur les exemples de calculs dans le rapport du TCRP, l'accélération et la décélération sont fixées à 1.2 m/s^2 et le temps perdu au démarrage est de 2 secondes. Cette méthode présume que la circulation véhiculaire est en écoulement libre.

4.3.2 Les résultats

Le diagramme espace-temps résultant de cette nouvelle procédure est illustré dans la Figure 4.6. L'analyse de 6h00 à 9h00 démontre que 7.3 minutes sont en moyenne perdues aux feux rouges sur un temps de parcours moyen de 37.5 minutes, soit près de 19.5% du temps de parcours. De plus, l'algorithme intégrant les temps de passage planifiés permet des retards maximums de 3 minutes aux points de contrôle. On constate donc que les temps de parcours ajustés en fonction des temps de phase accusent un retard de 1.2 minute par rapport au temps de parcours selon l'horaire (36.3 vs 37.5 minutes). Finalement, les plus grands retards surviennent aux intersections de Crémazie, Champdoré et Rachel. Ce dernier compte 7 phases, un temps de cycle de 94 secondes et un temps de vert de 23 secondes pour les autobus, soit seulement 24.5% du cycle.

Les résultats peuvent être influencés par certaines sources d'erreur :

- Les erreurs humaines dans le chronométrage des temps de phase.
- L'absence d'un temps standardisé entre les temps de phase et les heures de départs de la STM.
- La négligence des conditions de circulation et de l'aménagement routier dans le calcul des temps de marche.

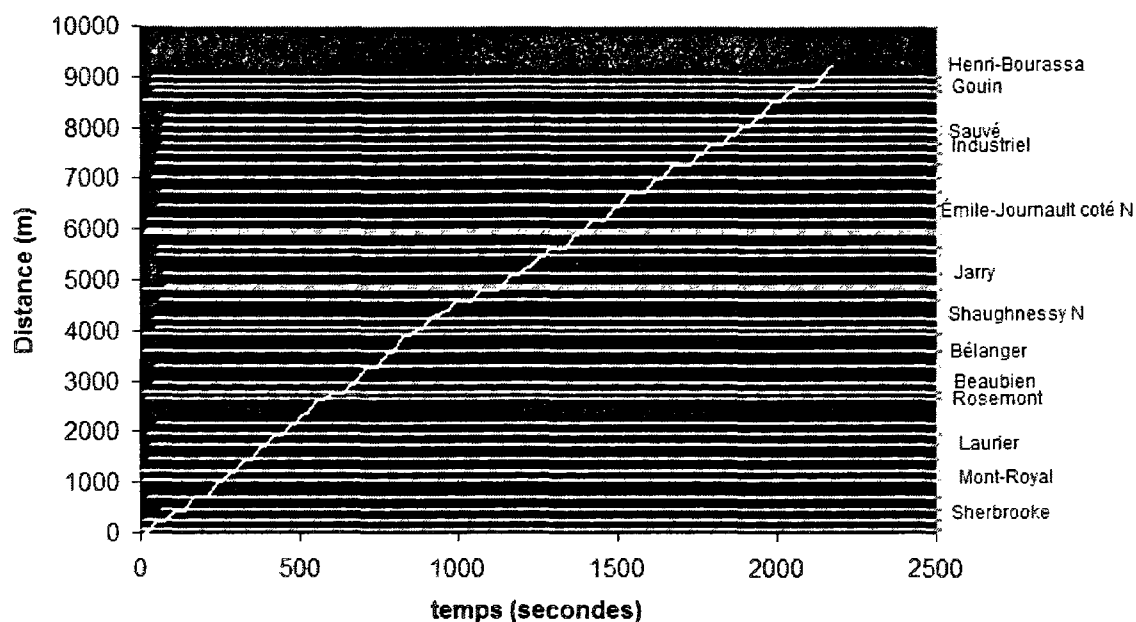


Figure 4.6 : Visualisation spatio-temporelle du phasage des feux de circulation et d'un parcours de la ligne 67 en direction nord selon les temps de marche théoriques.

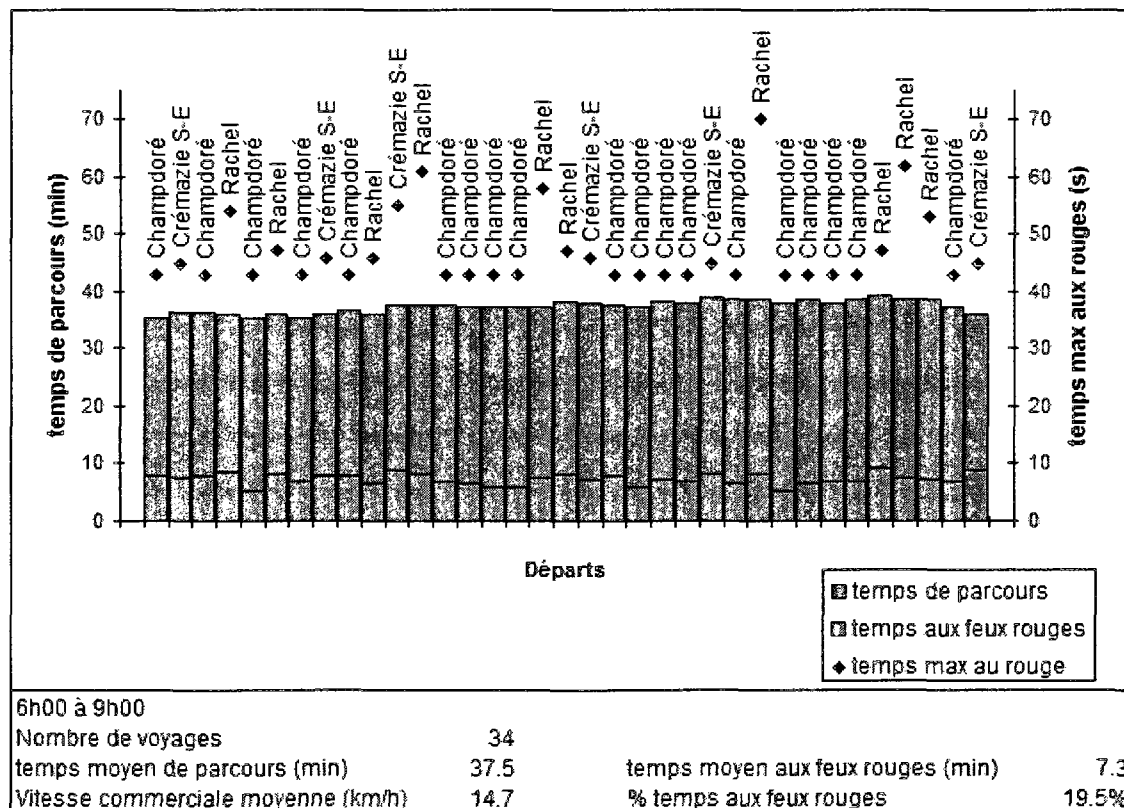


Figure 4.7 : Analyse des temps perdus aux feux rouges dans la période de 6h00 à 9h00

4.4 Conclusion

Ce chapitre avait comme objectif d'explorer l'impact des feux de circulation sur le temps de parcours des autobus circulant dans un corridor. La méthode proposait l'intégration des données de phasage et minutage des carrefours à feux relevées sur les lieux, à ceux des temps de passage des autobus dans un diagramme espace-temps. De plus, des expérimentations ont été effectuées pour estimer le temps moyen passé aux feux rouges pour une période du jour.

Cette thématique est pertinente dans le contexte global des corridors de transport en commun par le fait qu'elle permet de mesurer les coûts engendrés par l'inertie des autobus aux feux rouges. De plus, une telle étude permet de mesurer les gains dans un projet qui vise à améliorer les temps de parcours des autobus par l'entremise de système de préemption pour autobus. Cependant, la programmation peut varier selon la période du jour ou elle peut même être gérée de façon dynamique ce qui met en péril la validité des relevés effectués sur les lieux. Il est donc crucial d'avoir les données de programmation provenant des contrôleurs à feux pour faire une analyse plus précise de la coordination des feux.

Chapitre 5 : Caractérisation socio-économico-démographique

Un système de transport en commun est en interaction continue avec la population qui réside dans sa zone d'influence. Le défi d'un planificateur de transport est d'évaluer les effets d'un système de transport en commun sur les caractéristiques sociologiques, démographiques et économiques des riverains d'un tel service. Une ligne d'autobus est-elle destinée à une clientèle en particulier? Est-ce qu'elle contribue à la densification de la population dans sa zone d'influence? Comment se distingue la population vivant dans la zone d'influence d'une ligne d'autobus par rapport aux autres populations?

Ce chapitre consiste donc à caractériser la population qui réside dans la zone d'influence d'une ligne de TC et sera segmenté de la façon suivante :

- Revue de littérature sur les notions d'accès et de zone d'influence;
- Procédure générale de travail inspirée de la littérature;
- Introduction aux recensements;
- Données disponibles dans le recensement de 2006 et champs à analyser;
- Procédure de la segmentation et de l'assemblage des données;
- Application de la procédure au corridor Saint-Michel;
- Illustration et analyse des résultats.

5.1 Revue de littérature

5.1.1 Le concept d'accès au transport en commun

Selon Litman, l'accès de base est l'habilité d'accéder aux biens, aux services et aux activités que la société considère particulièrement importantes. La mobilité de base est le déplacement physique nécessaire pour avoir l'accès de base et elle inclut typiquement (Litman, 2008) :

- Les services d'urgence
- Le service public

- Les soins de santé
- La nourriture et les vêtements de base
- L'éducation et l'emploi
- La distribution de lettres et de colis
- La livraison de marchandises
- Un certain montant d'activités sociales et récréatives

Axhausen (2007) définit l'accès comme la possibilité d'avoir un service de transport pour se déplacer à une destination spécifique (ex. : accès à un hôpital pour une victime de crise cardiaque). Alors, on peut définir l'accès au transport en commun comme la possibilité de se rendre à un service de transport en commun. L'accès à un arrêt d'autobus est généralement mesuré en temps ou en distance. La figure 5.1 montre le pourcentage des gens qui marche plus qu'une certaine distance pour accéder à un arrêt d'autobus dans différentes villes nord-américaines. Il est aussi indiqué que 75 à 80 % des gens marche 400 m ou moins pour atteindre un arrêt d'autobus. Avec une vitesse de marche de 5 km/h, ceci est équivalent à un temps de marche de 5 minutes. Cette distance varie selon différents facteurs : la densité de population, le revenu, l'âge, l'environnement piétonnier, la signalisation, la configuration du réseau piétonnier et la topographie (forte pente). Il est généralement convenu qu'une distance de 400 m est considérée comme la distance maximale de marche pour accéder à un arrêt d'autobus (Murray, 2001; Pratt & Park, 2000).

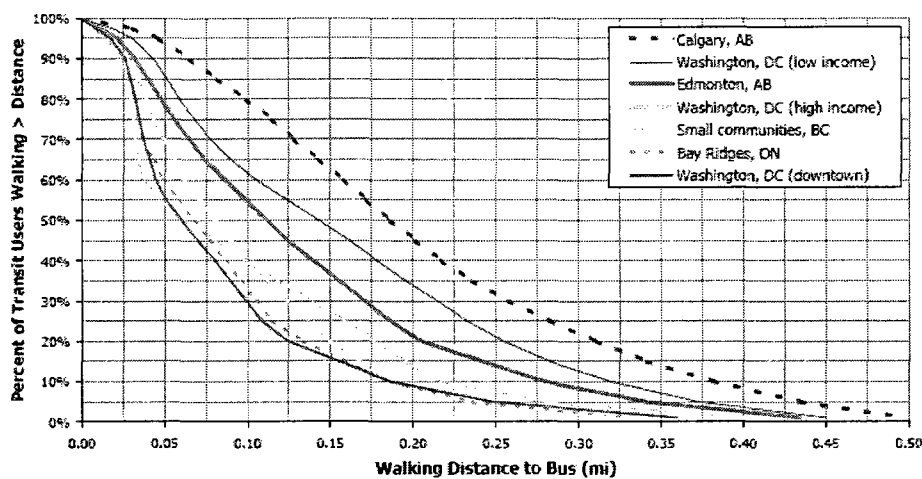


Figure 5.1 : Pourcentage des gens marchant plus qu'une certaine distance pour atteindre le service de TC dans des villes nord-américaines (TRB, 2003)

5.1.2 Couverture du territoire par le TC

Pour estimer la portion de la population qui a accès au TC, il faut pouvoir estimer l'aire de couverture des arrêts de la ligne d'autobus. Quand il s'agit de travailler avec des zones (données agrégées), il faut trouver une méthode pour estimer la portion de la population dans chaque zone qui a accès au TC. Murray (2001) explique deux méthodes pour mesurer l'accès au TC avec des données agrégées. La première consiste à faire des « buffers » autour des arrêts d'autobus et de considérer la portion de chaque zone qui est incluse dans les zones tampons pour ensuite la multiplier par la population de la zone. Cette méthode fait l'hypothèse que la population est répartie uniformément sur la surface de la zone. La deuxième méthode consiste à utiliser les centroides de la zone pour calculer la distance aux arrêts. Cette méthode fait l'hypothèse que la totalité de la population d'une zone est localisée à son centroïde. Évidemment, le niveau de précision de cette méthode diminue plus la zone est grande en superficie. Lee (2005) décrit deux façons de mesurer l'accès à un arrêt d'autobus, la première est une mesure par zone tampon identique à celui de Murray et la seconde est une mesure utilisant le réseau piéton (figure 5.2).

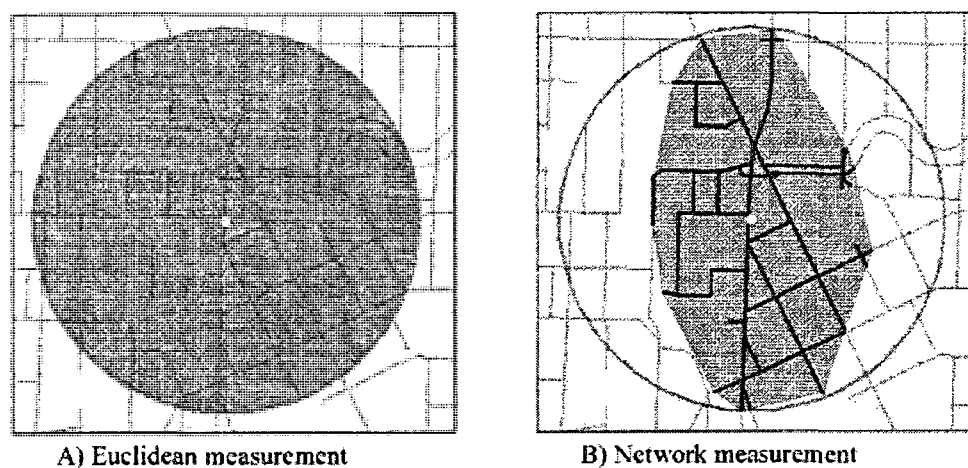


Figure 5.2 : Aire de couverture selon la mesure euclidienne (a) ou par réseau (b) en utilisant la même distance.

5.1.3 Les usagers et les variables importantes

Beimnom et al. (2003) définissent deux types d'usager du transport en commun : usagers captifs et usagers par choix. Les usagers captifs n'ont pas d'autres alternatives que le TC pour des raisons d'âge, de revenu, de circonstance familiale ou d'handicap. Pour les usagers par choix, le temps, le coût, la commodité et le confort du service influence leur choix. Similairement, ceux qui n'utilisent pas le TC peuvent être divisés en deux groupes, ceux qui sont captifs de l'automobile ou d'un autre mode et ceux qui choisissent l'automobile parce qu'ils la perçoivent comme supérieure à d'autres modes. La part modale du TC est trouvée par le ratio d'un numérateur qui est exact (le nombre de déplacements en TC) et un dénominateur qui n'est pas facilement défini (le nombre de déplacements où le TC est un choix réel). Le TQSM considère le TC comme choix réaliste s'il y a un **accès** au service de TC (marche, vélo, park and ride) et à l'**information** sur le service de TC.

Les indicateurs de captivité au TC peuvent être : les ménages qui n'ont pas d'automobile, les personnes qui ont un handicap qui les empêche de conduire, les ménages à faible revenu, les familles monoparentales à faible revenu, les personnes

qui sont trop jeunes ou âgées pour conduire et les nouveaux immigrants de pays en développement.

Les indicateurs de captivité à l'automobile peuvent être : le manque de service de TC entre l'origine et la destination durant le temps du déplacement, le besoin de faire plusieurs arrêts pendant le déplacement, le besoin de déplacer de grands objets et les caractéristiques des personnes telles que l'âge et/ou un handicap.

5.1.4 Exemple de caractérisation socio-économico-démographique d'un corridor de transport en commun

Chapleau (1992b) explique la procédure de caractérisation de la population dans le voisinage des 65 stations de métro de la ville de Montréal. L'étude identifie le profil statistique (population, distribution d'âge, revenu moyen, caractère ethnique, taille des ménages, langue d'usage, emploi, etc.) pour des zones d'influence de 300, 600 et 1000 mètres à vol d'oiseau des stations de métro à partir de procédures de mesure d'accessibilité spatiale de MADITUC ainsi que de données socio-économico-démographiques extraite du recensement. La procédure générale consiste à identifier les zones, dans ce cas les secteurs de dénombrement, qui se retrouvent dans la zone d'influence des stations de métro en utilisant les centroïdes des zones. Une analyse comparative avec le territoire de la Communauté urbaine de Montréal a aussi été faite pour distinguer les particularités de la population vivant à proximité des stations de métro.

5.2 Méthodologie

La Figure 5.3 illustre la méthodologie qui sera employée pour caractériser la population vivant dans la zone d'influence du service de transport en commun. Les données géographiques et socio-économico-démographiques du recensement de 2006 sont utilisées pour caractériser cette population. La zone d'influence est déterminée avec des zones tampons de 400m à vol d'oiseau et l'hypothèse de l'uniformité de la population dans la surface de chaque zone est faite.

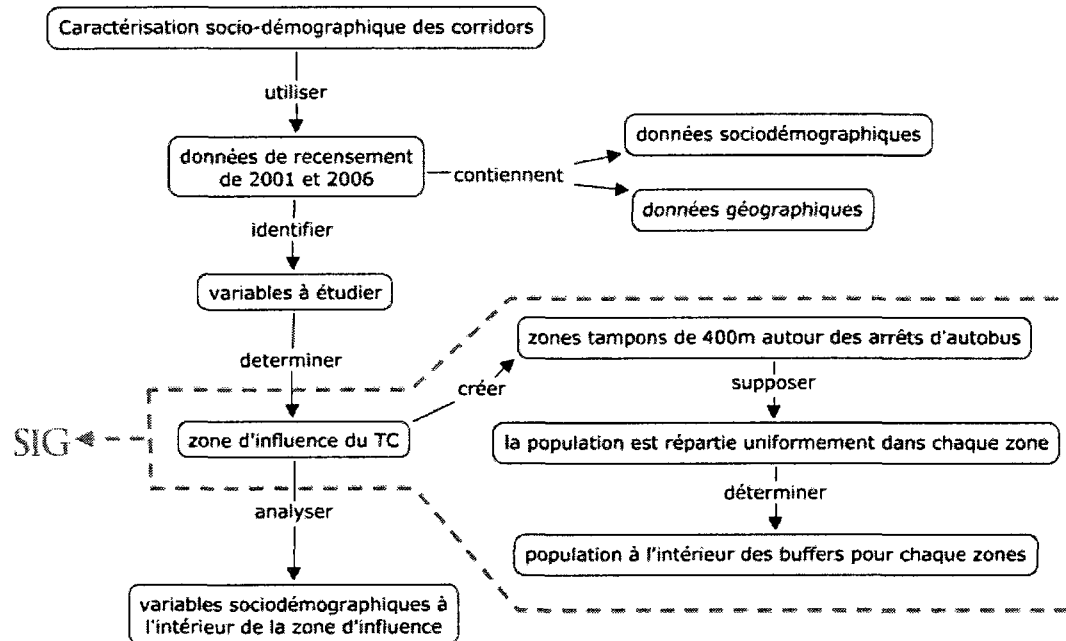


Figure 5.3 : Procédure de caractérisation de la population d'un corridor de TC

5.3 Les recensements nationaux

5.3.1 Qu'est-ce que le recensement?

Le recensement est une enquête effectuée à tous les cinq ans sur l'ensemble de la population canadienne dans le but d'obtenir des données à une date déterminée (Statistique Canada, 2008). Depuis 1971, le recensement se fait par formulaire envoyé aux ménages. En 2006, 80 % des ménages ont reçu le formulaire court comprenant sept questions sur l'âge, le sexe, l'éducation, l'origine ethnique, la langue maternelle et l'état matrimonial et 20 % des ménages ont reçu le questionnaire complet comprenant 61 questions sur la langue parlée à la maison, l'état matrimonial, la religion, l'emploi et l'habitation, en plus des requêtes du questionnaire court (Statistique Canada, 2008).

5.3.2 Les découpages territoriaux

Il existe plusieurs types de découpages territoriaux pour le recensement (Figure 5.4). Parmi ces types de découpage, l'aire de diffusion est particulièrement intéressante puisqu'il s'agit de la plus petite région géographique normalisée pour laquelle toutes les données du recensement sont diffusées (Statistique Canada, 2007).

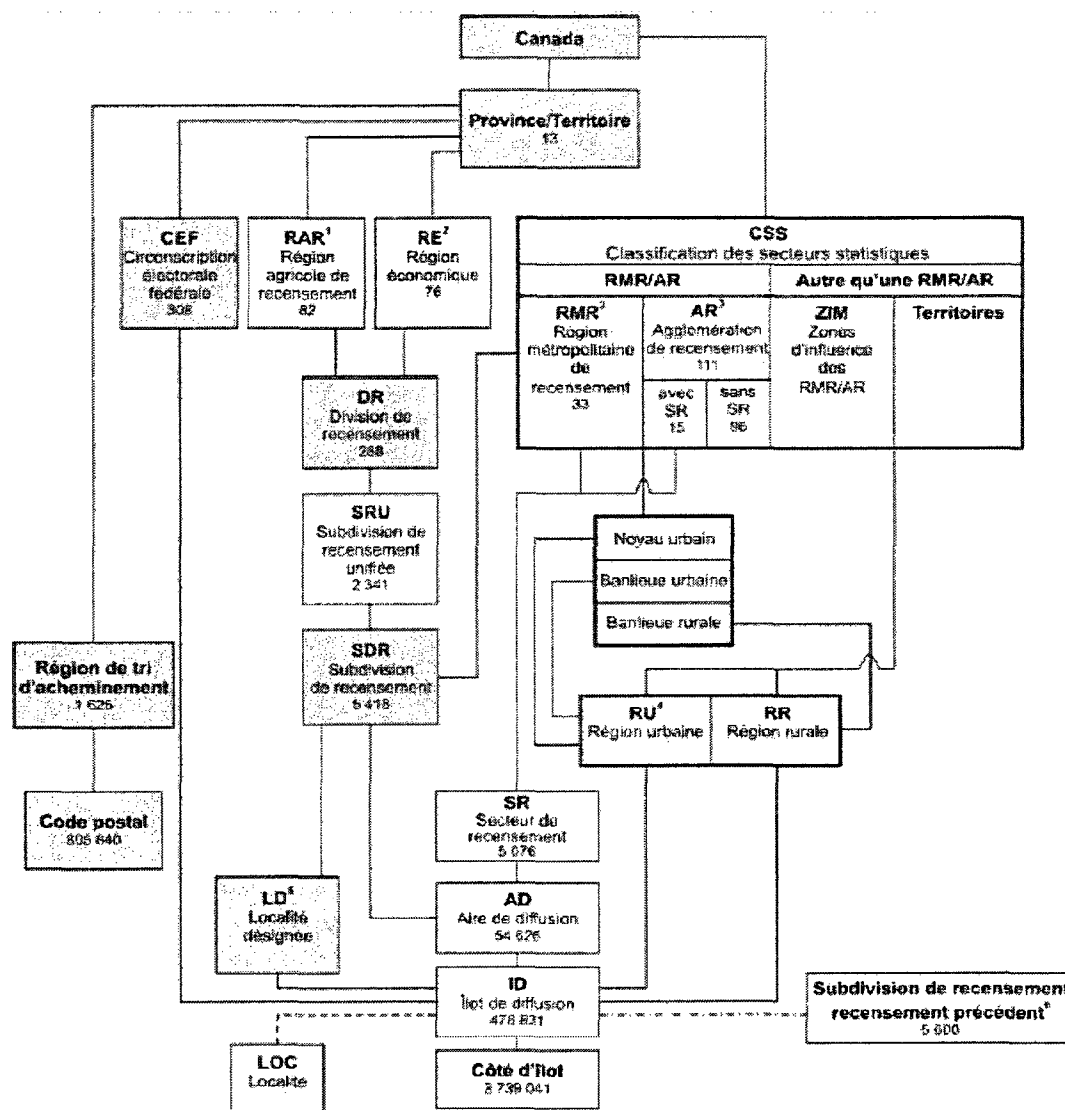


Figure 5.4 : Hiérarchie des unités géographiques normalisées pour la diffusion, Recensement 2006 (Statistique Canada, 2007)

5.3.3 Les données

Les données de recensement de 2006 sont disponibles au niveau des aires de diffusion à l'échelle du Québec. Deux types de données sont récupérés : les données géographiques en format shapefile et les données de recensement de la population en format de chiffrier. Les aires de diffusion ont chacune un numéro d'identification unique nommé ADIDU et celles de l'île de Montréal se trouvent dans l'intervalle entre 24660000 et 24670000. Le territoire québécois est découpé en 14431 aires de

diffusion et comprend 1563 champs qui englobent des thématiques telles que l'âge, le sexe, l'éducation, l'origine ethnique, la langue parlée, l'état matrimonial, la religion, l'emploi et l'habitation.

Pour protéger la confidentialité de l'information sur les personnes, chaque chiffre est arrondi de façon aléatoire vers le haut ou le bas, à multiple de 5. Les totaux sont aussi arrondis de façon aléatoire, donc la somme des éléments peut ne pas être égale au total. En plus de l'erreur associée à l'arrondissement des chiffres, il y a aussi des erreurs associées au manque de données.

5.4 Les variables retenues

Selon la littérature, l'analyse démographique de la zone d'influence d'une ligne de transport en commun inclut l'étude de la population, du revenu moyen, de la distribution d'âge, de la taille des ménages, de la langue, de l'emploi, du caractère ethnique, des types de logement, etc. Les champs retenus du recensement (Tableau 5.1) comprennent trois grandes catégories : les personnes, les familles et les logements. Comme les données de revenu ne sont pas disponibles dans le recensement de 2006, les données de 2001 ont été utilisées.

Tableau 5.1 : Variables retenues du recensement pour l'analyse socio-économico-démographique des corridors de TC

Population, 2006 - Données intégrales (100 %)

Population totale selon le sexe et les groupes d'âge - Données intégrales (100 %)

Sexe masculin, total	Sexe féminin, total
0 à 74 ans par intervalle de 5 ans	0 à 74 ans par intervalle de 5 ans
75 et plus	75 et plus

Population totale de 15 ans et plus selon l'état matrimonial légal - Données intégrales (100 %)

Jamais légalement marié(e) (célibataire)
 Légalement marié(e) (et non séparé(e))
 Séparé(e), mais toujours légalement marié(e)
 Divorcé(e)
 Veuf(ve)

Nombre total de familles de recensement dans les ménages privés - Données-échantillon (20 %)

Taille de la famille de recensement : 2 personnes
 Taille de la famille de recensement : 3 personnes
 Taille de la famille de recensement : 4 personnes
 Taille de la famille de recensement : 5 personnes ou plus
 Nombre moyen de personnes par famille de recensement

Population totale selon la langue maternelle - Données-échantillon (20 %)

Anglais
 Français
 Langues non officielles
 Anglais et français
 Anglais et langue non officielle
 Français et langue non officielle
 Anglais, français et langue non officielle

Population totale selon la langue parlée le plus souvent à la maison - Données-échantillon (20 %)

Anglais
 Français
 Langues non officielles
 Anglais et français
 Anglais et langue non officielle
 Français et langue non officielle
 Anglais, français et langue non officielle

Population totale selon le statut d'immigrant et le lieu de naissance - Données-échantillon (20 %)

Non-immigrants
 Immigrants
 Résidents non permanents

Population totale de 15 ans et plus selon l'activité - Données-échantillon (20 %)

Population active
 Personnes occupées
 Chômeurs
 Inactifs
 Taux d'activité
 Taux d'emploi
 Taux de chômage

Tableau 5.2 (suite): Variables retenues du recensement pour l'analyse socio-économico-démographique des corridors de TC

Population active occupée totale de 15 ans et plus ayant un lieu habituel de travail ou sans adresse de travail fixe selon le mode de transport - Données-échantillon (20 %) Automobile, camion ou fourgonnette, en tant que conducteur Automobile, camion ou fourgonnette, en tant que passager Transport en commun À pied Bicyclette Motocyclette Taxi Autre moyen
Population totale de 25 à 64 ans selon le plus haut certificat, diplôme ou grade - Données-échantillon (20 %) Aucun certificat, diplôme ou grade Diplôme d'études secondaires ou l'équivalent Certificat ou diplôme d'apprenti ou d'une école de métiers Certificat ou diplôme d'un collège, d'un cégep ou d'un autre établissement d'enseignement non universitaire Certificat, diplôme ou grade universitaire
Nombre total de ménages privés selon la taille du ménage - Données intégrales (100 %) 1 personne 2 personnes 3 personnes 4 personnes et plus Nombre moyen de personnes dans les ménages privés
Nombre total de logements privés occupés selon le mode d'occupation - Données-échantillon (20 %) Possédé Loué
Nombre total de logements privés occupés selon la période de construction - Données-échantillon (20 %) Période de construction, avant 1946 Période de construction, 1946 à 1960 Période de construction, 1961 à 1970 Période de construction, 1971 à 1980 Période de construction, 1981 à 1985 Période de construction, 1986 à 1990 Période de construction, 1991 à 1995 Période de construction, 1996 à 2000 Période de construction, 2001 à 2006
Nombre total de logements privés occupés selon le type de construction résidentielle - Données intégrales (100 %) Maison individuelle non attenant Maison jumelée Maison en rangée Appartement, duplex Appartement, immeuble de cinq étages ou plus Appartement, immeuble de moins de cinq étages Autre maison individuelle attenant
Population totale de 15 ans selon la présence d'un revenu - Données-échantillon (20 %) Sans revenu d'emploi Avec un revenu d'emploi Revenu moyen d'emploi en 2000 \$ Erreur type du revenu moyen d'emploi \$

5.5 L'assemblage des données pour un corridor

L'ampleur de la base de données pose un défi quant à l'assemblage des données qui seront analysées. La base de données initiale contient le profil cumulatif du Québec. L'objectif est de trouver une procédure efficace qui permet l'extraction des données pour n'importe quel corridor (Figure 5.5).

Premièrement, les données sur la population sont traitées sur plateforme de chiffrier. Les corridors étudiés à titre d'exemple dans le cadre de ce projet se trouvent tous sur le territoire de l'île de Montréal, donc la première étape consiste à filtrer les aires de diffusion qui sont à l'extérieur de ce territoire. Le filtre s'effectue directement sur le chiffrier et les aires de diffusion avec un identificateur unique (ADIDU) entre 24660000 et 24670000 sont retenues. Similairement, il faut filtrer les champs qui ont été identifiés dans la section précédente.

Deuxièmement, les données géographiques (shapefile) sont manipulées avec un outil SIG pour créer la zone d'influence du service de transport en commun (Figure 5.6). Des zones tampons de 400 mètres à vol d'oiseau sont créées autour des arrêts et elles sont ensuite unies pour avoir un seul polygone. La zone d'influence est ensuite découpée selon les limites des AD pour trouver la proportion de ceux-ci dans la zone d'influence.

La prochaine étape consiste à joindre les données de la population de l'île de Montréal (fichier dbf) aux données géographiques de la zone d'influence du corridor (fichier shp) avec un outil SIG. Cette étape permet de rapidement retirer les données des AD qui se retrouvent dans le corridor selon l'identificateur unique (ADIDU) des zones. Finalement, les données sont pondérées par rapport à la proportion de l'aire de diffusion qui est couverte par la zone d'influence (Figure 5.7). Cette méthode suppose que la population est répartie uniformément dans chaque zone.

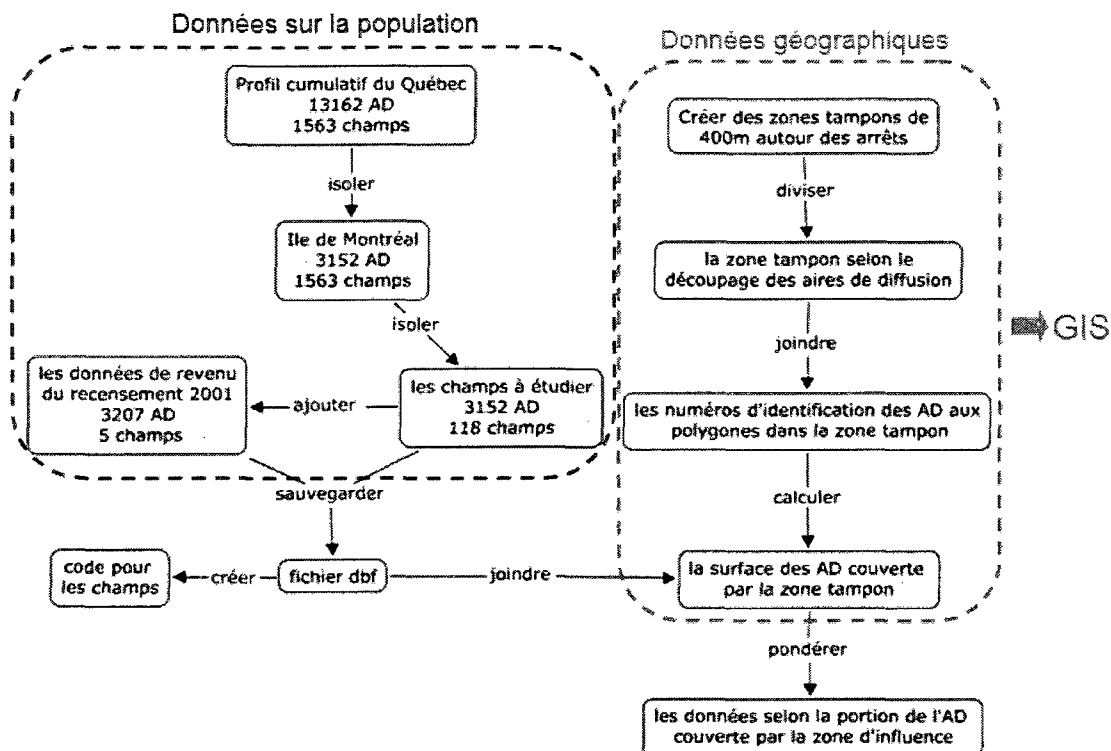


Figure 5.5 : Procédure d'assemblage des données de recensement pour les corridors

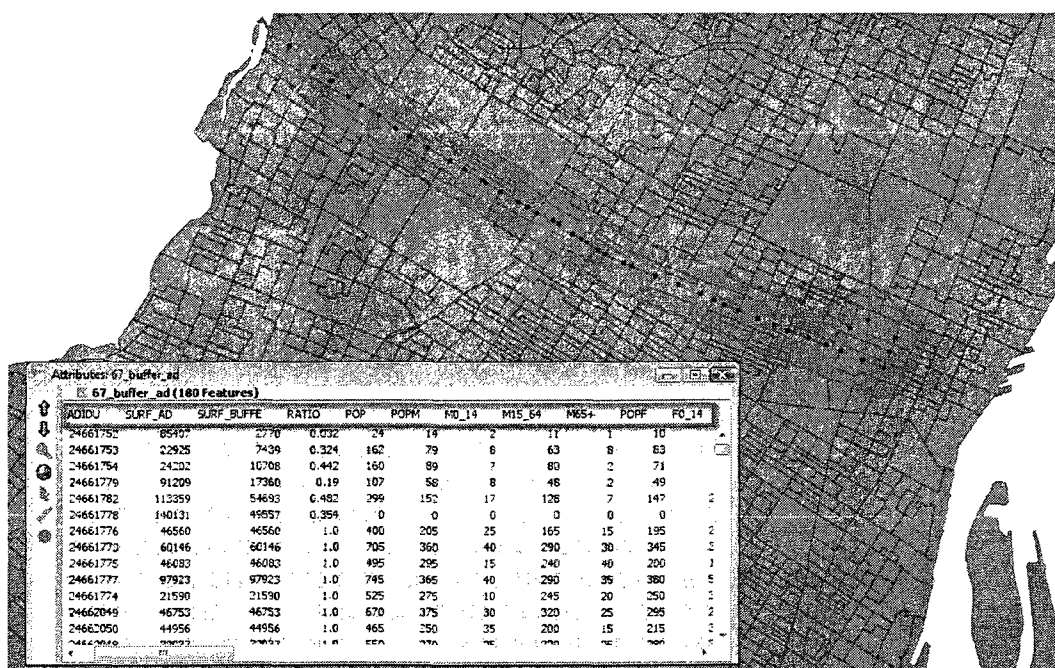


Figure 5.6 : Représentation SIG des AD qui se retrouvent dans la zone d'influence de la ligne 67

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	ADIDU	SURF_AD	SURF_BUFFE	RATIO	POP_AGE	AGE_H	H0_4	H5_9	H10_14	H15_19
1	ADIDU	SURF_AD	SURF_BUFFE	RATIO	POP_AGE	AGE_H	H0_4	H5_9	H10_14	H15_19
2	24661752	85407	2770	0.032	710.0	400.0	20.0	15.0	20.0	20.0
3	24661753	22925	7439	0.324	485.0	230.0	15.0	0.0	10.0	5.0
4	24661754	24202	10708	0.442	385.0	210.0	10.0	5.0	0.0	5.0
5	24661779	91209	17360	0.190	570.0	305.0	15.0	10.0	15.0	10.0
6	24661782	113359	54693	0.482	610.0	310.0	15.0	10.0	10.0	10.0
7	24661778	140131	49557	0.354	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	24661776	46560	46560	1.000	385.0	195.0	10.0	5.0	10.0	5.0
9	24661773	60146	60146	1.000	705.0	365.0	20.0	15.0	5.0	15.0
10	24661775	46083	46083	1.000	525.0	310.0	5.0	5.0	5.0	5.0
11	24661777	97923	97923	1.000	750.0	365.0	20.0	10.0	10.0	20.0
12	24661774	21590	21590	1.000	520.0	270.0	10.0	0.0	0.0	10.0
13	24662049	46753	46753	1.000	680.0	385.0	5.0	5.0	20.0	10.0
14	24662050	44956	44956	1.000	475.0	250.0	10.0	10.0	15.0	20.0
15	24662048	32037	32037	1.000	545.0	280.0	15.0	5.0	5.0	10.0
16	24662035	17863	17863	1.000	495.0	245.0	10.0	5.0	10.0	10.0

Figure 5.7 : Pondération des variables de recensement selon la proportion des AD couvertes par la zone d'influence

5.6 Les résultats

Les résultats de l'analyse socio-économico-démographique sont présentés suite à l'application de la procédure d'assemblage des données de recensement. La méthode est aussi appliquée à un tronçon de la ligne 2 du métro dans le but de valider l'approche ainsi qu'à titre de comparaison au corridor Saint-Michel. Bref, les résultats d'analyse du corridor de métro sont présentés de façon sommaire.

Le corridor Saint-Michel couvre une surface de 7.97 km² avec une population de 73230 personnes et de 34867 ménages donc une densité brute de 9188 personnes par km² et 4374 ménages par km². Il est alors important d'examiner les résultats pour tenter d'expliquer certaines irrégularités. Le segment entre les rues Jarry et De Louvain (Figure 5.8) est particulièrement intéressant puisque les densités dans ce secteur varient grandement. L'examen de ce segment avec GoogleMaps indique que les aires de diffusion à faible densité font partie de zones non habitables. Du côté est

du corridor, on retrouve la carrière Saint-Michel, tandis que du côté ouest il y a un site d'enfouissement (Figure 5.8).



Figure 5.8 : Densité brute de la population selon les AD et section entre les rues Jarry et Industriel

L'analyse de la distribution des âges selon le sexe fait ressortir les caractéristiques suivantes (Figure 5.9) :

- Majorité de femmes dans un rapport de 1.11 :1.
- Concentration de la population des 25 à 29 ans et des 75 ans et plus.
- Majorité de femmes dans un rapport de 2.19 :1 pour les 75 ans et plus.

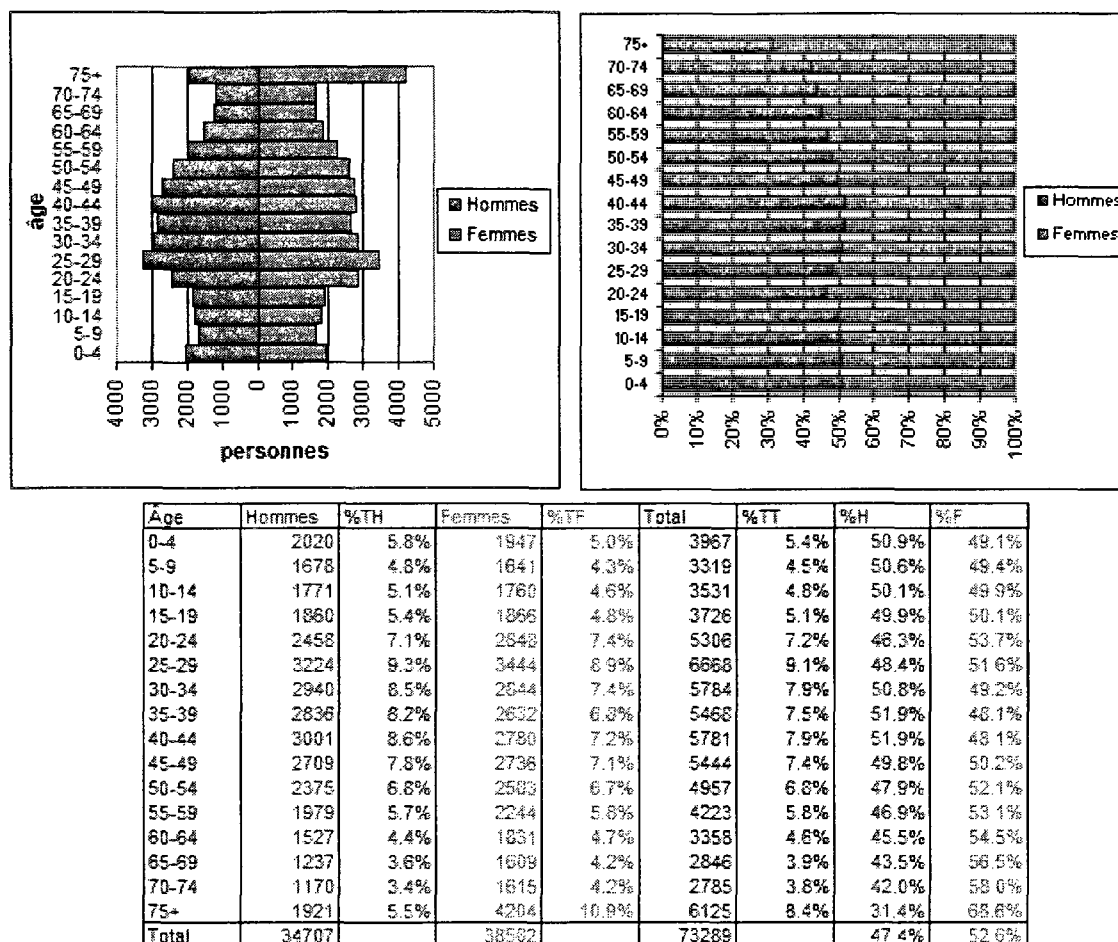


Figure 5.9 : Distribution de la population résidant dans la zone d'influence selon le groupe d'âge et le sexe.

L'étude de l'état matrimonial, de la taille des familles et de la taille des ménages démontre que (Figure 5.10) :

- La grande partie des personnes de 15 ans et plus ne sont pas mariées (48.5%),
- La majorité des familles ont une taille de deux personnes (55.1%),
- Une concentration des ménages à une personne (42.2%).

Une analyse géospatiale permet d'observer une concentration de familles et de ménages à plus grande taille, relativement à la moyenne, entre les rues Jarry et Sauvé (Figure 5.11).

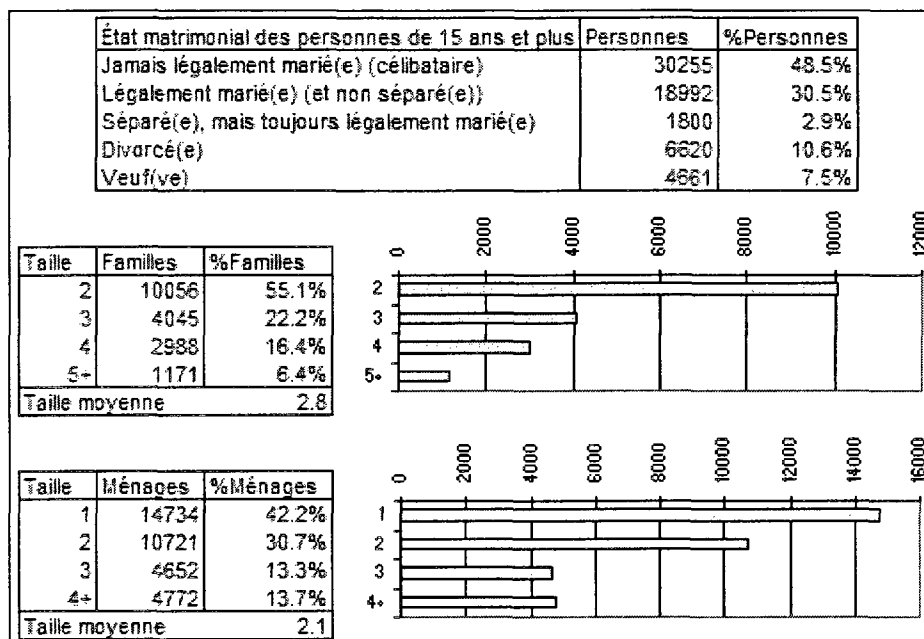


Figure 5.10 : Distribution de la population selon l'état matrimonial, la taille des familles et la taille des ménages

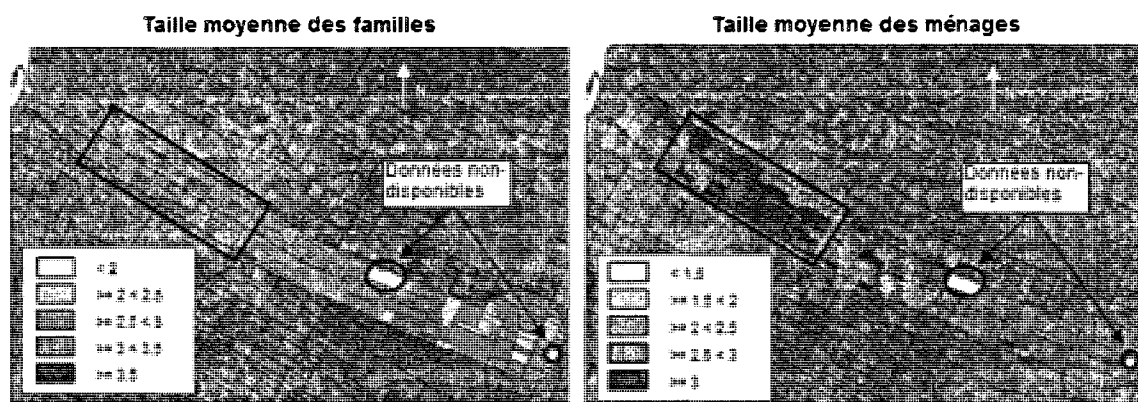


Figure 5.11 : Taille moyenne des familles et des ménages selon les AD

L'analyse des caractéristiques des logements (Tableau 5.3) montre que 94.6% sont des appartements, dont 69.6% sont des appartements de moins de cinq étages. Le taux élevé d'appartements a certainement une influence sur le mode d'occupation des logements, dont 70.6% sont loués. La construction des logements depuis 1946 est surtout concentrée entre 1946 et 1960 avec un taux de 839 logements/an. Depuis 1991, le taux de construction annuel a chuté en dessous des 200 logements par an (Tableau 5.3 et Figure 5.12).

Tableau 5.3 : Distribution des logements selon le type, le mode d'occupation et la période de construction

Type de logement	Logements	%Logements
Maison individuelle non attenant	635	1.8%
Maison jumelée	334	1.0%
Maison en rangée	608	1.7%
Appartement, duplex	7147	20.5%
Appartement, immeuble de cinq étages ou plus	1575	4.5%
Appartement, immeuble de moins de cinq étages	24326	69.6%
Autre maison individuelle attenant	310	0.9%

Mode d'occupation	Logements	%Logement
Possédé	10155	29.4%
Loué	24352	70.6%

Période de construction	Logements	Logements cumulés	moyenne logements / an
Avant 1946	5916	5916	
1946 à 1960	12580	18496	839
1961 à 1970	7091	25587	709
1971 à 1980	2700	28287	270
1981 à 1985	1549	29836	310
1986 à 1990	2276	32112	455
1991 à 1995	813	32925	163
1996 à 2000	529	33454	106
2001 à 2006	836	34290	152



Figure 5.12 : Évolution temporelle du nombre de logements selon les AD.

La langue le plus souvent parlée à la maison est le français (67.8%), suivie par les langues non officielles (21.6%) (Figure 5.13). L'analyse comparative entre la langue maternelle et la langue le plus souvent parlée à la maison démontre une tendance vers le français. Plus de personnes parlent le français à la maison que de personnes dont la langue maternelle est le français (+7.4%) et moins de personnes parlent des langues non officielles à la maison que de personnes dont la langue maternelle est non officielle (-12.5%). On remarque aussi que près d'un tiers des résidents dans la zone d'influence ne sont pas des citoyens canadiens de naissance (Tableau 5.4).

Langue maternelle	Personnes	%Personnes
Anglais	2184	3.1%
Français	42981	60.4%
Langues non officielles	24311	34.1%
Anglais et français	340	0.5%
Anglais et langue non officielle	169	0.2%
Français et langue non officielle	1118	1.6%
Anglais, français et langue non officielle	113	0.2%

Langue parlée le plus souvent à la maison	Personnes	%Personnes
Anglais	4064	5.7%
Français	48265	67.8%
Langues non officielles	15393	21.6%
Anglais et français	439	0.6%
Anglais et langue non officielle	366	0.5%
Français et langue non officielle	2405	3.4%
Anglais, français et langue non officielle	253	0.4%

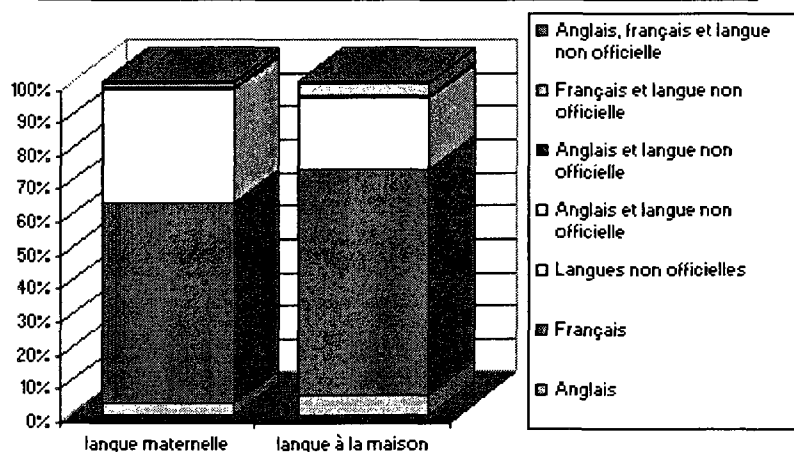


Figure 5.13 : Distribution de la population selon la langue maternelle et la langue parlée le plus souvent à la maison

Tableau 5.4 : Distribution de la population selon le statut d'immigrant

Statut d'immigrant	Personnes	%Personnes
Non-immigrants	48697	68.3%
Immigrants	21632	30.3%
Résidents non permanents	1000	1.4%

L'analyse au niveau de l'éducation, de l'emploi et du revenu des résidents se résume par :

- Une concentration des personnes ayant fait des études universitaires (Tableau 5.5),
- Un taux d'activité d'emploi de 62.7% (Tableau 5.6),
- Un revenu moyen d'emploi faible surtout dans la section entre les rues Jarry et Industriel (Figure 5.14).

Tableau 5.5 : Distribution de la population (25 à 64 ans) selon l'éducation

Certificat, Diplôme ou grade	Personnes	%Personnes
Aucun certificat, diplôme ou grade	8464	20.8%
Diplôme d'études secondaires ou l'équivalent	7320	18.0%
Certificat ou diplôme d'apprenti ou d'une école de métiers	6206	15.3%
Certificat ou diplôme d'un collège, d'un cégep	6874	16.9%
Certificat, diplôme ou grade universitaire	11790	29.0%

Tableau 5.6 : Distribution de la population de 15 ans et plus selon le niveau d'activité et le revenu

Type d'activité	Personnes		
Population active	37947	Taux d'activité	62.7%
Personnes occupées	34304	Taux d'emploi	56.7%
Chômeurs	3650	Taux de chômage	9.6%
Inactifs	22593		

Présence de revenu	Personnes	%Personnes
Sans revenu d'emploi	23869	39.3%
Avec un revenu d'emploi	36799	60.7%

Revenu moyen d'emploi en 2000	\$ 23,921
-------------------------------	-----------

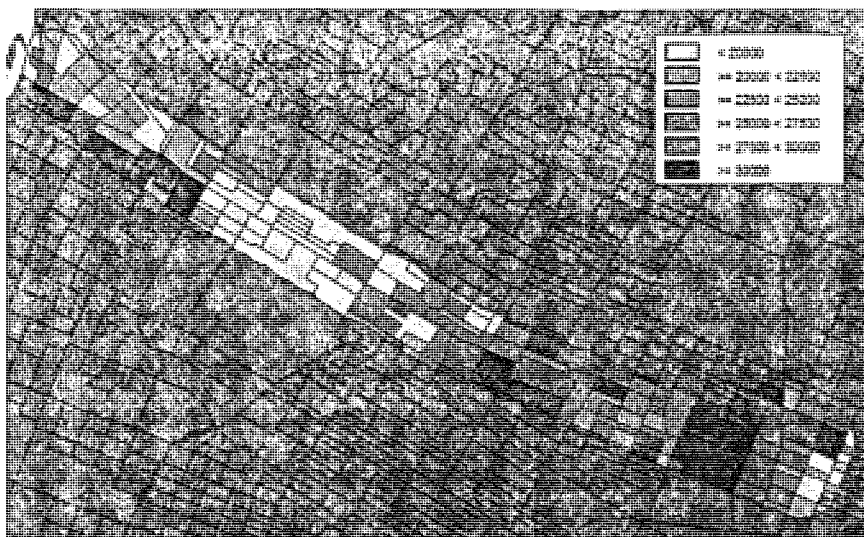


Figure 5.14 : Revenu moyen des personnes selon les AD

Le Tableau 5.7 montre le principal mode de transport habituellement utilisé du domicile au lieu de travail. 90.6% des résidents utilisent les modes motorisés de transport, tandis que 8.9% utilise les modes non motorisés. L'automobile privée est le mode le plus utilisée, suivit du transport en commun dans un rapport de 1.23 :1.

Tableau 5.7 : Répartition modale des personnes occupées selon le principal mode de transport du domicile au lieu de travail

Principal mode de transport du domicile au lieu de travail	Personnes	%Personnes
Automobile, camion ou fourgonnette, en tant que conducteur	14902	45.8%
Automobile, camion ou fourgonnette, en tant que passager	1259	3.9%
Transport en commun	13155	40.5%
À pied	2088	6.4%
Bicyclette	816	2.5%
Motocyclette	31	0.1%
Taxi	124	0.4%
Autre moyen	143	0.4%

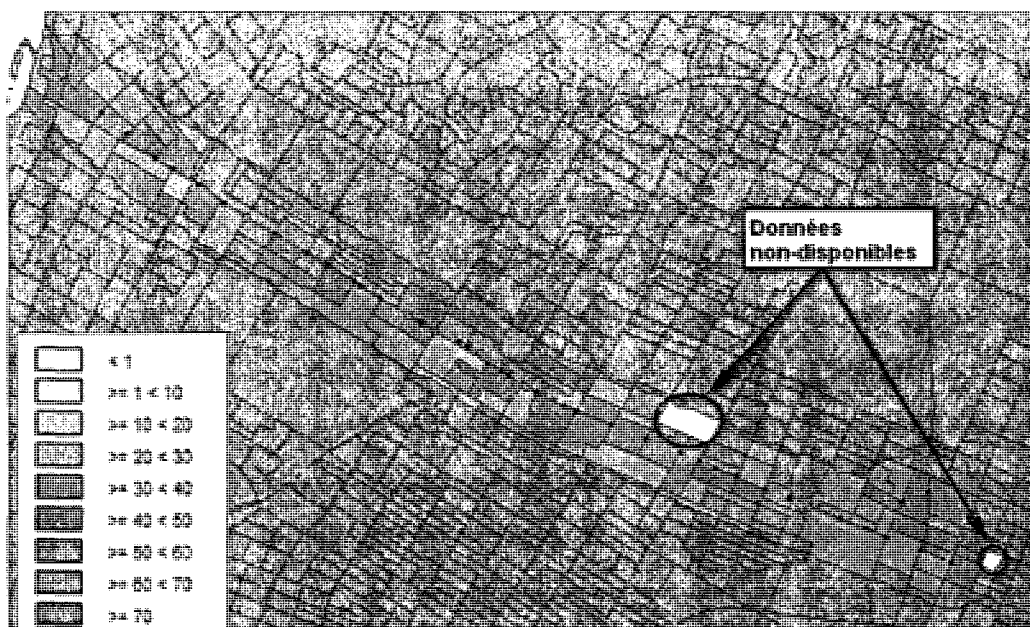


Figure 5.15 : Part modale du TC comme principal mode de transport au travail selon les AD

5.7 Analyse comparative

Une préoccupation importante dans l'étude de la population d'un corridor est d'analyser ses particularités par rapport au reste de la population. Ici, la population dans la zone d'influence de la ligne 67 est comparée à la population de l'île de Montréal. Les résidents du corridor Saint-Michel se distinguent de la façon suivante :

- Une densité de population plus élevée dans un rapport de 2.48 :1 en termes de personnes/km² et 2.63 :1 en termes de ménages/km² (Figure 5.16).
- Un revenu moyen plus faible (-7175\$) (Figure 5.17).
- Une plus grande concentration d'immeubles à 5 étages ou moins (69.6% des logements) (Figure 5.18).
- Une plus grande utilisation du français à la maison (67.8% des personnes) (Figure 5.19).
- Un niveau d'éducation moins élevé, surtout au niveau des diplômés universitaires (29.0% vs 39.6%) (Figure 5.20).

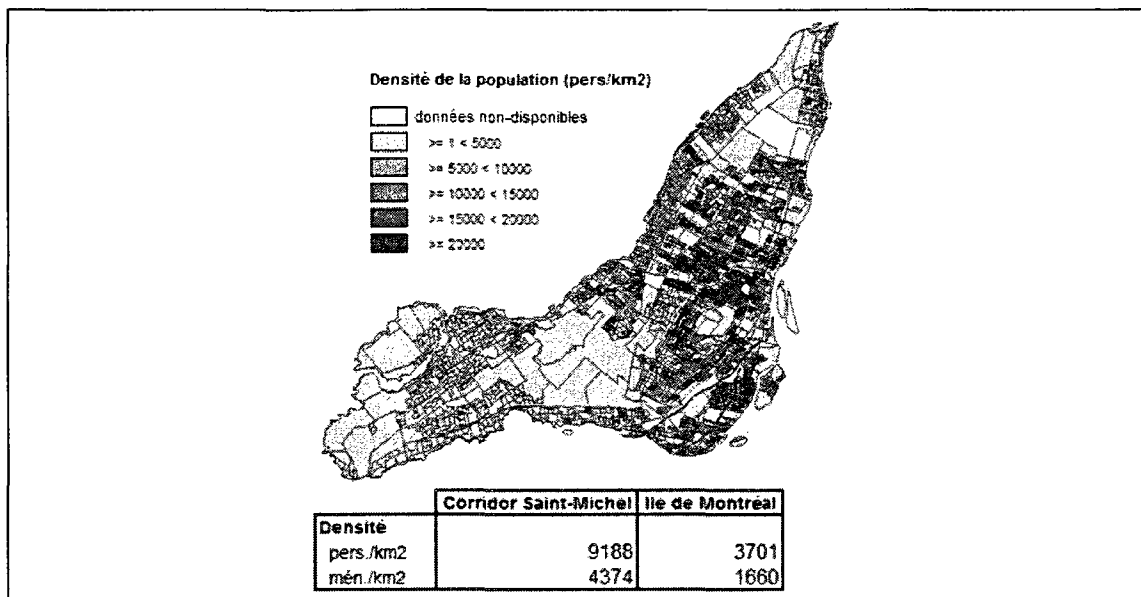


Figure 5.16 : Densité de la population (île de Montréal)

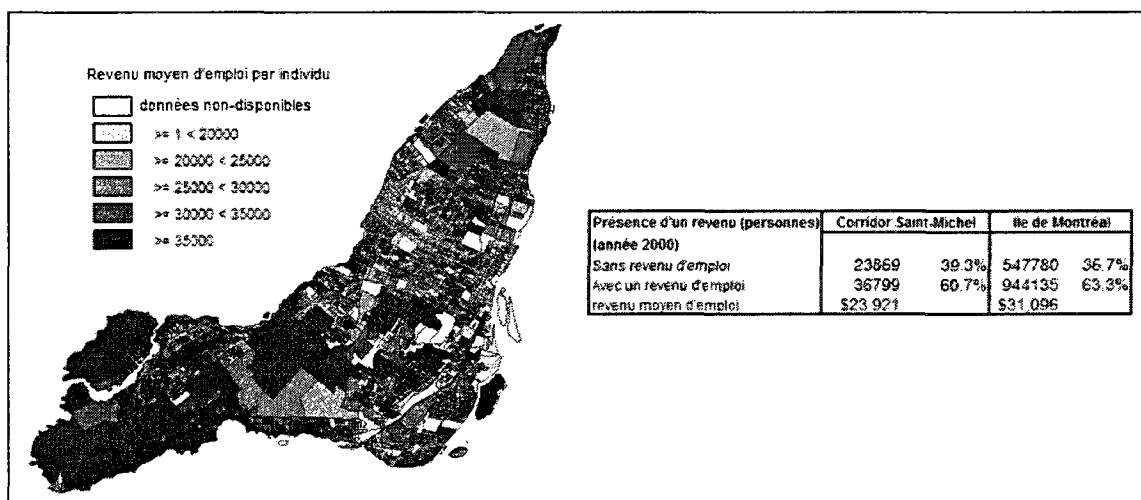


Figure 5.17 : Revenu individuel (île de Montréal)

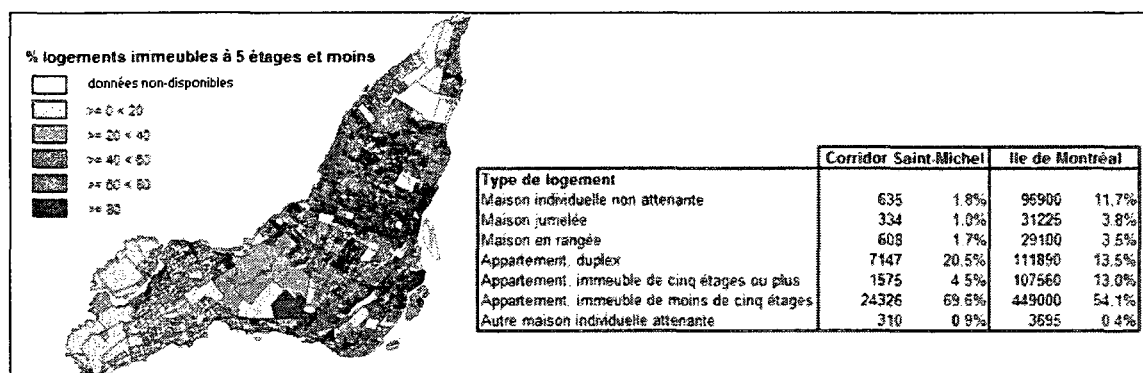


Figure 5.18 : Type de logements (île de Montréal)

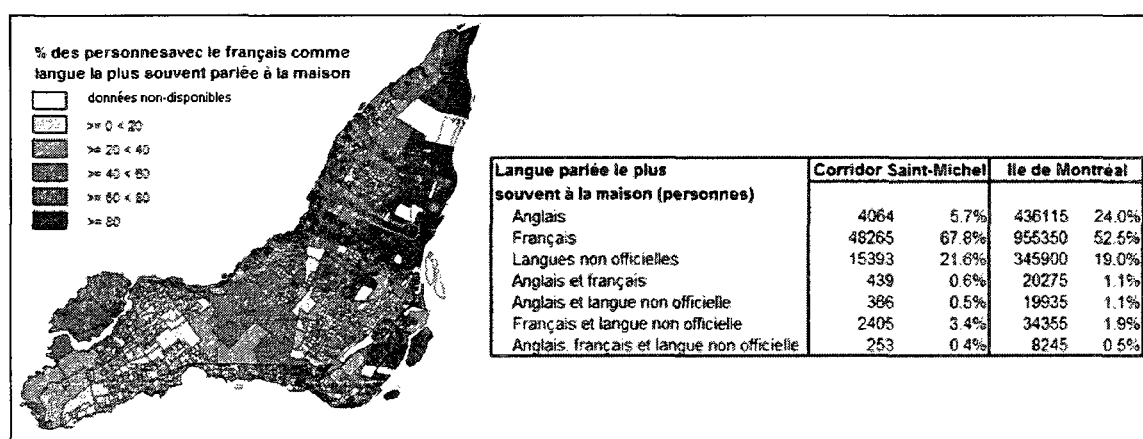


Figure 5.19 : Langue la plus souvent parlée à la maison (île de Montréal)

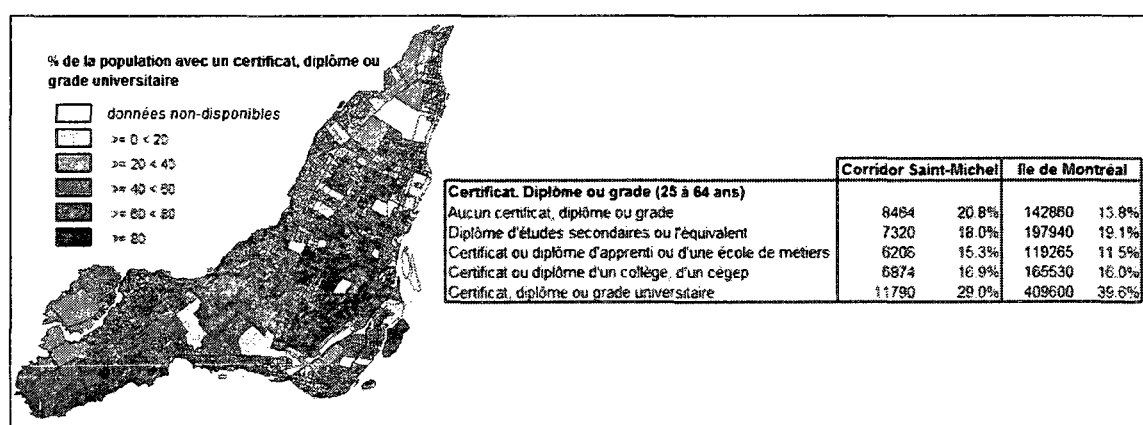


Figure 5.20 : Niveau d'éducation selon le plus haut certificat, diplôme ou grade (île de Montréal)

5.8 Segmentation virtuelle du corridor

La section précédente examinait les particularités de la ligne 67 par rapport au reste de la population de l'île de Montréal et jusqu'à ce stade, le présent chapitre s'est penché sur une analyse globale du corridor. Dans cette section, il est plutôt question d'une analyse segmentaire au sein du corridor pour établir les particularités au niveau interne. La ligne 67, avec une longueur de 9.7 km et une zone d'influence de 7.97 km², doit sûrement avoir une population très variée. La segmentation virtuelle du corridor est faite selon les secteurs municipaux, dans un premier temps, pour établir une procédure d'analyse normalisée et, dans un deuxième temps, pour examiner certaines préconceptions socio-économico-démographiques envers ces quartiers. Dans le cas de la ligne 67, les autobus passent par les secteurs de Montréal-Nord, Saint-Michel/Villeray, Rosemont/La Petite-patrie et Hochelaga-Maisonneuve (Figure 5.21).

Comme les données des aires de diffusion ont déjà été assemblées dans le cadre de l'analyse globale du corridor, il s'agit de créer un champ dans la base de données pour identifier les secteurs municipaux associés aux aires de diffusion. La segmentation du corridor se fait à l'aide d'un logiciel SIG, où les aires de diffusion sont sélectionnées pour chacun des quartiers et elles sont identifiées dans la base de données selon un code de secteur. Les limites géographiques des secteurs municipaux sont identifiées à l'aide du navigateur urbain de la ville de Montréal (Ville de Montréal, 2003).



Figure 5.21 : Segmentation du corridor Saint-Michel selon les secteurs municipaux

L'analyse des résultats par l'intermédiaire d'une application interactive fait ressortir les caractéristiques propres à chaque tronçon (Figure 5.22). Dans un premier temps, on constate des densités de population de 12093 pers/km² et 6534 ménages/km² dans le quartier Hochelaga-Maisonneuve, valeurs relativement élevées par rapport aux moyennes de 9188 pers/km² et 4374 ménages/km². Le quartier Hochelaga se démarque aussi au niveau de l'âge et du sexe des personnes en étant le seul quartier avec une majorité d'hommes (51.6%) et en ayant un faible pourcentage de jeunes. En fait, les personnes de 19 ans et moins forment seulement 13.9% de la population de ce secteur, en contraste à 24.5% dans le secteur totalisant le plus grand pourcentage à cette catégorie (Saint-Michel), et à 19.8% pour l'ensemble du corridor. Autre fait intéressant, les femmes de plus de 75 ans constituent 17.5% de la population de Montréal-Nord. Une recherche internet permet de constater qu'il y a deux habitations pour personnes âgées dans cette zone, l'un est sur la rue Henri-Bourassa au coin de Saint-Michel et l'autre est sur la rue Prieur au coin de Leblanc. L'analyse de la langue maternelle et du statut d'immigrant montre le multiculturalisme du quartier Saint-Michel. Une majorité (56.1%) de la population dans cette zone a hérité d'une langue maternelle autre que l'anglais ou le français et presque la moitié (49.8%) est née à

l'extérieur du Canada. D'autre part, l'étude des caractéristiques socio-économiques des secteurs révèle que le quartier Saint-Michel est le plus démuné avec un revenu moyen individuel de 20,112 \$ et un taux de chômage relativement élevé de 11.2%.

Tableau 5.8 : Caractéristiques socio-économico-démographiques selon la segmentation municipale du corridor Saint-Michel.

	MTL-Nord	Saint-Michel	Rosemont	Hochelaga	Corridor S-M
Surface (km ²)	1.35	3.06	2.69	0.87	7.97
Personnes	10959	26485	25324	10462	73230
Ménages	5303	10441	13471	5653	34867
Densité (pers/km ²)	8121	8645	9406	12093	9188
Densité (ménages/km ²)	3929	3408	5004	6534	4374
Taille moyenne des ménages	2.1	2.5	1.9	1.9	2.1
% langue mat. non-officielle*	38.8%	56.1%	16.4%	15.4%	34.1%
% Immigrants** et non-résidents	33.8%	49.7%	17.1%	18.7%	31.7%
Taux de diplômé universitaire	26.5%	16.1%	39.8%	33.7%	29.0%
Revenu d'emploi	\$ 23,315	\$ 20,112	\$ 28,273	\$ 23,175	\$ 23,921
Taux de chômage	12.0%	11.2%	7.9%	8.6%	9.6%
%TC pour déplacements travail	32.2%	43.5%	37.2%	48.5%	40.5%

* Les langues non-officielles sont les langues autres que l'anglais et le français.

** Les immigrants sont ceux qui ont immigré au Canada, peu importe leur statut actuel.

Caractérisation socio-économico-démographique du corridor Saint-Michel selon les secteurs municipaux

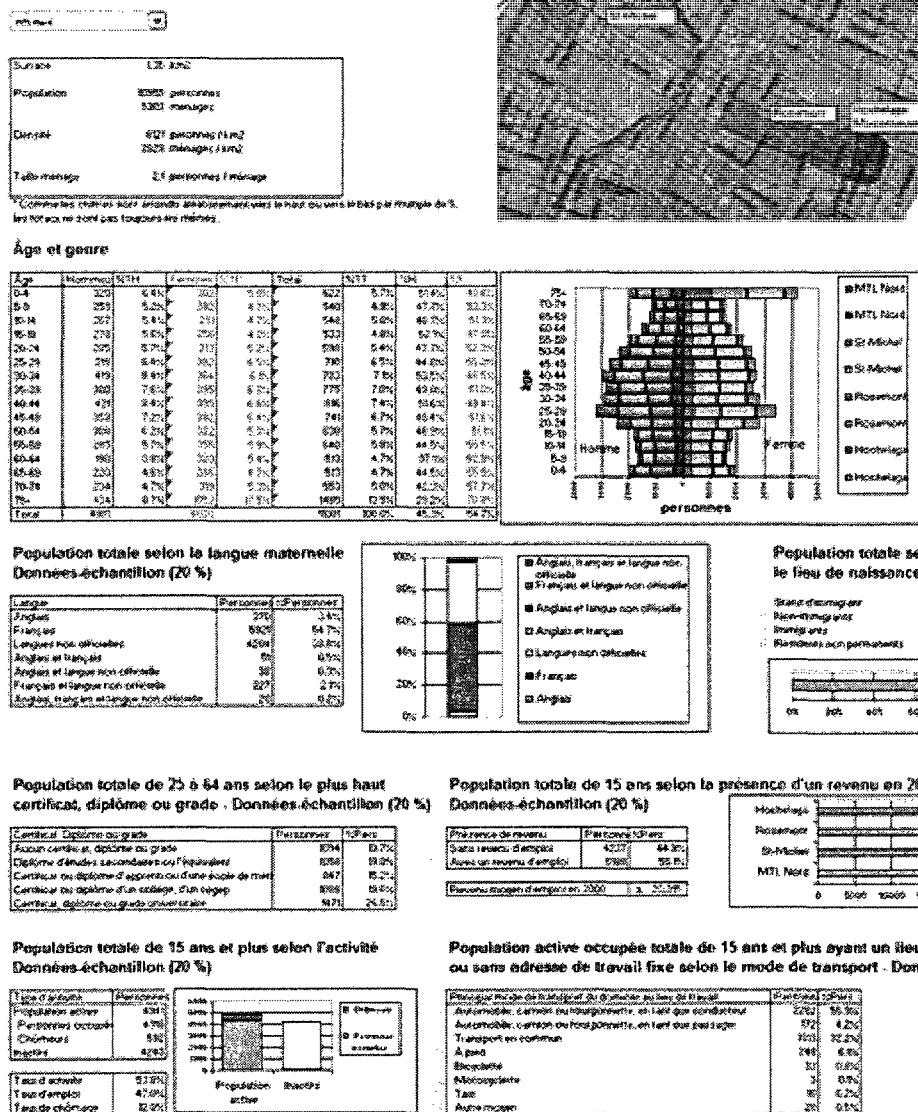


Figure 5.22 : Application Excel interactive pour l'analyse d'un corridor selon les secteurs municipaux

5.9 Conclusion

La méthode proposée dans ce chapitre visait à caractériser les résidents dans la zone d'influence du service de TC par le traitement des données géospatiales et sociodémographiques provenant des recensements nationaux. Le traitement des données a été effectué au niveau de l'aire de diffusion puisqu'elle était le plus petit

découpage territorial disponible. La tentative de caractériser le corridor à un niveau plus fin a eu un effet paradoxal sur les résultats en diminuant la précision des données dans chaque zone. En fait, les valeurs pour chacune des AD sont arrondies aléatoirement par multiple de cinq pour conserver la confidentialité des résidants. Cette méthode a donc une influence sur la précision des données et se manifeste plus fortement avec de petits échantillons.

Comme suggérées par la littérature, certaines variables sociodémographiques comme la densité de la population, le revenu et la taille des ménages sont positivement corrélées à la part modale du TC. De plus, la caractérisation de la population devient encore plus intéressante avec l'émergence relativement récente des outils SIG permettant un traitement et une visualisation claire d'une grande base de données. Le principal défi demeure tout de même le traitement automatique des données de recensement qui requiert une intégration des données géographiques et sociodémographiques en plusieurs étapes.

Le prochain chapitre explore les méthodes de caractérisation des usagers d'un corridor de TC selon l'approche totalement désagrégée.

Chapitre 6 : Caractérisation des déplacements individuels et des générateurs de déplacements

6.1 Revue de littérature

6.1.1 Approche agrégée

Développée dans les années 1960, la procédure séquentielle classique utilise un découpage territorial grossier pour caractériser le flot de déplacements interzonaux et intrazonaux avec une matrice OD (Figure 6.1). Cette méthode ne permet donc qu'un traitement agrégé de la demande, où les caractéristiques sociodémographiques et les comportements de déplacements sont réduits à des valeurs moyennes pour chaque zone. Ainsi, les caractéristiques individuelles des déplacements sont inexistantes. Les quatre étapes de la procédure séquentielle classique se résument comme suit :

1. La **génération** détermine la fréquence des déplacements produits et attirés par une zone selon le motif du déplacement (« home-based-work », « non-home-based » et « home-based-other ») en fonction de l'utilisation du sol et des facteurs socio-économiques.
2. La **distribution** consiste à calculer le flot des déplacements en associant les origines aux destinations. Le modèle de gravité est le plus souvent utilisé pour distribuer les déplacements (T_{ij}) et, sous sa forme élémentaire, s'exprime de la façon suivante :

$$T_{ij} = k \frac{P_i P_j}{d_{ij}}$$

- P_i et P_j sont les populations des lieux d'origine et de destination, respectivement.
- D_{ij} est la distance entre l'origine et la destination.
- k est une constante de proportionnalité liée à la concentration temporelle du phénomène. La valeur de k sera plus élevée pour une plus longue période.

3. La **répartition modale** détermine la proportion des déplacements entre chaque origine et destination selon le mode de transport emprunté. Le modèle logit est un ratio logarithmique de la probabilité de choisir un mode i sur la probabilité de ne pas choisir ce mode :

$$\log\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) = U_i$$

U_i est la fonction d'utilité et dépend des caractéristiques socio-économiques de l'utilisateur, de la période du déplacement et des coûts (temps) associés au mode de déplacement. Elle se traduit algébriquement dans sa forme la plus souvent utilisée :

$$p_i = \frac{e^{U_i}}{1 + e^{U_i}}$$

Cette probabilité est ensuite multipliée par le nombre de voyageurs.

4. L'**affectation** consiste à l'assignation des déplacements à un trajet sur un réseau de nœuds et de liens simplifié. L'origine des déplacements se fait au centroïde d'une zone et des connecteurs de centroïdes sont utilisés pour affecter les déplacements sur le réseau selon un modèle comportemental.

« Fondamentalement, toute logique que soit la procédure séquentielle classique, il n'en demeure pas moins qu'elle a très peu évolué. Elle était sûrement nécessaire à une époque où les capacités d'analyse et d'exploitation statistique des données d'enquête Origine-Destination demeuraient artisanales, mais maintenant, elle illustre plutôt notre incapacité à intégrer les nouveaux outils technologiques et méthodologiques disponibles (plates-formes microinformatiques très puissantes, approche totalement désagrégée) à une nouvelle vision de la modélisation du transport urbain. » (Chapleau, 1993)

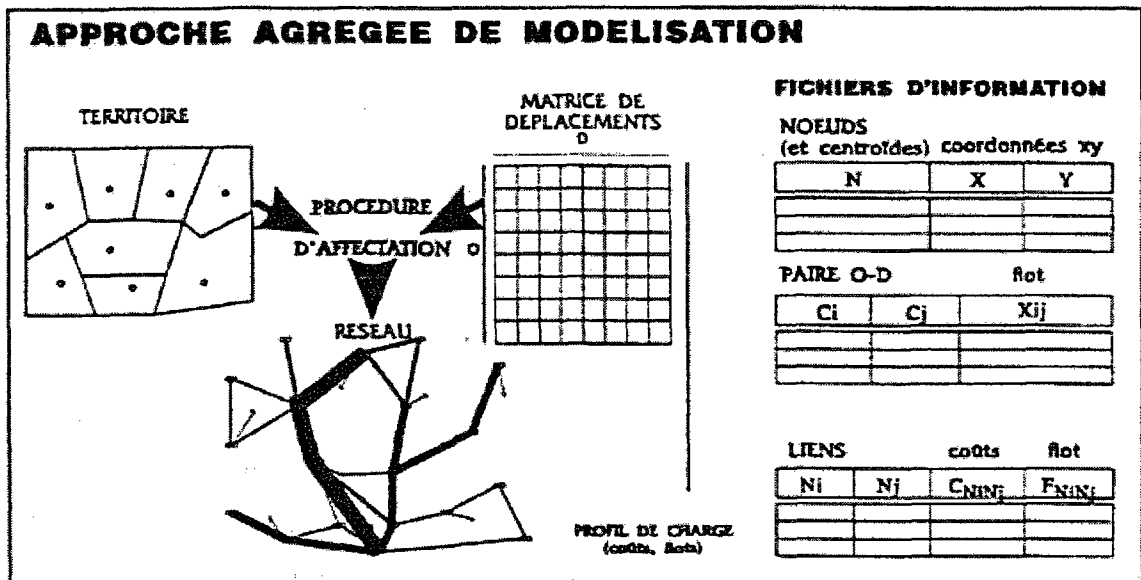


Figure 6.1 : Schéma classique de modélisation d'un réseau de transport (Chapleau, 1992a)

6.1.2 Approche totalement désagrégée

La création de MADITUC (École Polytechnique de Montréal) dans les années 80 amène une nouvelle approche en modélisation de la demande de transport urbain dite totalement désagrégée (Chapleau, 1992a). Elle demeure une approche multidimensionnelle qui intègre toutes les variables associées aux déplacements individuels et qui permet une modélisation très précise des itinéraires de déplacements individuels selon le réseau MADITUC. Elle se démarque des approches classiques par la finesse des informations qu'elle emploie, tant au niveau des déplacements (motif, mode, heure, séquence des modes, géocodage des extrémités de déplacements, etc.), qu'au niveau des caractéristiques socio-économiques des ménages et des personnes.

Sommairement, l'approche totalement désagrégée fait référence à (Chapleau, 2002) :

- Des données d'enquête-ménage portant sur les caractéristiques des ménages et des déplacements individuels telles que l'âge, le sexe et le statut, ainsi que le motif, l'heure, le mode de transport, l'origine et la destination du déplacement;

- Au traitement individuel de chaque déplacement en tenant en compte les variables associées à la personne et à son ménage;
- La localisation par coordonnées géographiques correspondant à une adresse civique ou à un centroïde d'un côté d'îlot et non à des découpages;
- L'intégration de toute information pertinente par rapport à l'offre de transport (géométrie routière, niveau de service, tarification, attente, etc.) et sur la population via les données de recensement (démographie, revenu, niveau d'activité, langue, ethnicité, logement, etc.);
- Un système qui permet de modifier, d'adapter et d'enrichir les données de façon automatique et de rétroagir dans l'analyse des données.

Les déplacements individuels sont composés d'entités « points » (origine et destination), « nœuds » (accès, arrêts et correspondance) et « liens » (Figure 6.2). Ces entités possèdent chacun, entre autres, des attributs spatiaux et temporels qui caractérisent l'accès, l'attente et le parcours du déplacement. L'ensemble des déplacements forme le flot sur le réseau et il est catégorisé selon le(s) mode(s) de transport et le motif des déplacements.

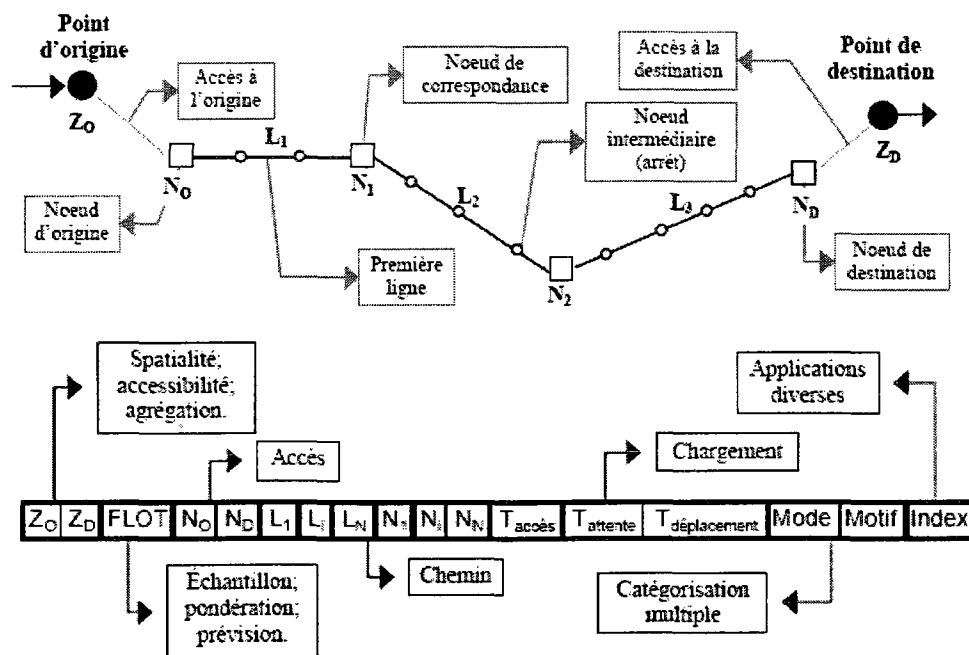


Figure 6.2 : Définition d'un itinéraire de déplacement et composantes analytiques. (Chapleau & Morency, 2002) adapté de (Chapleau & Cea, 1982).

6.1.3 Enquête OD

L'enquête Origine-Destination est « (...) *une vaste étude, menée par entrevues téléphoniques, qui vise à recueillir des renseignements fiables et à jour sur les habitudes de déplacement des résidents de la région métropolitaine de Montréal* » (Agence métropolitaine de transport, 2008b). Depuis 1970, ces enquêtes sont effectuées environ à chaque cinq ans sur un échantillon d'approximativement 5% des ménages de la région montréalaise. L'échantillon totalisait 65227 ménages en 1998, 70400 ménages en 2003 et 86000 ménages seront invités pour l'enquête de 2008 (Agence métropolitaine de transport, 2008a).

L'enquête Origine-Destination consiste en des entrevues téléphoniques où tous les déplacements effectués la veille sont recensés pour chaque membre du ménage ayant 5 ans et plus. L'entrevue s'effectue en automne puisque les habitudes de déplacement sont considérées plus stables durant cette période que pendant tout autre temps de l'année (Agence métropolitaine de transport, 2008b). Généralement, une seule personne répond aux questions d'entrevues pour tous les membres du ménage et les questions portent sur un seul jour de déplacement. Le logiciel MADQUOI, développé par le groupe de recherche MADITUC, assiste la saisie des données obtenues par téléphone et il sert à la vérification des déclarations en temps réel (Figure 6.3). Les questions concernant les déplacements comprennent entre autres des questions sur l'origine, la destination, les correspondances, le motif et le(s) mode(s) de déplacement.

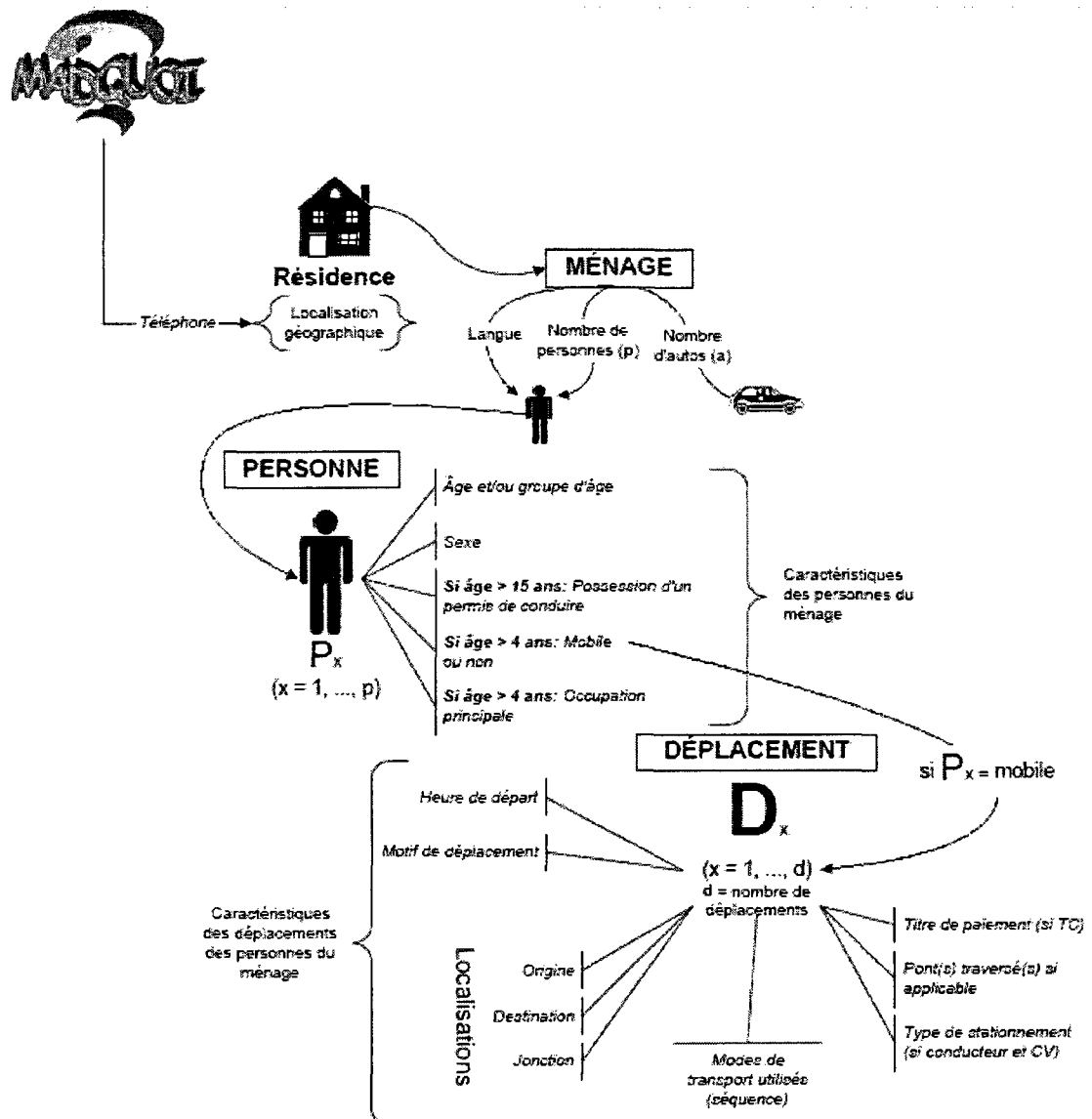


Figure 6.3 : Catégorisation des données d'enquête OD selon les ménages, les personnes et les déplacements (Chapleau & Morency, 2001)

6.1.4 L'enquête de 2003

L'enquête de 2003 s'est effectuée du 3 septembre au 20 décembre 2003 ainsi que du 8 janvier au 24 janvier 2004. En novembre 2003, les employés de la STM ont déclenché une grève, ce qui explique le prolongement de l'enquête jusqu'en janvier 2004. Les caractéristiques du territoire d'enquête et de la population visée sont résumées dans la Figure 6.4. Le territoire est divisé en 79 zones formées par des regroupements de

secteurs de recensement ou de subdivisions de recensement comme définis par Statistique Canada pour le recensement de 2001. Le sondage se basait sur la liste téléphonique résidentielle en date du mois de juillet 2003, représentant 95% de la population visée. Le taux d'échantillonnage varie de 3.3% à 14.7% selon les strates géographiques, avec un taux moyen de 4.7% (70 400 ménages, 366 300 déplacements, 169 900 personnes). (Agence métropolitaine de transport, 2008a)

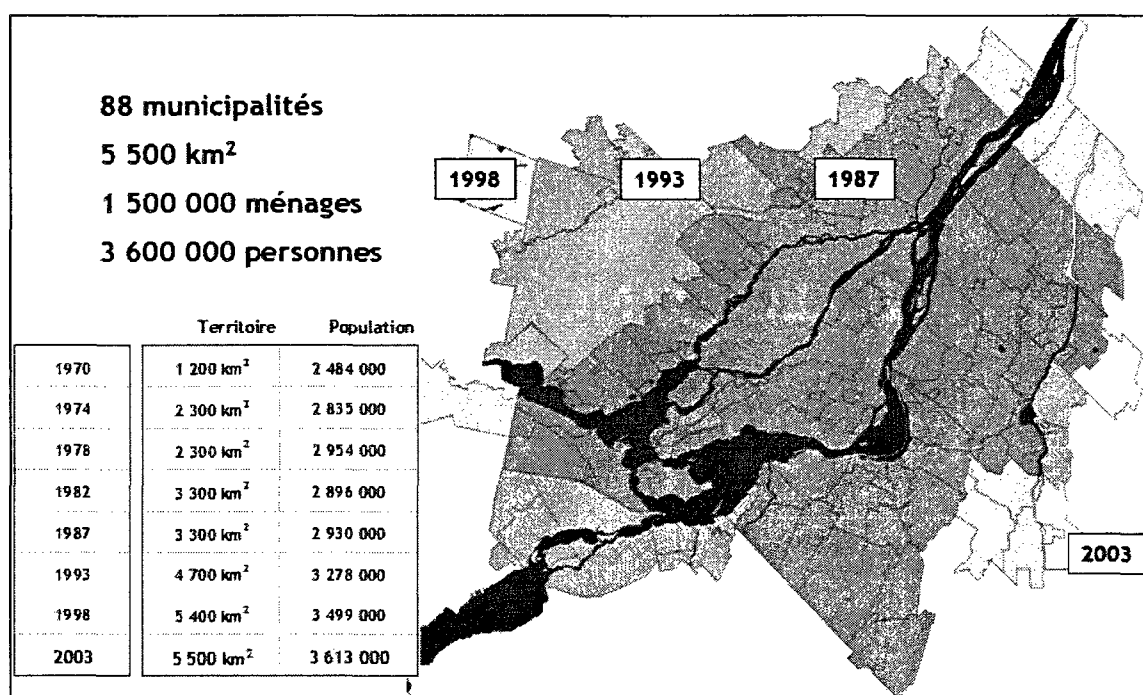


Figure 6.4 : Territoire de l'enquête OD (Agence métropolitaine de transport, 2005)

6.2 Les déplacements empruntant le service de TC du corridor

6.2.1 Les données de la ligne 67

La base de données contient 1219 déplacements ayant emprunté la ligne 67 pendant la période d'automne de l'enquête. Les déplacements à motif retour à domicile sont aussi compris dans la base de données et ils comptent pour 582 déplacements (48%). Les variables sont catégorisées selon les personnes, les ménages et les déplacements et chaque enregistrement comporte un facteur d'expansion selon la catégorie de variable.

La base de données contient aussi des informations spatiales telles que les coordonnées géographiques du domicile, de l'origine et de la destination ainsi que les découpages territoriaux. L'ensemble des 140 champs est résumée dans la Figure 6.5. Il est très important de noter que la généralisation de certains résultats à partir de ces données n'est pas toujours représentatif surtout quand les échantillons sont décomposés en plusieurs petites sous-catégories.

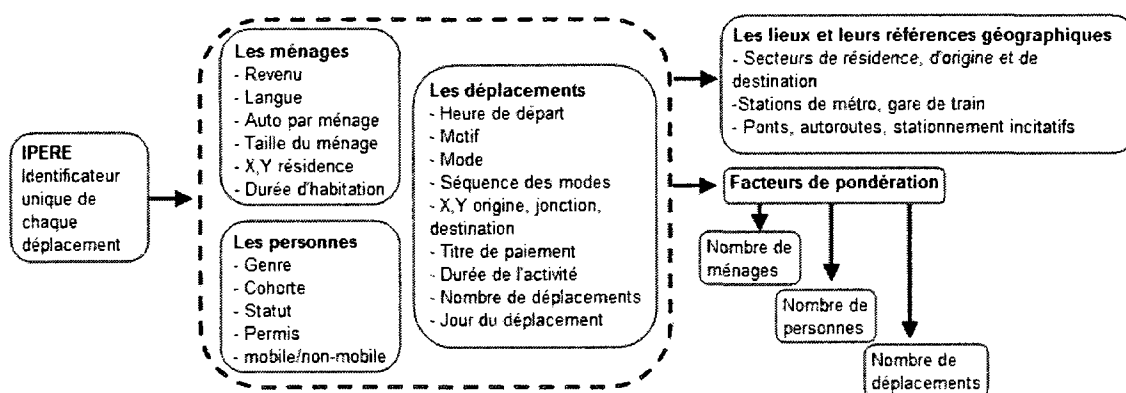


Figure 6.5 : Résumé de l'ensemble des champs pour les déplacements ayant emprunté la ligne 67

La modélisation des itinéraires de déplacements selon les algorithmes du groupe MADITUC permet d'avoir les caractéristiques des déplacements individuels et du système de TC au niveau des nœuds et des liens. La codification des nœuds ne correspond pas nécessairement aux arrêts physiques du réseau, mais plutôt à des points d'accès et de correspondance du réseau. Les données qui sont exploitées à partir de cette modélisation se résument comme suit :

- Coordonnées géographiques (MTM) des nœuds (origine, destination, nœuds du système de TC).
- Distances d'accès (marche) et distances en véhicule des déplacements individuels.
- Temps d'accès, temps d'attente (moitié de l'intervalle de service), temps en véhicule et temps total des déplacements individuels.

- Le nombre d'embarquements et de débarquements aux nœuds et le flot de déplacements engendré par les usagers du corridor sur chaque lien du réseau de TC.

Donc, l'itinéraire de chaque déplacement est modélisé par un ensemble de liens dont les extrémités correspondent aux nœuds MADITUC et qui ont chacun leurs propres attributs tels que la distance et le temps. Des distances à vol d'oiseau sont calculées entre les nœuds pour des fins de comparaison aux distances utilisées dans le modèle. La comparaison des deux types de distances donne un coefficient de corrélation de 0.999 et un R^2 de 0.997. De plus, près de 86% des distances à vol d'oiseau se trouvent à 20 mètres ou moins des distances MADITUC (Figure 6.6). Certains liens d'accès au réseau ont des distances à vol d'oiseau de 10 mètres, tandis que leur distance MADITUC est nulle. Ceci s'explique par le fait que les nœuds d'extrémités des déplacements ne correspondent jamais à un nœud du réseau de TC même si la distance d'accès est nulle. Dans ces cas, il y a une légère séparation spatiale, 10 m dans ce cas, entre le nœud du réseau de TC et le nœud des extrémités de déplacement puisqu'elles sont codifiées séparément. D'autre part, 4 types de temps sont calculés dans la modélisation :

- Le temps d'accès qui correspond au temps de marche pour accéder au réseau de TC et à la destination à une vitesse de 5 km/h.
- Le temps d'attente qui correspond à la moitié de l'intervalle de service et inclut l'attente aux points de transfert. Le modèle fait l'hypothèse que l'arrivée des passagers aux arrêts d'autobus se fait de façon complètement aléatoire en calculant le temps d'attente comme la moitié de l'intervalle de service. Cependant, en réalité les passagers habituels d'un service connaissent l'horaire de passage et arrivent aux arrêts de manière à réduire le temps d'attente.
- Le temps en véhicule(s) qui correspond à la totalité des temps de parcours attribués à chaque lien emprunté.

- Le temps total du déplacement qui correspond à la somme du temps d'accès, du temps d'attente et du temps en véhicule.

Il faut tenir compte du fait que les distances et les temps en automobile ne sont pas inclus pour les déplacements bimodaux. Donc, des distances à vol d'oiseau sont ajoutées pour la portion du trajet effectué en automobile.

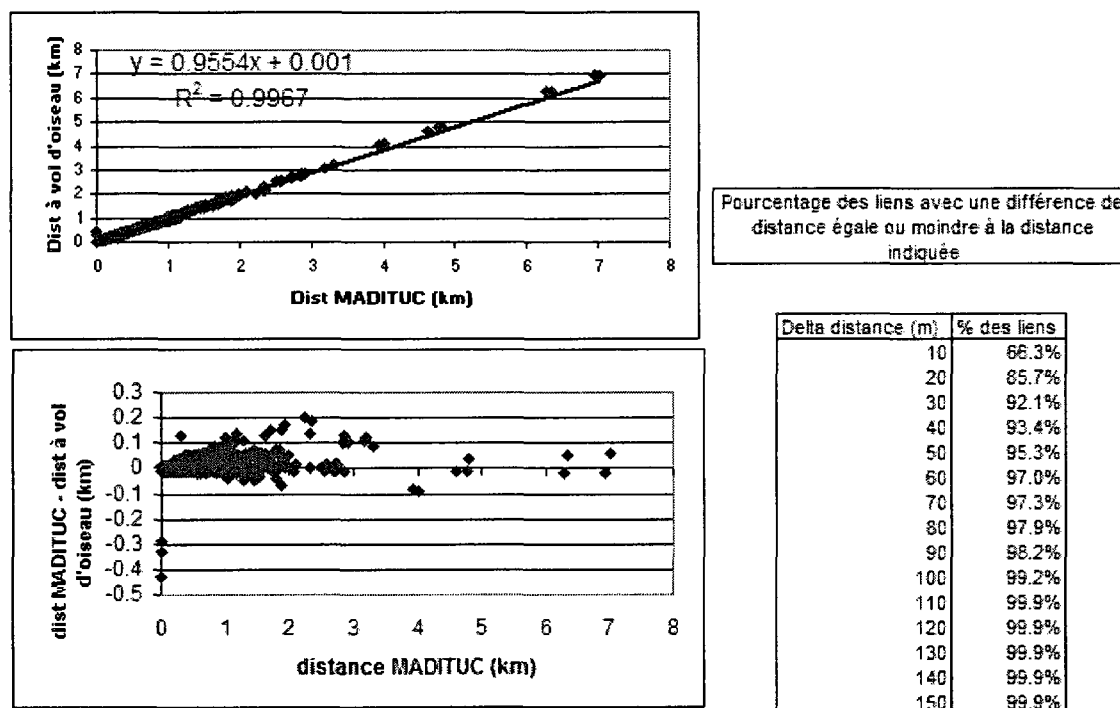


Figure 6.6 : Distribution de la différence des distances à vol d'oiseau et des distances MADITUC

Finalement, le profil de charge des usagers de la ligne 67 permet d'avoir le nombre d'embarquement et de débarquement aux nœuds du réseau selon la ligne empruntée ainsi que les flots de déplacements sur les liens tels que codifiés par le groupe MADITUC. On retrouve deux champs pour les flots dans la base de données : « FLOT » et « FLOT_T ». Le premier est le flot sur le lien pour la ligne de TC indiquée, tandis que le deuxième est le flot total pour toutes les lignes de TC qui passent par le lien.

6.2.2 Méthodologie de travail

La méthodologie de travail pour l'étude de la clientèle d'un corridor de transport en commun est inspirée de travaux déjà accomplis par le groupe MADITUC. Deux travaux ont surtout retenu l'attention : les plaquettes municipales et l'étude de la clientèle du train de banlieue de Montréal. Le premier est une application interactive intégrant les données de recensement et d'enquête Origine-Destination et inclut entre autres la caractérisation des personnes selon des attributs clés de leur mobilité, l'étude des distances de déplacement, la localisation des extrémités de déplacement selon diverses variables affectant la mobilité (motif, mode, heure et genre) et l'étude de l'usage des réseaux de transport en commun (Chapleau & Morency, 2002). Le deuxième se base sur trois enquêtes Origine-Destination (1987, 1993 et 1998) pour étudier la clientèle du train de banlieue (Chapleau, Allard, Trépanier, & Morency, 2002). L'analyse inclut entre autres les modes complémentaires au train (STCUM, STL, STRSM, CIT, auto, vélo, etc.) ainsi que les modes d'accès aux gares de train.

Donc, les déplacements empruntant le corridor de transport en commun sont examinés sous la forme suivante :

1. La distribution des personnes selon la cohorte d'âge ainsi que le mode de déplacement, la possession d'un permis de conduire, le statut, la motorisation du ménage, le revenu du ménage et la taille du ménage.
2. L'étude du nombre de déplacements, des distances de déplacements et des personnes*kilomètres selon le genre et le statut des personnes ainsi que le mode et le motif des déplacements. Les distances sont calculées à vol d'oiseau entre l'origine et la destination et l'analyse comprend la totalité des déplacements empruntant le corridor (incluant les déplacements à motif retour à domicile).
3. Les origines et destinations de déplacement par arrondissement selon le genre, le motif, le mode et l'heure du jour. Les déplacements sont examinés dans un

sens (les retours à domicile sont écartés de l'analyse) pour clairement distinguer la répartition des activités sur le territoire.

4. L'étude détaillée des réseaux de transport en commun utilisés. À un premier niveau, il s'agit d'étudier les réseaux et les modes empruntés par les usagers du corridor. Deuxièmement, il s'agit d'étudier les modes d'accès au corridor ainsi que les modes d'accès à la destination à partir du corridor. Les distances d'accès au corridor et d'accès à la destination sont calculées à partir de la modélisation MADITUC des itinéraires de déplacements. De nouveau, les déplacements sont étudiés de façon unidirectionnelle pour identifier le rôle du corridor. Est-ce un mode de transport pour les résidents à proximité du service? Est-ce un moyen de rabattement vers les stations de métro? Est-ce un moyen de transfert vers d'autres lignes d'autobus?

6.2.3 Les personnes

Cette section caractérise la clientèle de la ligne 67 ainsi que leur ménage. La caractérisation est faite par la distribution du sexe et de l'âge selon 6 variables : le mode emprunté, la possession d'un permis de conduire, le statut des personnes, la taille des ménages, la motorisation des ménages et le revenu des ménages. Les usagers de la ligne 67 se distinguent de la façon suivante :

- Une majorité de femmes dans un rapport de 1.38 :1.
- Une concentration d'hommes de 15 à 19 ans (24.5% de la population masculine).
- Une grande proportion d'étudiants masculins (45% des usagers masculins).
- La moitié des usagers (50.4%) vivent dans des ménages qui ne possèdent pas d'automobile.
- Les hommes vivent dans de plus grands ménages (3.1 vs 2.8 personnes/ménage) avec une proportion relativement élevée de ménages à 5 personnes (16.4% des usagers masculins) (Figure 6.7).

- Une majorité des usagers (57.2%) avec un revenu de ménage en dessous de 40k\$, dont 28.3% à moins de 20k\$ (Figure 6.8).

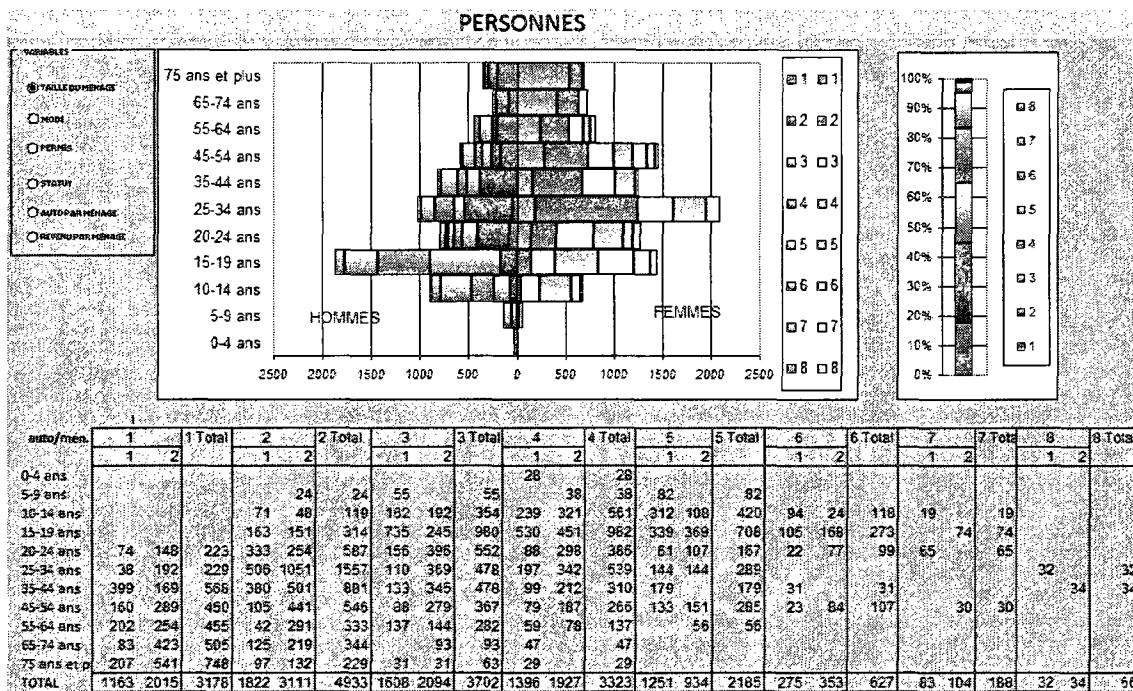


Figure 6.7 : Pyramide d'âge selon la taille des ménages

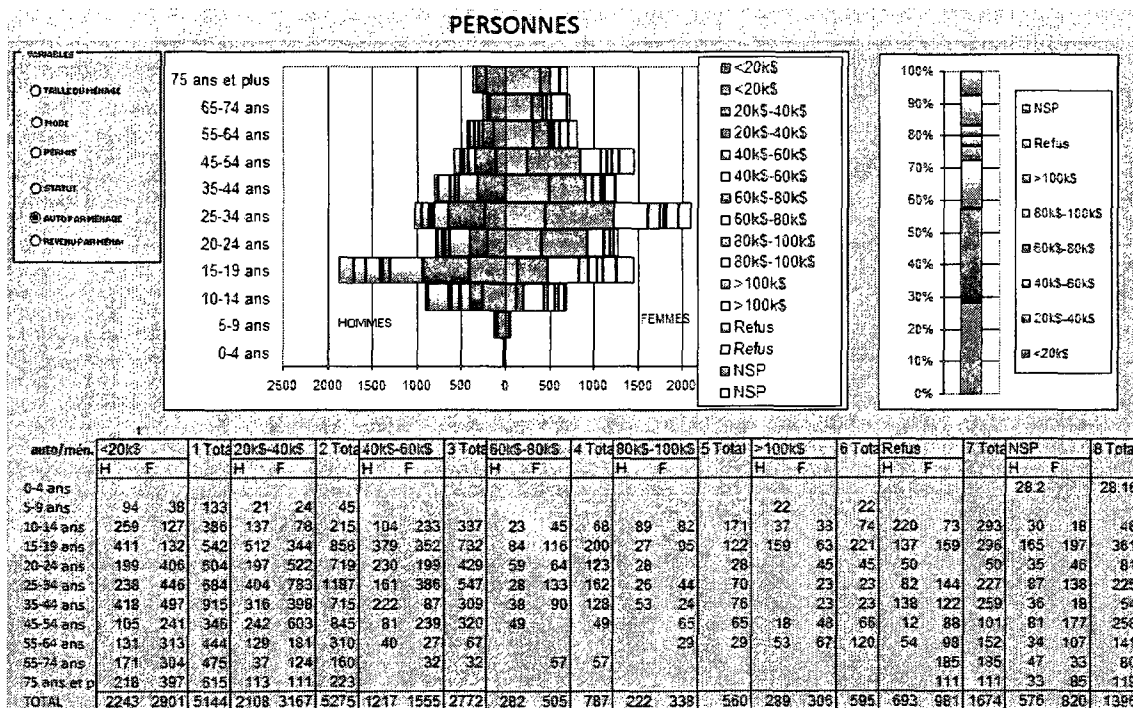


Figure 6.8 : Pyramide d'âge selon le revenu des ménages

6.2.4 Les déplacements et leur distance

Selon les données d'enquête OD, 35 239 déplacements empruntent la ligne 67 par jour moyen de la semaine, totalisant 285 034 personnes*kilomètres et une distance moyenne de 8.09 km par déplacement. Les caractéristiques relatives aux déplacements et à leur distance ont été examinées sous différents angles : le genre et le statut des personnes ainsi que le mode et le motif des déplacements. Sans tenir compte des déplacements à motif retour à domicile, le motif étude génère le plus de déplacements empruntant cette ligne (18% des déplacements) (Figure 6.9). Cependant, les déplacements à motif travail génèrent la plus grande consommation du système de transport avec 62 397 pers*km parcourus due à une distance moyenne de parcours plus élevée (10.5 km). Les graphiques dans la Figure 6.9 montrent le pourcentage des déplacements et pers*km dont la distance de déplacement est plus petit que la distance indiquée. Les résultats pour les autres variables se résument comme suit :

- La majorité des déplacements sont faits par des femmes (57%) avec une distance moyenne quasi identique à ceux des hommes (8.02 km et 8.18 km, respectivement).
- Le « kiss and ride » est le seul mode utilisant l'automobile privée et compte pour 0.7% des déplacements. La distance moyenne de ces déplacements est cependant plus grande de ceux utilisant le transport en commun comme mode unique dans un rapport de 2.3 :1 (18.43 km vs 8.02 km).
- Une concentration d'étudiant (38% des déplacements et 36% des pers*km). La distance moyenne est de 7.61 km pour les étudiants en contraste à 9.91 km pour les travailleurs.

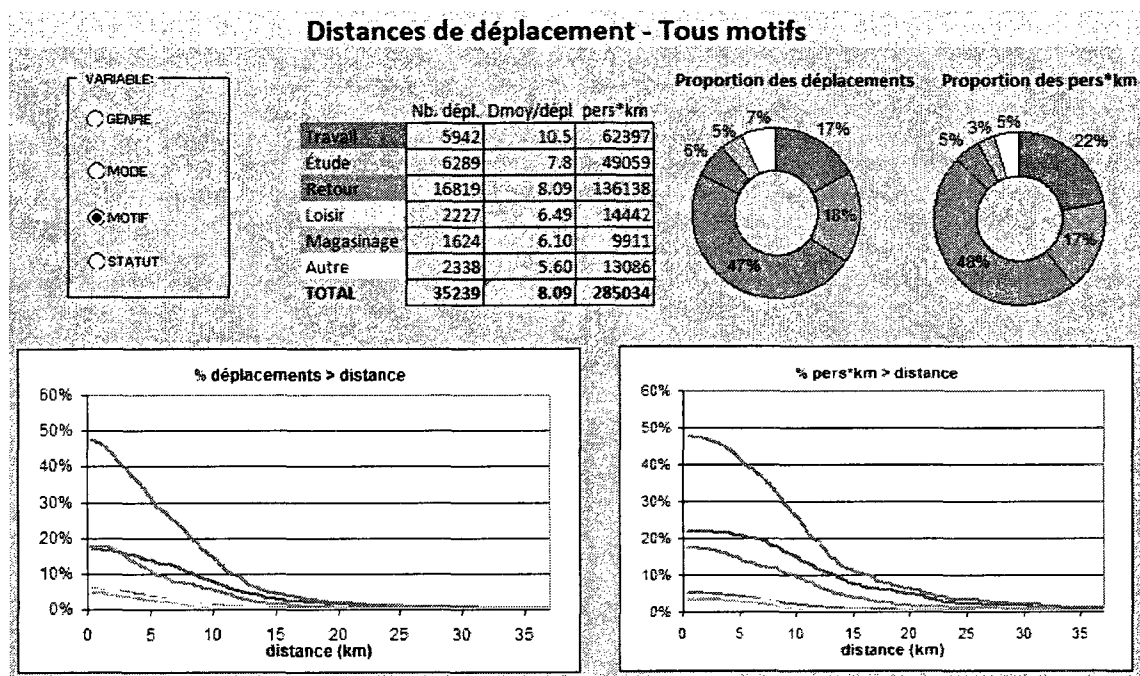


Figure 6.9 : Distribution des déplacements et des distances de déplacement selon le motif

6.2.5 L'analyse des déplacements sans tenir compte des déplacements à motif retour à domicile

Une application interactive est créée pour analyser les déplacements de façon unidirectionnelle, c.-à-d., en excluant les déplacements à motif retour à domicile (Figure 6.10). Il est possible, dans un premier temps, d'étudier les déplacements selon le genre, le motif, le mode et le temps du jour et, dans un deuxième temps, selon le mode d'accès au corridor et le mode d'accès à la destination à partir du corridor. L'application permet aussi la visualisation des extrémités de déplacements et l'analyse du nombre de déplacements, de leur distance et des distances d'accès au corridor et aux destinations selon différentes variables.

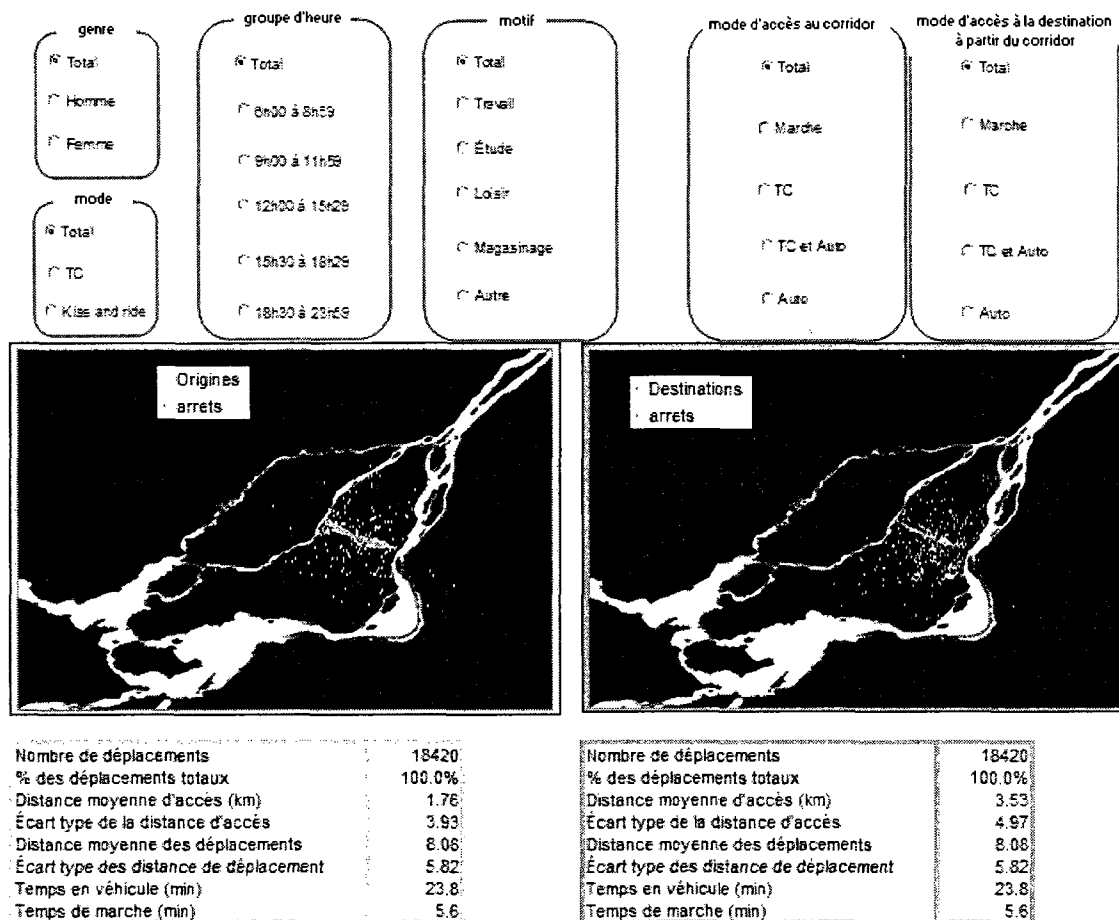


Figure 6.10 : Application interactive illustrant les extrémités de déplacement selon différentes variables

Analyse temporelle des déplacements

L'analyse temporelle des déplacements est faite selon deux variables; premièrement, le genre et, deuxièmement, le motif des déplacements. Sommairement, les déplacements ont les caractéristiques temporelles suivantes (Tableau 6.1):

- La majorité (52.1%) des déplacements sont effectués pendant la période de pointe du matin (6h00 à 8h59),
- Les déplacements effectués avant 6h00 sont très longs (15.29 km) relativement à la distance moyenne du jour (8.08 km),
- Plus d'hommes que de femmes se déplacent entre 0h00 à 8h59, tandis qu'une plus de femmes que d'hommes se déplacent entre 9h00 à 18h29,

- Les hommes se déplacent plus souvent après 18h30 que les femmes à un pourcentage de 6.4% contre 2.9%, respectivement. La sécurité personnelle des femmes peut être la cause d'une telle tendance.

L'analyse plus approfondie de la période de pointe du matin permet de voir une nette différence dans le motif des déplacements selon le sexe (Figure 6.11). Chez les hommes, la majorité (61.2%) des déplacements sont à motif étude, suivis par les déplacements à motif travail (32.1%). La tendance n'est pas la même du côté des femmes, alors que 46.6% des déplacements sont à motif travail et 44.9% sont à motif étude.

Tableau 6.1 : Distribution temporelle et distance des déplacements selon le genre

	Hommes			Femmes			Total		
	nb dépl	%H	dist (km)	nb dépl	%F	dist (km)	nb dépl	%T	dist (km)
0h00-5h59	339	4.4%	16.36	110	1.0%	12.00	449	2.4%	15.29
6h00-8h59	4353	56.4%	7.80	5245	49.0%	8.56	9598	52.1%	8.21
9h00-11h59	1057	13.7%	8.20	2109	19.7%	8.37	3166	17.2%	8.31
12h00-15h29	949	12.3%	8.11	1864	17.4%	6.23	2813	15.3%	6.87
15h30-18h29	528	6.8%	7.24	1056	9.9%	8.10	1584	8.6%	7.81
18h30-23h59	496	6.4%	5.62	312	2.9%	7.63	809	4.4%	6.39
Total	7723	100.0%	8.09	10697	100.0%	8.08	18420	100.0%	8.08

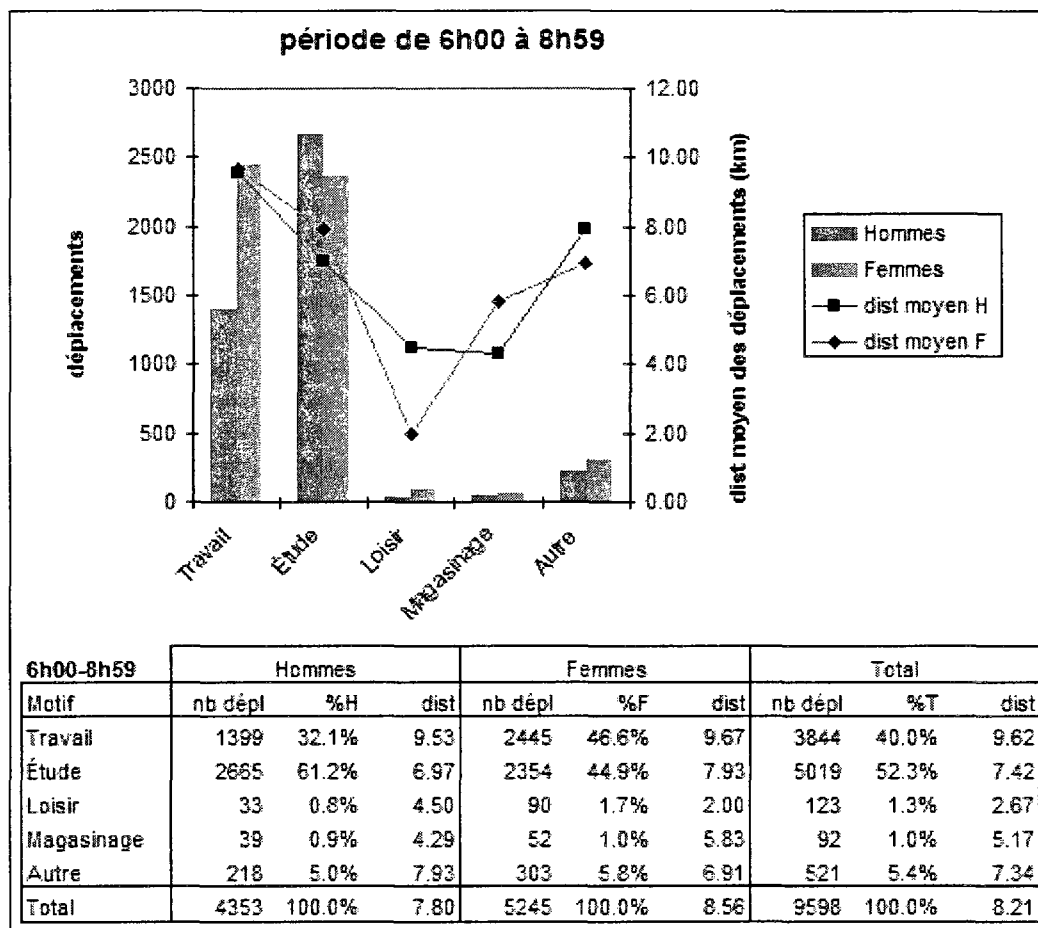


Figure 6.11 : Motif et distance des déplacements pendant l'heure de pointe

L'utilisation des réseaux de transport en commun et l'accès au corridor et aux destinations

La quasi-totalité des déplacements unidirectionnels (sans retenir les retours à domicile) en transport en commun se fait sur le réseau de la STM (98.5%) et la majorité est faite par autobus seulement (55%) (Figure 6.12). Seul 0.4% des déplacements unidirectionnels utilise l'auto comme mode complémentaire au transport en commun. Les distances moyennes de déplacement sont relativement élevées pour les déplacements qui empruntent un service de transport en commun autre que la STM.

L'analyse de l'accès à la ligne 67 (Tableau 6.2 et Figure 6.13) laisse présager que la clientèle se retrouve à proximité du service. En effet, dans 68.3% des cas, le corridor est accédé à pied avec une distance moyenne d'accès de 0.22 km. Le reste des déplacements accède le corridor surtout par l'intermédiaire de la STM, dont 21.8% par autobus. Il est intéressant de noter que l'accès à la ligne 67 par métro est en moyenne presque deux fois plus long que l'accès en autobus avec des distances de 6.27 km et 3.31 km, respectivement. L'accès aux destinations après le débarquement de la ligne 67 permet de connaître les divers rôles du corridor (Figure 6.14). La marche est le moyen le plus souvent emprunté (46.4%) avec une distance moyenne de 0.21 km laissant supposer qu'il y a des générateurs de déplacements à proximité du corridor. La question des générateurs de déplacements sera traitée dans la section 6.5. L'accès aux destinations à partir du corridor implique le métro dans 35.5% des cas (métro, métro+bus, métro+autre TC), montrant ainsi le rôle du corridor en tant que moyen de rabattement vers les stations de métro. Dans la même veine, 27.9% des déplacements impliquent une correspondance vers une autre ligne d'autobus de la STM (bus, bus+métro, bus+autre TC, bus+voiture).

Tableau 6.2 : Mode d'accès au corridor et mode d'accès à la destination à partir du corridor

	MODE D'ACCÈS À LA 67				APRÈS LA 67			
	Dépl.	% dépl.	corresp moy	dist moy	Dépl.	% dépl.	corresp moy	dist moy
Marche	12583	68.3%	0.0	0.22	8551	46.4%	0.0	0.21
Bus	4008	21.8%	1.1	3.31	3264	17.7%	1.0	3.68
Métro	844	4.6%	1.2	6.27	4691	25.5%	1.3	6.43
Voiture	32	0.2%	1.0	3.40				
Bus et métro	675	3.7%	2.4	10.59	1806	9.8%	2.2	10.48
Bus et Autre Tc	122	0.7%	2.0	11.88	34	0.2%	2.0	6.85
Bus et voiture	44	0.2%	2.0	12.05	32	0.2%	2.0	9.20
Bus, autre TC, voiture	25	0.1%	3.0	7.85				
Métro et autre TC	68	0.4%	3.7	21.17	42	0.2%	3.0	37.79
Métro et voiture	19	0.1%	4.0	15.85				

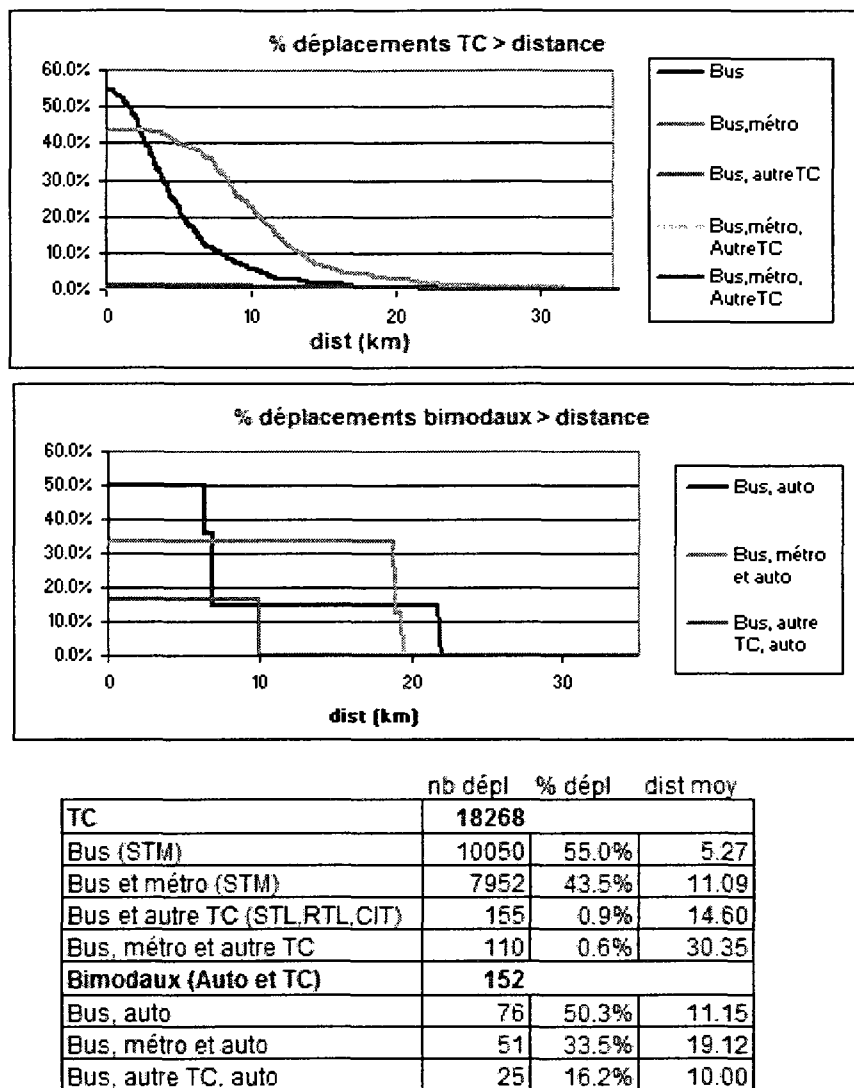
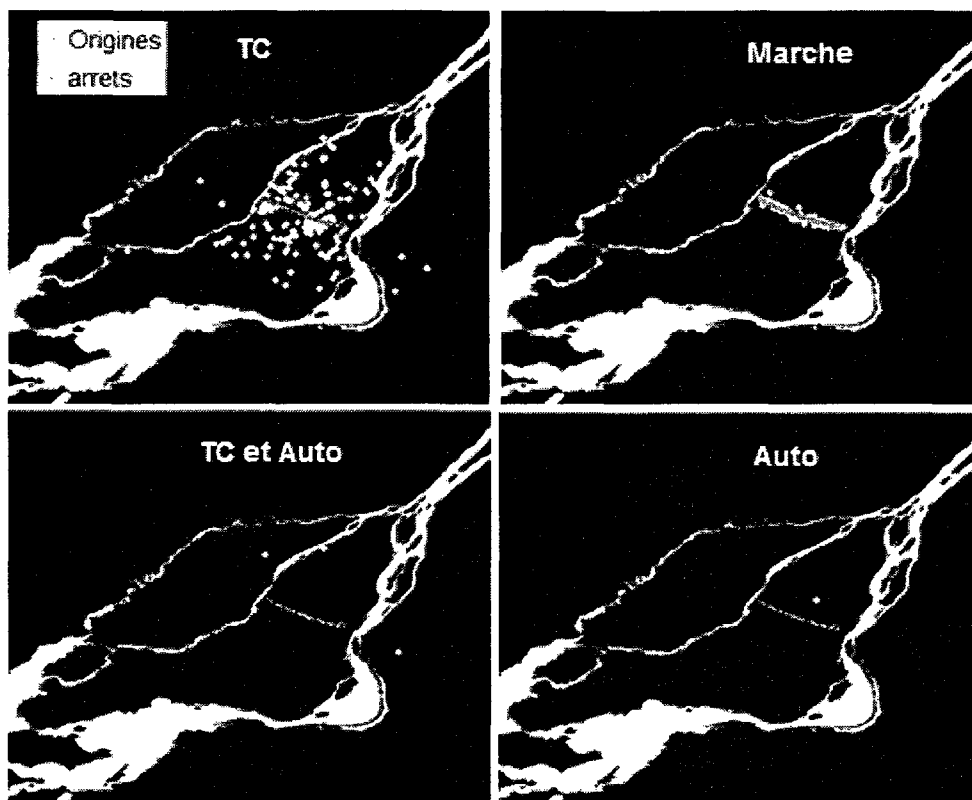


Figure 6.12 : Mode d'accès au corridor et distribution des distances d'accès

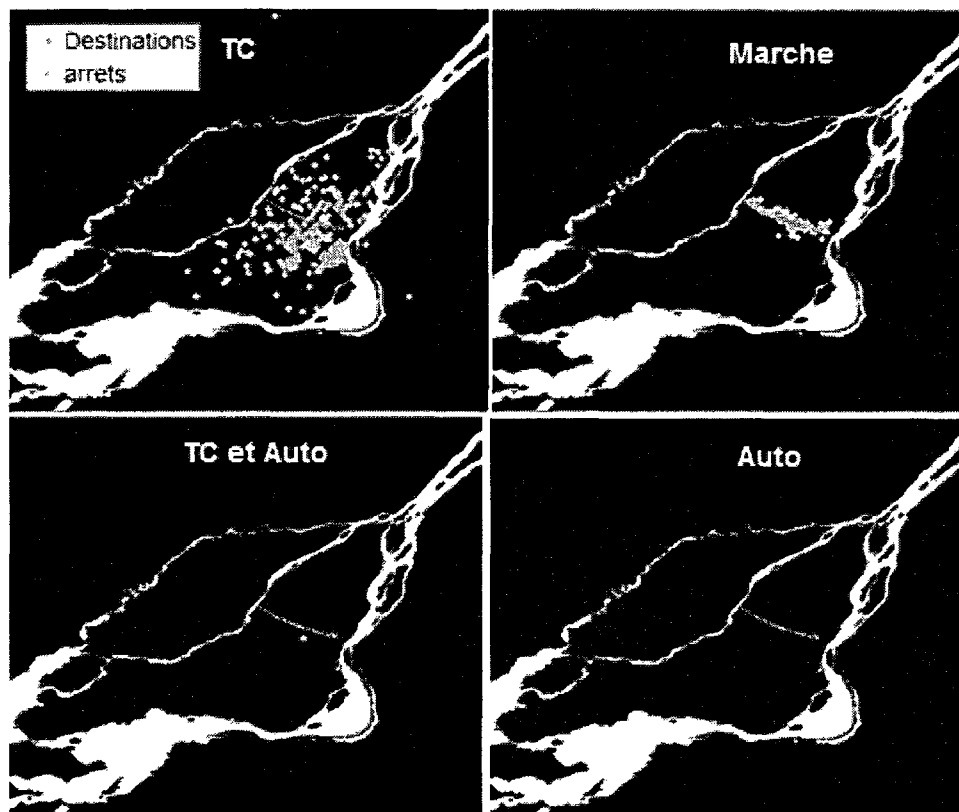
Mode d'accès au corridor



	TC	Marche	TC et Auto	Auto	Total
Nombre de déplacements	5718	12583	88	32	18420
% des déplacements totaux	31.0%	68.3%	0.5%	0.2%	100.0%
Distance moyenne d'accès	5.00	0.22	11.70	3.40	1.76
Écart type de la distance d'accès	5.65	0.17	6.24	0.00	3.93
Distance moyenne des déplacements	8.55	7.83	14.17	6.91	8.08
Écart type des distance de déplacement	6.63	5.38	6.49	0.00	5.82
Temps en véhicule (min)	28.7	21.5	34.3	18.5	23.8
Temps de marche (min)	5.7	5.5	4.2	9.4	5.6

Figure 6.13 : Origines des déplacements selon le mode d'accès au corridor

Mode d'accès à destination à partir du corridor



	TC	Marche	TC et Auto	Auto	Total
Nombre de déplacements	9837	8551	32	0	18420
% des déplacements totaux	53.4%	46.4%	0.2%	0.0%	100.0%
Distance moyenne d'accès	6.40	0.21	9.20	0.00	3.53
Écart type de la distance d'accès	6.62	1.59	7.56	0.00	4.97
Distance moyenne des déplacements	9.77	6.10	18.91	0.00	8.08
Écart type des distance de déplacement	5.63	6.02	11.00	0.00	5.82
Temps en véhicule (min)	21.8	26.1	34.0	0.0	23.8
Temps de marche (min)	5.5	5.6	4.2	0.0	5.6

Figure 6.14 : Destinations des déplacements selon le mode d'accès aux destinations à partir du corridor

La période de pointe du matin (6h00 à 8h59) demeure la période la plus significative pour le TC puisqu'on y retrouve le plus fort taux de déplacement dont le motif est autre que le retour à domicile. Grâce à la modélisation MADITUC, il est possible d'analyser l'achalandage de la ligne 67 pendant l'heure de pointe AM dans les deux directions (Figure 6.15 et Figure 6.16). On constate rapidement un contraste entre les profils de charge en direction nord et en direction sud. La ligne 67 en direction sud semble agir en tant que moyen de rabattement vers les stations de métro. De plus, on

constate une charge moyenne plus élevée sur le segment au nord du métro Saint-Michel qu'au sud de ce dernier, avec une charge maximale de 3000 passagers à la rue d'Herelle. En contraste, l'achalandage en direction nord semble moins important avec une charge maximale de 1800 passagers. Contrairement au parcours sud, le parcours nord a une charge plus élevée sur le segment au sud du métro Saint-Michel qu'au nord de ce dernier. Finalement la Figure 6.17 illustre l'achalandage engendré par les usagers de la ligne 67 sur le réseau de transport en commun et permet de visualiser les importants points de correspondance avec la ligne 67. On remarque donc des transferts importants de 1900 passagers sur la ligne bleue en direction ouest (Snowdon) ainsi que 1100 passagers sur la ligne verte en direction ouest (Angrignon).

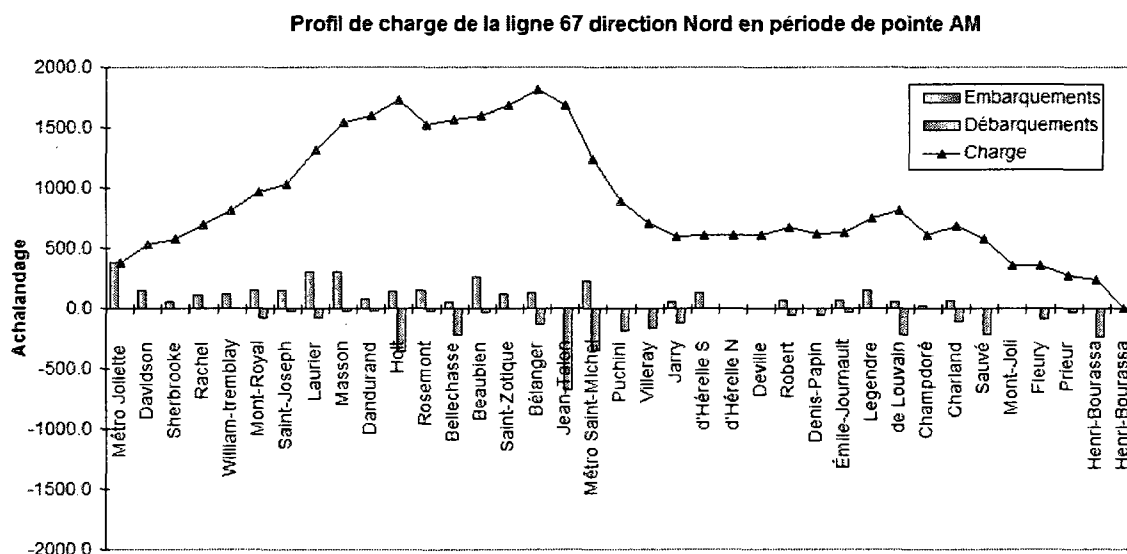


Figure 6.15 : Profil de charge de la ligne 67 en direction nord en période de pointe AM (6h à 9h) selon le chargement MADITUC

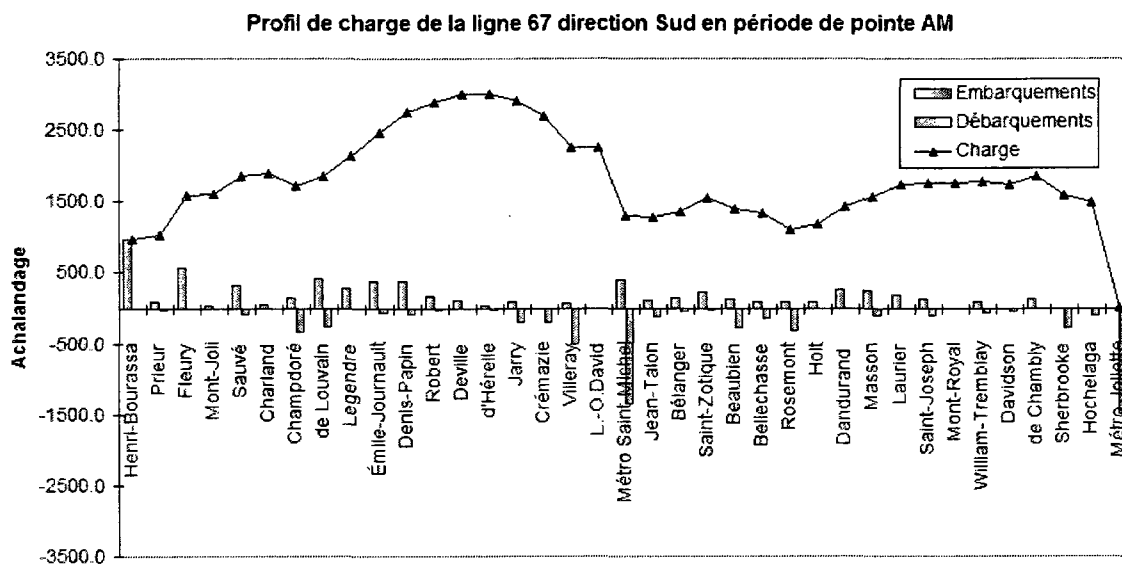


Figure 6.16 : Profil de charge de la ligne 67 en direction sud en période de pointe AM (6h à 9h) selon le chargement MADITUC

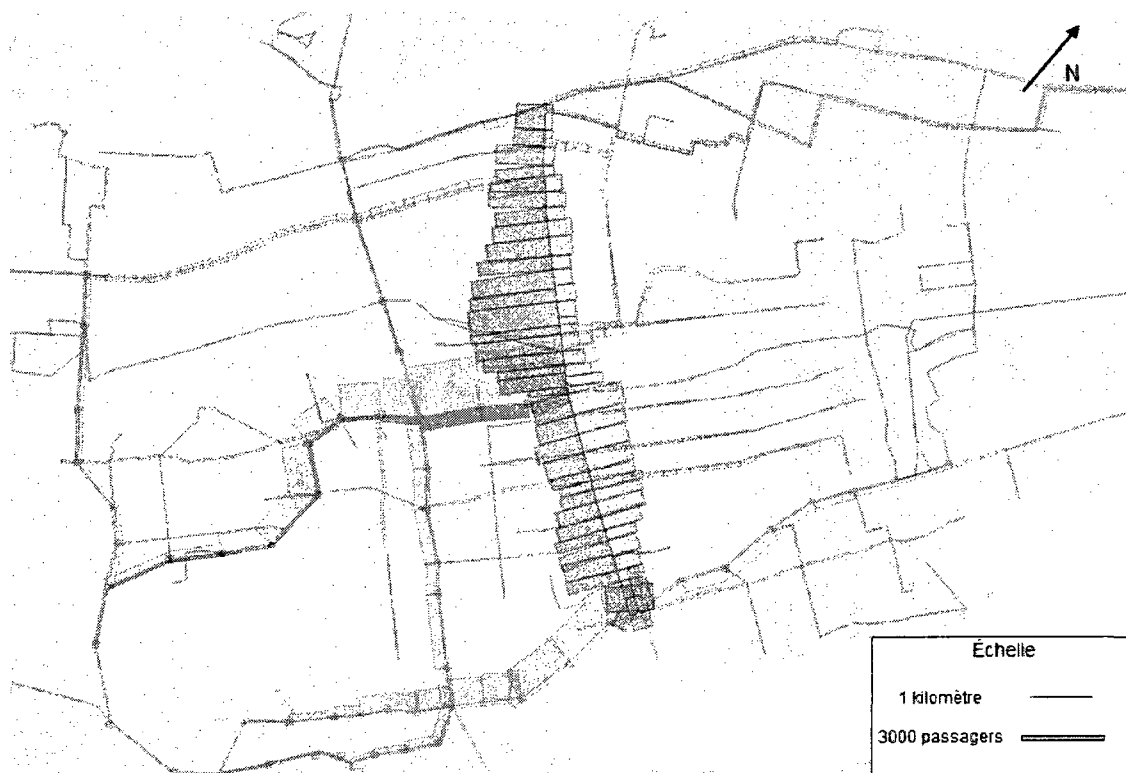


Figure 6.17 : Achalandage total engendré par les usagers de la ligne 67 sur le réseau de transport en commun pendant l'heure de pointe AM selon le chargement MADITUC

6.3 Les générateurs de déplacements

6.3.1 Revue de littérature

Comme définie dans la procédure classique, l'étape de génération inclut la production et l'attraction de déplacements. Il est donc question d'identifier les grands générateurs des déplacements empruntant un certain corridor et de les caractériser selon les déplacements qui y sont attirés. Avec l'approche totalement désagrégée, l'étude des destinations de déplacements ne se fait pas de la façon classique, selon les centroides des zones, mais plutôt avec les extrémités de déplacements individuels précisément géocodées. Au fil des ans, les enquêtes ménages ont servi à développer des procédures d'analyse de générateurs par le groupe MADITUC. Chapleau (Chapleau, 1993) présente la caractérisation dérivée de l'occupation du sol par la catégorisation des générateurs (entités points) selon leur géoréférence et leurs attributs (statut, âge, sexe, motif). Par exemple, dans le cas des institutions scolaires, les déplacements à motif étude sont classifiés selon l'âge de la personne effectuant le déplacement (primaire, secondaire, cégep, université). Similairement, Chapleau et Trépanier (1994) présentent la méthodologie d'analyse de grands générateurs selon le choix modal. En guise d'exemple, ces derniers prennent le cas des hôpitaux de la région de Montréal pour faire l'analyse de la répartition modale selon deux marchés : les travailleurs et les bénéficiaires. L'étude de la mobilité des travailleurs montréalais selon l'approche orientée-objet (Chapleau, 1999) a mené à l'analyse des générateurs (objet statique) selon leur type et selon les caractéristiques des déplacements attirés tels que la distance résidence-emploi, la possession automobile, la proportion des femmes et l'âge moyen.

La Figure 6.18 est une schématisation orientée-objet des relations qui existent dans l'approche totalement désagrégée. Elle permet de constater toutes les propriétés et attributs qui sont associés aux générateurs. Cette approche inclut plusieurs procédures de validation surtout pour assurer la cohérence informationnelle des logiques spatiales (Chapleau, 1999).

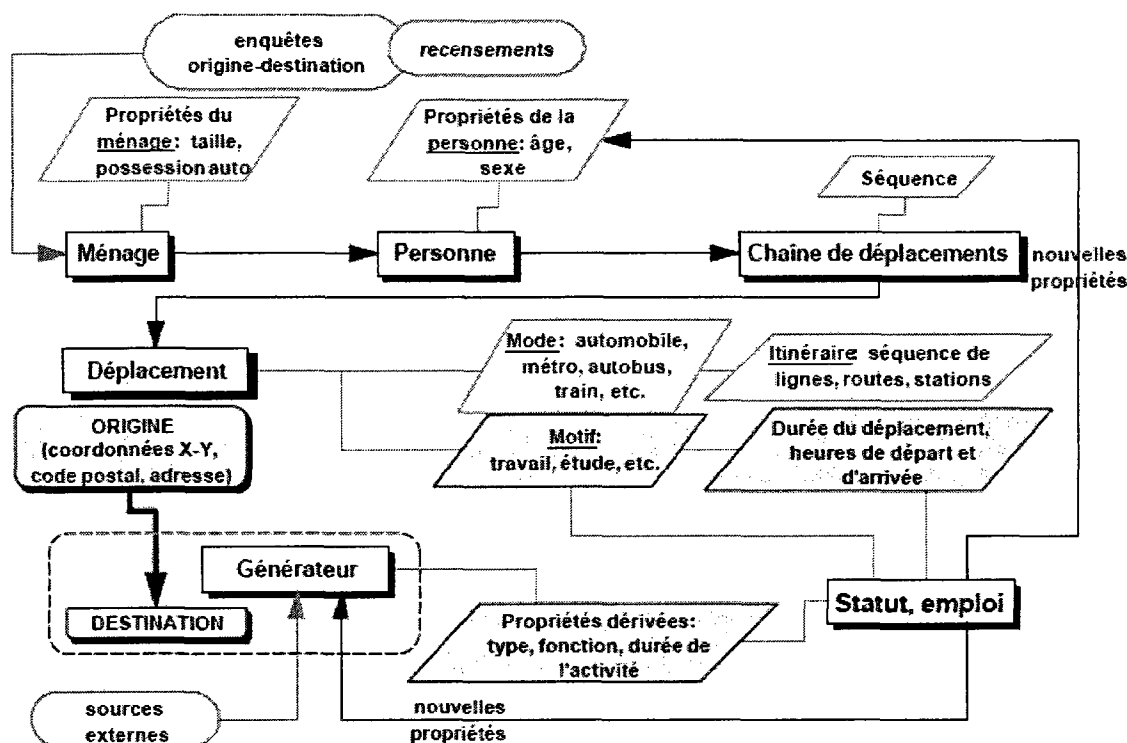


Figure 6.18 : Relation entre les objets et leurs attributs dans l'approche totalement désagrégée (Chapleau, 1999)

6.3.2 Identification des grands générateurs

Le logiciel d'interview permet une validation en temps réel des générateurs déclarés selon une liste assemblée à partir d'enquête OD antérieure où le nom et la géolocalisation des générateurs sont vérifiés. Les répondants ne précisent pas tous un établissement comme destination, mais plutôt une intersection, une rue, une adresse civique ou une municipalité. Ces cas requièrent une analyse de proximité spatiale pour identifier les générateurs de déplacements selon la liste de générateurs provenant d'enquêtes antérieures. Le Tableau 6.3 représente le nombre de déclarations de chaque type pour les personnes ayant emprunté la ligne 67.

Tableau 6.3 : Répartition des destinations de déplacements selon le type de déclaration

	Générateur	Intersection	Adresse	Rue	Total
Générateur	268	8	11	0	287
Intersection	8	316	0		324
Adresse	11	0	32		43
Rue	0			2	2

Le Tableau 6.4 et la Figure 6.19 montrent les plus grands générateurs et les plus grandes intersections pour les déplacements ayant emprunté la ligne 67. La ligne 67 joue clairement un rôle important pour le transport des étudiants aux institutions scolaires. En effet, 9 des 10 plus grands générateurs sont des institutions scolaires (5 écoles secondaires, 2 cégeps et 2 universités), l'autre étant la Plaza Saint-Hubert (centre commercial). Avant d'analyser les caractéristiques des personnes, des ménages et des déplacements associés aux générateurs, il y a lieu de faire une recherche préliminaire pour en connaître davantage sur chacun des établissements. Cette requête fait ressortir les points suivants :

- Le Collège Reine Marie est une école secondaire privée pour filles seulement.
- L'école John F. Kennedy est une école secondaire publique anglophone.
- Les autres écoles secondaires sont toutes publiques.
- Le pavillon du 2910 Édouard-Montpetit de l'Université de Montréal est situé à 98 mètres de la station de métro Université de Montréal (GoogleMaps).

Tableau 6.4 : Générateurs et intersections importants selon la destination des déplacements
10 plus grands générateurs déclarés

	Générateur	Type	Déplacements pondérés
1	ECOLE JOSEPH FRANCOIS PERREAU	École secondaire	607
2	ECOLE LOUIS JOSEPH PAPINEAU	École secondaire	423
3	CEGEP MAISONNEUVE	Cégep	375
4	ECOLE JOHN F KENNEDY	École secondaire	358
5	CEGEP ROSEMONT	Cégep	331
6	INSTITUT REINE MARIE	École secondaire	326
7	UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL (RESIDENCES) [HOTEL]	Université	174
8	UDM 2910 EDMONTPETIT #545 [UNIVERSITÉ]	Université	171
9	ECOLE DE ROBERVAL	École secondaire	131
10	PLAZA S. HUBERT	Centre commercial	131

10 plus grandes intersections déclarées

	Rue	Intersection	Déplacements pondérés
1	S. MICHEL	MASSON	470
2	S. MICHEL	JEAN TALON	268
3	S. MICHEL	JARRY	263
4	S. MICHEL	S. JOSEPH	219
5	S. MICHEL	ROSEMONT	199
6	S. MICHEL	BEAUBIEN	182
7	S. MICHEL	BELANGER	166
8	S. MICHEL	EMILE JOURNAULT	152
9	S. MICHEL	FLEURY	148
10	S. MICHEL	HENRI BOURASSA	148

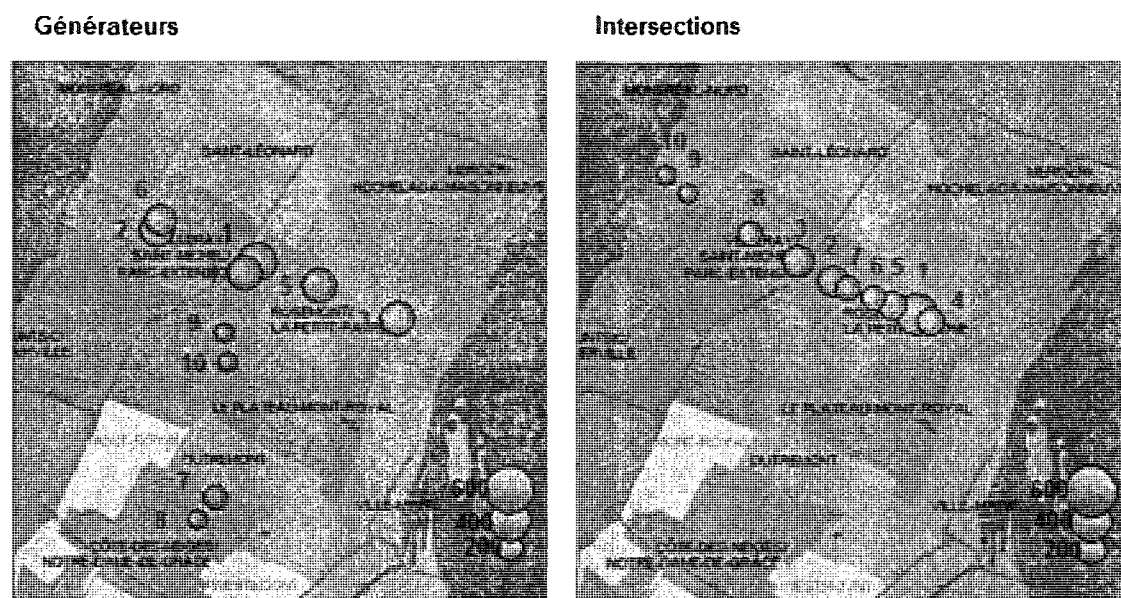


Figure 6.19 : Carte des générateurs et intersections importants des usagers de la ligne 67

On constate donc que la majorité des destinations ne sont pas associées à un générateur précis, mais plutôt à une intersection, une rue ou une adresse. Bref, seulement 42% des déclarations (268 des 637 déclarations) comportent la dénomination d'un générateur. La Figure 6.20 illustre les destinations des déplacements selon leur géocodage. On voit ainsi que les cellules qui attirent le plus grand nombre de déplacements ne sont pas nécessairement les plus grands générateurs déclarés. Par exemple, il a été démontré dans la section précédente que l'intersection des rues Saint-Michel et Masson attire 470 déplacements, mais aucun des grands générateurs ne se trouve à proximité de cette intersection. Il est clair que la liste des générateurs déclarés pour les déplacements empruntant la ligne 67 n'est pas suffisante pour dériver les générateurs qui n'ont pas été déclarés. La Figure 6.21 montre les destinations selon la déclaration d'un générateur (points rouges) ou selon la déclaration d'une intersection, d'une rue ou d'une adresse civique (points noirs). Est-il possible d'associer les déplacements à leur générateur par une analyse de proximité spatiale? Peut-on dériver un générateur pour chaque déplacement en utilisant les coordonnées géographiques des extrémités de déplacement et les variables des

personnes et des déplacements? Par exemple, un déplacement dont le générateur le plus proche est le Cégep Maisonneuve, dont le motif est l'étude et dont l'âge de la personne est de 18 ans se destine probablement à ce générateur. D'autres cas sont cependant plus difficiles à analyser, surtout s'il n'y a aucun grand générateur à proximité de l'intersection, de la rue ou de l'adresse déclarée. On voit ainsi l'importance d'obtenir la déclaration d'un générateur dans le processus d'entrevue plutôt qu'une intersection, une rue ou une adresse.

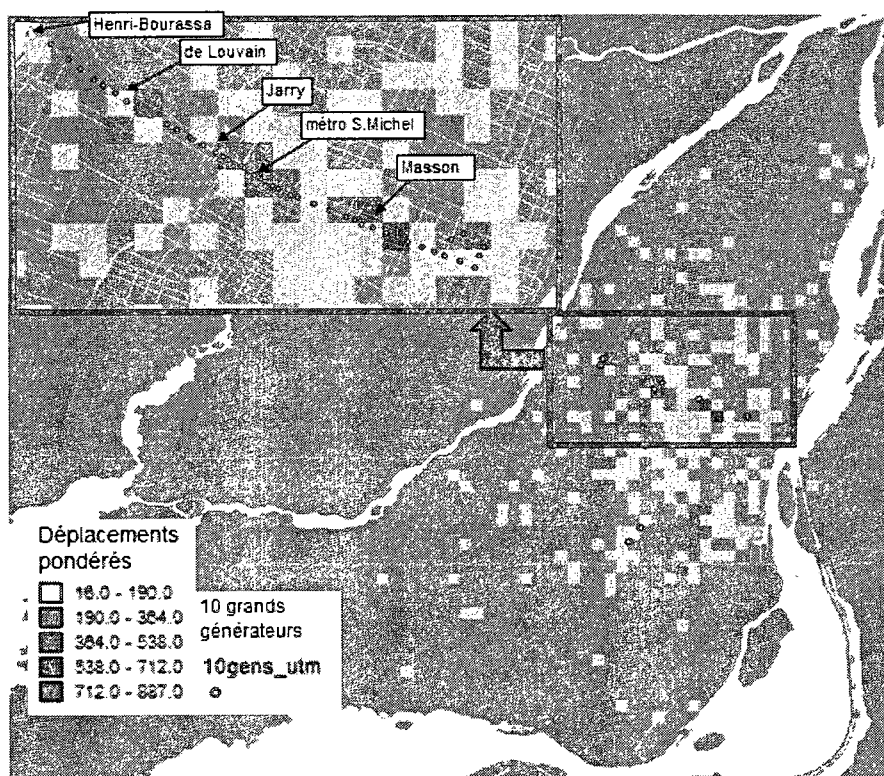


Figure 6.20 : Représentation du nombre de destinations pondérées dans des cellules de 500mx500m

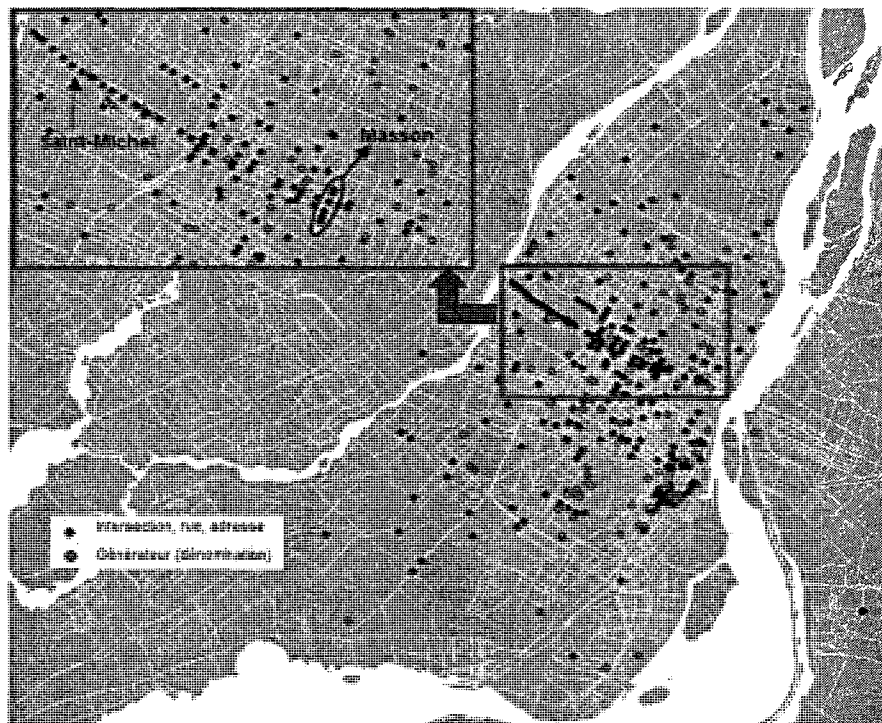


Figure 6.21 : Visualisation des destinations avec ou sans dénomination de générateurs

6.3.3 Caractérisation des grands générateurs

Premièrement, la distance des déplacements et la distance de marche à partir du dernier mode emprunté sont analysées avec les distances de modélisation selon le réseau MADITUC. Les déplacements sont aussi étudiés selon le motif et le mode. En ce qui concerne les usagers et leur ménage, ils sont caractérisés par l'âge, le sexe et la langue des personnes ainsi que par la taille, la motorisation et le revenu des ménages.

Parmi les écoles secondaires, l'institut Reine Marie attire les plus longs déplacements, avec une moyenne de 10.6 km (Tableau 6.5). En effet, 43.9% des déplacements vers ce générateur ont une origine à l'extérieur de l'île de Montréal (Figure 6.22). De plus, les personnes se destinant vers l'institut Reine Marie ont un revenu de ménage relativement élevé. Bref, 85% des ménages ont un revenu de 40k\$ et plus, en contraste à 43% des ménages pour tous les usagers de la ligne 67, et aucun ménage n'a un revenu en dessous de 20k\$. Finalement, parmi les importants générateurs, l'institut Reine Marie est le seul à attirer des déplacements bimodaux (21.1% de kiss and ride).

Les universités attirent naturellement de plus longs déplacements, cependant, ils démontrent une bonne accessibilité avec des distances d'accès moyenne de 201 et 283 m à partir du réseau de TC. Par contre, la clientèle de la Plaza Saint-Hubert semble moins se préoccuper des distances de marche alors qu'elle affiche des distances moyennes d'accès de 1134 m et une distance maximale de 2340 m. Les autres caractéristiques remarquables se résument comme suit :

- Majorité d'anglophones pour les personnes se destinant à l'école John F. Kennedy.
- La totalité des personnes se destinant à la Plaza Saint-Hubert sont des femmes.

Tableau 6.5 : Distance et motif des déplacements pour les importants générateurs

	Générateur	Dist dépl (km)	Dist accès à pied (m)	Motif (déplacements)		
				Travail	Étude	Mag.
1	ÉCOLE JOSEPH FRANCOIS PERREAULT	5.1	386	0	607	0
2	ÉCOLE LOUIS JOSEPH PAPINEAU	3.5	347	0	423	0
3	CEGEP MAISONNEUVE	6.3	78	0	375	0
4	ÉCOLE JOHN F KENNEDY	6.2	66	0	358	0
5	CEGEP ROSEMONT	7.5	451	0	331	0
6	INSTITUT REINE MARIE	10.6	36	0	326	0
7	UNIVERSITÉ DE MONTREAL (RESIDENCES) [HOTEL]	11.0	283	23	152	0
8	UDM 2910 EDMONTPETIT #545 [UNIVERSITÉ]	11.9	201	0	171	0
9	ÉCOLE DE ROBERVAL	4.6	228	0	131	0
10	PLAZA S. HUBERT	6.7	1134	0	0	131

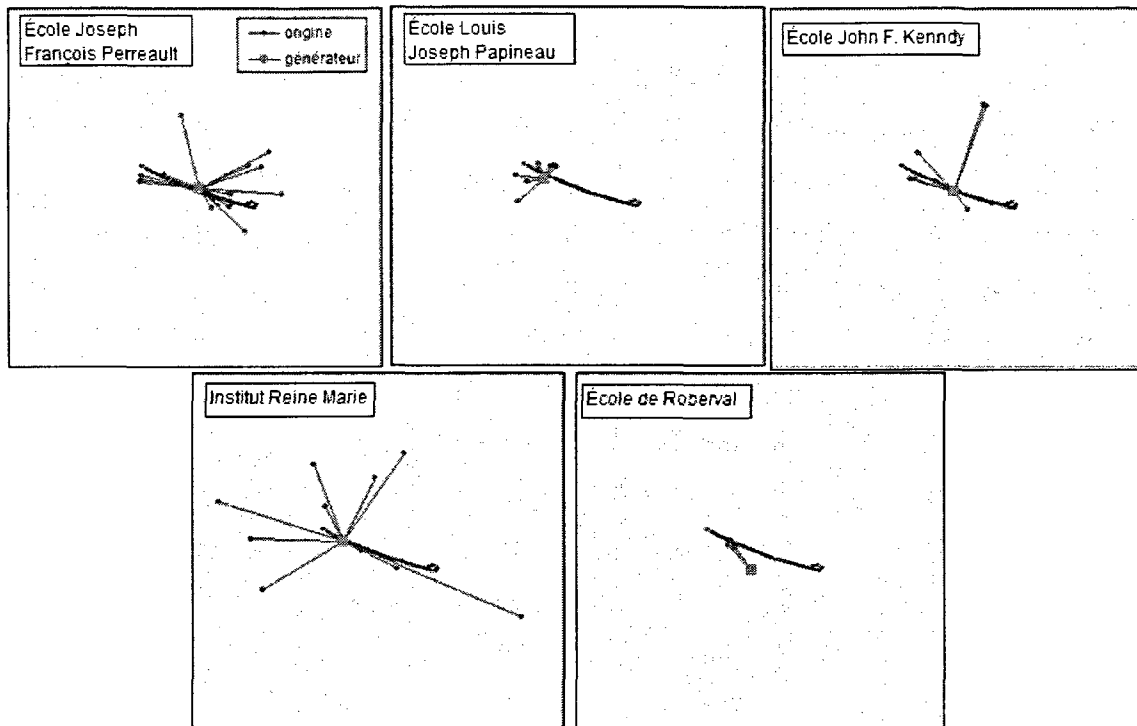


Figure 6.22 : Lignes de désir selon le générateur de déplacement (écoles secondaires)

6.4 Conclusion

En résumé, l'objectif de ce chapitre était de caractériser les usagers de TC d'un corridor ainsi que les grands générateurs qui attirent ces usagers. La méthode proposée consiste à exploiter les données de déplacements individuels provenant de l'enquête OD de 2003. La richesse des données d'enquête OD vient du fait qu'elles offrent d'innombrables options de traitement pour l'analyste de transport. En fait, les enregistrements comptent la géolocalisation précise des extrémités de déplacement ainsi que les attributs du déplacement et les attributs de la personne et du ménage qui l'effectue. Les résultats sont illustrés de façon interactive sur plateforme de tableur ce qui permet à l'utilisateur de les visualiser graphiquement et numériquement, de façon claire et concise. La caractérisation met l'accent sur l'accès au corridor ainsi que l'accès aux destinations à partir du corridor, permettant du même coup de définir le rôle du corridor dans le réseau de transport en commun.

La caractérisation des usagers de TC d'un corridor est pertinente puisqu'elle justifie le service qui est en place et permet de comprendre l'utilité d'un corridor de transport en commun. Les multiples variables disponibles dans l'enquête OD permettent de mettre en évidence un type de clientèle, d'activité ou de mode en particulier. Le présent chapitre s'est limité à l'étude des usagers d'une ligne d'autobus. Cependant, il est aussi pertinent d'exploiter les données d'enquête OD pour caractériser les déplacements engendrés par les riverains du corridor. Cette approche permettrait de constater la relation qui existe entre un service de TC à fort achalandage et la population à proximité de ce service.

Chapitre 7 : Conclusion

7.1 Sommaire des thématiques abordées

Suivant l'approche orientée objet, ce projet avait comme objectif la caractérisation systémique des corridors de transport en commun selon les objets et les attributs qu'on y retrouve en abordant les questions d'opération du service, de démographie, de mobilité individuelle et de pôles d'attraction. Il s'agissait donc d'établir une procédure d'intégration des données de temps de passage planifié, de feux de circulation, de recensement et d'enquête origine-destination dans une application interactive sur plateforme de chiffrier.

Une revue de littérature a permis de définir les concepts associés à une ligne d'autobus, d'identifier les objets structurant un corridor et de définir leurs attributs et d'exposer les indicateurs de performance d'une ligne de TC. Tout en gardant une approche méthodologique généralisée, le corridor Saint-Michel a été choisi comme exemple type pour l'application de la procédure de caractérisation.

Dans le but d'exposer les caractéristiques opérationnelles du service de TC, l'horaire planifié de la ligne 67 a été examiné minutieusement. Cette étape visait à établir une procédure d'analyse des ressources nécessaires en véhicules-kilomètres, véhicules-heures et flotte ainsi que d'autres attributs opérationnels tels que le temps de parcours, la vitesse des véhicules et le niveau de service. L'étude cherchait à exposer les attributs du service à différents niveaux de résolution, tant sur l'échelle temporelle (jour moyen de la semaine, périodes de pointe et périodes creuses) que sur l'échelle spatiale (ligne, segment et arrêt). L'application mise en place sur plateforme de chiffrier a permis une adaptation automatique aux changements d'horaire ou à l'insertion d'un nouvel horaire. De plus, un logiciel SIG a été utilisé pour créer des diagrammes espace-temps et pour y afficher certains attributs par l'intermédiaire de grilles ou de colorations catégorisées. La vitesse commerciale et le niveau de service

ont notamment été illustrés dans cette forme selon les segments de ligne pour un jour moyen de la semaine. Cette méthode s'est avérée efficace puisqu'elle a permis d'analyser les résultats de façon interactive avec les options du logiciel (zoom, changement de couche, recherche, etc.) tout en transmettant une panoplie d'informations de façon claire et concise.

Puis, une méthodologie de travail a été élaborée pour mesurer l'effet des feux de circulation sur la progression des autobus. La première partie consistait en une collecte de données sur le terrain demandant une familiarisation avec les concepts de synchronisation des feux ainsi qu'une procédure de collecte de données. La deuxième partie consistait en une visualisation spatio-temporelle des temps de phases ainsi que l'intégration des temps de passages d'autobus pour mesurer le temps perdu aux feux rouges.

En s'inspirant de la littérature au sujet de l'accès au TC, la zone d'influence du service a été définie pour la caractérisation socio-économico-démographique des riverains du corridor. Le défi méthodologique demeurait l'extraction rapide et efficace des données de recensement pour la zone d'influence de la ligne de TC. La procédure de traitement des données consistait, dans un premier temps, à filtrer les champs avec Excel en gardant seulement les variables jugées importantes à l'étude et, dans un deuxième temps, d'extraire les enregistrements propres à la zone d'influence avec un logiciel SIG. L'analyse comparative a été effectuée avec les résidents de l'île de Montréal pour faire ressortir les particularités des habitants du corridor. De plus, une segmentation virtuelle du corridor selon les secteurs municipaux a exposé la variabilité des caractéristiques à l'intérieur même du corridor.

Dans le cadre de l'approche totalement désagrégée, les données d'enquête OD ont été exploitées pour une analyse multidimensionnelle des usagers du corridor et de leurs déplacements individuels. Disposant aussi des données de la modélisation MADITUC

des itinéraires, les déplacements ont été étudiés à une résolution très fine, soit au niveau des nœuds d'accès et de correspondance du réseau. L'ampleur des bases de données et le besoin d'abstraction du problème ont justifié le développement d'une application interactive présentant les caractéristiques spatiales (distances d'accès et des déplacements) et temporelles (temps d'accès et temps en véhicule) ainsi que la visualisation des extrémités de déplacements selon le genre, le mode, le temps et le motif. De plus, l'application a permis l'analyse des déplacements selon le mode d'accès au corridor et le mode d'accès à la destination à partir du corridor. En complément, l'achalandage engendré par les usagers du corridor en période de pointe du matin a été étudié pour la ligne et pour le réseau à l'aide des données de chargement MADITUC. Ensuite, les grands attracteurs de déplacement ont été examinés selon les déclarations de générateurs dans l'enquête OD. Cette section a soulevé l'importance des déclarations d'un générateur précis durant le processus d'entrevu pour la caractérisation des grands pôles d'attraction.

7.2 Perspectives

Bref, ce projet de maîtrise a permis d'explorer différents éléments structurant un corridor de transport en commun. Il est maintenant possible d'approfondir les sujets abordés dans ce projet et d'y ajouter des éléments complémentaires.

La contribution des technologies récentes en transport en commun a mené à de nouvelles perspectives d'analyse tant au niveau du service offert qu'au niveau de la demande. Voici quelques pistes de réflexion à ce sujet :

- Un système de localisation des véhicules par GPS permet de suivre chaque véhicule et d'amasser une grande quantité de données sur les attributs spatiaux et temporels des parcours réels. Considérant que la position des véhicules peut être enregistrée chaque seconde, les données GPS ouvrent la voie à une analyse beaucoup plus détaillée des parcours et permet d'avoir une multitude d'informations non disponibles avec les données de temps de passage planifié

tels que le temps aux arrêts, l'accélération et la décélération, la vitesse de croisière et les retards.

- Les systèmes de détection de passagers (APC) jumelés à un GPS permettraient de connaître le nombre d'embarquements et de débarquements par arrêt et ainsi l'achalandage sur le corridor.
- Les données de carte à puce permettraient d'avoir les points d'entrée et de correspondance sur le réseau de transport pour la grande majorité des déplacements. La reconstitution des chaînes de déplacements est cependant complexe à cause du manque d'information sur les points de débarquements des usagers.

La caractérisation des corridors de transport en commun peut constamment être raffinée en approfondissant l'analyse des données actuelles et à l'aide de nouvelles sources de données. L'évolution de cette caractérisation repose sur des méthodes efficaces et automatiques d'intégration et de traitement de données par le biais de technologies informationnelles et d'outils SIG. L'application de cette procédure peut aussi être incluse dans l'étude de potentielles lignes de transport en commun (autobus, métro, tramway, SRB, etc.).

Références

Agence métropolitaine de transport. (2005). *Constat sur la mobilité des personnes dans la grande région de Montréal. Faits saillants révélés par l'enquête Origine-Destination 2003*: Agence métropolitaine de transport.

Agence métropolitaine de transport. (2008a). Consulté le 2008-11-19, tiré de <http://www.amt.qc.ca/>.

Agence métropolitaine de transport. (2008b). Enquête Origine-Destination 2008. Consulté le 2008-11-19, tiré de <http://www.enquete-od.qc.ca/>

Axhausen, K. (2007). General Session : International Perspectives on Accessibility. *Access to Destinations Conference, Twin Cities*

Baass, K. (2007). CIV6706 Dynamique de la circulation, matériel électronique disponible aux étudiants.

Beimnom, E. A., Greenwald, M., & Jin, X. (2003). Transit Accessibility and Connectivity Impacts on Transit choice and Captivity. *Transportation Research Board Annual Meeting, Washington D.C.*, 18 pages

Bertini, R. L., & El-Geneidy, A. (2003). Using Archived Data to Generate Transit Performance Measures. *Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.*, 24 pages

Chapleau, R. (1992a). La modélisation de la demande de transport urbain avec une approche totalement désagrégée. *World Conference on Transportation Research, Lyon*, 20 pages

- Chapleau, R. (1992b). Profil socio-économico-démographique du métro de Montréal : anatomie de la ville dans le voisinage du métro. *27ème congrès annuel de l'Association québécoise du transport et des routes*, Sherbrooke, Québec, 22 pages
- Chapleau, R. (1993). Une carte d'utilisation du sol dérivée d'une enquête Origine-Destination. *28ème congrès annuel de l'Association québécoise du transport et des routes*, Saint-Adèle, 21 pages
- Chapleau, R. (1999). Analyse de la mobilité des travailleurs Montréalais. *Routes et transports*, 28(2), 9-20.
- Chapleau, R. (2002). Mobilité des personnes âgées à Montréal en 1993: Analyse désagrégée. In *Démographie et transport: Villes du nord et villes du sud* (pp. 129-146): L'Harmattan.
- Chapleau, R. (2008). Cours CIV6708 - Transport en commun, matériel électronique disponible aux étudiants, École Polytechnique de Montréal.
- Chapleau, R., Allard, B., Trépanier, M., & Morency, C. (2002). Train: Théorie de la relativité analysée interactivement...à nouveau. *37eme Congrès de l'Association québécoise du transport et des routes*, Québec, 22 pages
- Chapleau, R., & Cea, J. D. (1982). La perception de l'offre par les usagers du transport en commun, sous la perspective des modèles d'affectation, Centre de recherche sur les transports, Publication no. 293

- Chapleau, R., & Morency, C. (2001). Quelques enjeux-questions sur l'information qui assiste la prise de décision en transport urbain. *36ème congrès annuel de l'Association québécoise du transport et des routes*, Laval, 20 pages
- Chapleau, R., & Morency, C. (2002). Pour une confusion interrompue à propos des déplacements urbains. *37e congrès annuel de l'Association québécoise du transport et des routes*, Québec, 18 pages
- Chapleau, R., & Trépanier, M. (1994). Méthodologie d'analyse multimodale des grands générateurs de déplacements: cas des hôpitaux de Montréal. *29ème congrès AQTR*, Valleyfield, 19 pages
- Charlotte Area Transit System. (2008a). Glossary of Terms. Consulté le 2008-10-06, tiré de <http://www.charmeck.org/Departments/CATS/News/Newsroom+-+Glossary.htm>.
- Charlotte Area Transit System. (2008b). Glossary of Terms. Consulté le 2008-10-08, tiré de <http://www.charmeck.org/Departments/CATS/News/Newsroom+-+Glossary.htm>.
- Coad, P., & Yourdon, E. (1991). *Object-Oriented Design*. Englewood Cliffs: Prentice Hall PTR
- Esri Canada. (2006). Using GIS to effectively plan bus transit routes. Consulté le 2008-10-08, tiré de <http://www.esricanada.com>.
- Fielding, G. J. (1987). *Managing Public Transit Strategically: A Comprehensive Approach To Strengthening Service And Monitoring Performance* (1^e éd.). San Francisco: Jossey-Bass Publishers.

Kwan, M.-P. (2005). Space-Time Paths. Consulté le 2008-10-12, tiré de <http://geog-www.sbs.ohio-state.edu/faculty/mkwan/Gallery/STPaths.htm>

Lee, B. H.-Y. (2005). Parcel-level measure of public transit accessibility to destinations. In D. Levinson & K. Krizek (éds.), *Access to destinations* (pp. 215-241): Elsevier.

Levinson, H. S. (1991). *Supervision Strategies for Improved Reliability of Bus Routes* (NCTRP Synthesis of Transit Practice 15). Washington, D.C.: Transportation Research Board.

Litman, T. (2008). Victoria Transport Policy Institute. Consulté le 2008-10-12, tiré de <http://www.vtpi.org/tdm/tdm103.htm>.

Manheim, M. L. (1979). *Fundamentals of Transportation Systems Analysis : Basic Concepts* (Vol. 1). Cambridge: The MIT Press.

Murray, A. T. (2001). Strategic analysis of public transit coverage. *Socio-Economic Planning Sciences* 35(3), 175-188.

Office de la langue française. (2008). Le grand dictionnaire terminologique. Consulté le 2008-10-06, tiré de <http://www.olf.gouv.qc.ca/ressources/gdt.html>.

Pratt, R. H., & Park, G. (2000). *Travel response to transportation system changes, interim handbook* (TCRP Report 95): Transportation Research Board.

Russo, C. S. (2001). *Train the Trainer : Training Programs* (Vol. 3): American Society for Training and Developement.

Statistique Canada. (2008). Consulté le 2008-11-01, tiré de

http://www.statcan.ca/francais/Estat/licence_f.htm.

Smith, S. A. (1999). *Guidebook for Transportation Corridor Studies: A Process for Effective Decision-making* (NCHRP 435): Transportation Research Board.

Société de transport de Montréal. (2007). *La force de nos actions, rapport d'activité 2007*. Montréal: Société de transport de Montréal.

St-Onge, B. (2000). Note de cours Geo7511 (UQAM). Consulté le 2008-11-01, tiré de

<http://www.unites.uqam.ca/dgeo/geo7511-2001/htm/section6.htm>.

Statistique Canada. (2007). *Fichiers de correspondance, guide de référence. Année de recensement 2006*. No. 92-156-GIF au catalogue.

Techno-science. (2008). Consulté le 2008-10-06, tiré de <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=1556>.

TRB. (1997). *Operational Analysis of Bus Lanes on Arterials* (TCRP Report 26). Washington, D.C.: Transportation Research Board.

TRB. (1999). *Performance Based Planning Manual: Multimodal Transportation Development of a Performance Based Planning Process* (NCHRP Research Results Digest 226): Transportation Research Board.

TRB. (2000). *Highway Capacity Manual 2000*. Washington, D.C.: Transportation Research Board.

TRB. (2003). *Transit Capacity and Quality of Service Manual* (TCRP Report 100).

Washington, D.C.: Transportation Research Board.

Trépanier, M., & Chapleau, R. (2001). Linking Transit Operational Data to Road

Network with a Transportation Object-Oriented GIS. *Journal of the Urban and Regional Information Systems Association*, 13(2), 23-27.

Université de Maryland. (1999). User interfaces for highway traffic management.

Consulté le 2009-02-01, tiré de

<http://www.cs.umd.edu/hcil/highway/#prototypes>.

Ville de Montréal. (2003). Navigateur Urbain. Consulté le 2008-01-05, tiré de

<http://www.navurb.com/>.

Vuchic, V. (2005). *Urban Transit: Operations, Planning, and Economics*. Hoboken:

John Wiley & Sons Inc.

Vuchic, V. (2007). *Urban Transit Systems and Technology*. Hoboken: John Wiley &

Sons, Inc.

Wikipedia. (2008). Système d'information géographique. Consulté le 2008-10-18, tiré de

http://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_d%27information_g%C3%A9ographique.

Wolfe, M., & Berkow, M. (2007). Transit & Arterial Performance : A Study on the

Barbur Boulevard Corridor *ITE Oregon Section Meeting*. Consulté le 2008-10-

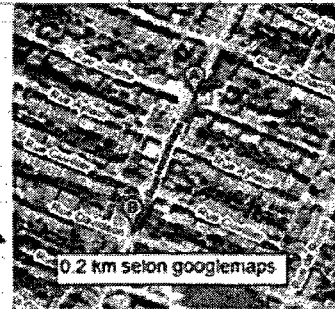
08, tiré de http://www.its.pdx.edu/pdf/art_perfite2.27.07.pdf.

Annexes

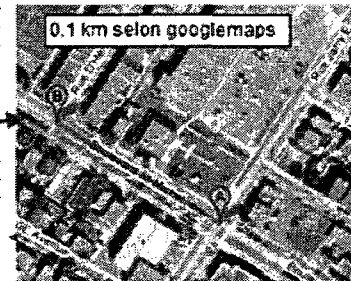
Annexe A : Traitement des données de temps de passage d'autobus

Vérification des distances de parcours de la ligne 67 avec GoogleMaps et le Navigateur Urbain.

	A	B	C	D	F	G	H	I	K	L	N	P	Q
1	Ligne	Dir	Trace	Seq	Dist	Date	Xcoord	Ycoord	Lieu	D	Nom_fran		
2	67	N	JO	1	0	0	300785	5045213	M15601	D	Hochelaga / Joliette		
3	67	N	JO	2	10	10	300695	5045002			Hochelaga / Davidson		
4	67	N	JO	3	222	232	300425	5045117			Davidson / Sherbrooke		
5	67	N	JO	4	264	496	300143	5045236			Saint-Michel / Rachel		
6	67	N	JO	5	306	802	299966	5045314			Saint-Michel / William-Tremblay		
7	67	N	JO	6	198	1000	299730	5045411			Saint-Michel / du Mont-Royal		
8	67	N	JO	7	243	1243	299471	5045515	R066		Saint-Michel / Saint-Joseph		
9	67	N	JO	8	287	1530	299301	5045587			Saint-Michel / Laurier		
10	67	N	JO	9	167	1717	299089	5045677			Saint-Michel / Masson		
11	67	N	JO	10	230	1947	298846	5045780			Saint-Michel / Dufferin		
12	67	N	JO	11	266	2213	298657	5045862			Saint-Michel / Hot		
13	67	N	JO	12	207	2420	298522	5045927			Saint-Michel / Rosemont		
14	67	N	JO	13	140	2560	298359	5046004			Saint-Michel / Bellechasse		
15	67	N	JO	14	180	2740	298084	5046132			Saint-Michel / Beaubien		
16	67	N	JO	15	325	3065	297767	5046258			Saint-Michel / Saint-Zotique		
17	67	N	JO	16	321	3386	297464	5046387			Saint-Michel / Bélanger		

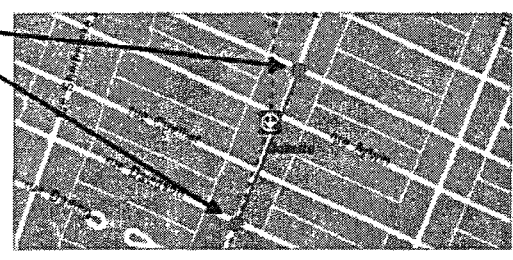


	A	B	C	D	F	G	H	I	K	L	N
1	Ligne	Dir	Trace	Seq	Dist	Date	Xcoord	Ycoord	Lieu	D	Nom_fran
41	67	S	JO	1	0	0	293069	5049347	M04801	D	Saint-Michel / Henri-Bourassa
42	67	S	JO	2	10	10	293069	5049347			Saint-Michel / Henri-Bourassa
43	67	S	JO	3	136	146	293385	5049063			Saint-Michel / Preux
44	67	S	JO	4	350	496	293597	5048870			Saint-Michel / Fleury
45	67	S	JO	5	366	766	293817	5048654			Saint-Michel / Montcalm



	A	B	C	D	F	G	H	I	K	L	N
1	Ligne	Dir	Trace	Seq	Dist	Date	Xcoord	Ycoord	Lieu	D	Nom_fran
81	67	N	LC	1	0	0	298246	5047100	R053	D	Saint-Michel / Jerry
82	67	N	LC	2	10	10	298128	5047178			Saint-Michel / d'Herelle
83	67	N	LC	3	143	153	298012	5047249	M064		Saint-Michel / d'Herelle
84	67	N	LC	4	136	289	295780	5047295			Saint-Michel / Davelle
85	67	N	LC	5	274	563	295547	5047544			Saint-Michel / Robert

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Ligne	Dir	Trace	Seq	Arret	Dist	Distc	Xcoord	Ycoord	Telep				
2	67	N	JO	1	120142	0	0	300785	5045213					
3	67	N	JO	2	119942	10	10	300695	5045002					
4	67	N	JO	3	119261	222	232	300425	5045117					
5	67	N	JO	4	118491	264	496	300143	5045236					
6	67	N	JO	5	127391	306	802	299966	5045314					
7	67	N	JO	6	117461	198	1000	299730	5045411					
8	67	N	JO	7	116671	243	1243	299471	5045515					
9	67	N	JO	8	116171	287	1530	299301	5045587					
10	67	N	JO	9	115581	167	1717	299089	5045677					
11	67	N	JO	10	114881	230	1947	298846	5045780					
12	67	N	JO	11	114361	266	2213	298657	5045862					
13	67	N	JO	12	114101	207	2420	298522	5045927					
14	67	N	JO	13	113661	140	2560	298359	5046004	52046				Saint-Michel / Bellechasse



Organisation de la base de données des temps de passages de la ligne 67.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
4	ligne	direction	arrêt	seq	dist_cum						
5	67 N		120142	1	0	510	523	538	552	604	615
6	67 N		119942	2	200	510	523	538	552	604	615
7	67 N		119261	3	422	511	524	539	553	605	616
8	67 N		118491	4	686	512	525	540	554	606	617
9	67 N		127391	5	952	513	526	541	555	607	618
10	67 N		117461	6	1190	514	527	542	556	608	619
11	67 N		116671	7	1423	515	528	543	557	609	620
12	67 N		116171	8	1720	516	529	544	558	610	621
13	67 N		115581	9	1907	517	530	545	559	611	622
14	67 N		114881	10	2137	517	530	545	559	611	623
15	67 N		114361	11	2403	518	531	546	560	612	624
16	67 N		114101	12	2610	519	532	547	561	613	625
17	67 N		113661	13	2750	520	533	548	562	614	625
18	67 N		112971	14	2930	520	533	548	562	614	626
19	67 N		112381	15	3255	521	534	549	563	615	627
20	67 N		111761	16	3576	523	536	551	565	617	628
21	67 N		141051	17	3907	524	537	552	566	618	630
22	67 N		111071	18	4039	524	537	552	566	618	630
23	67 N		110916	19	4286	525	538	553	567	619	631
24	67 N		110631	20	4467	526	539	554	568	620	632
25	67 N		110321	21	4586	526	539	554	568	620	632
26	67 N		110061	22	4762	527	540	555	569	621	633
27	67 N		109591	23	5097	528	541	556	570	622	633
28	67 N		109321	24	5327	529	542	557	571	623	634
29	67 N		129871	25	5470	529	542	557	571	623	634
30	67 N		108791	26	5606	529	542	557	571	623	634
31	67 N		135291	27	5880	531	544	559	573	625	635
32	67 N		107571	28	6151	532	545	560	574	626	636
33	67 N		107816	29	6434	533	546	561	575	627	637
34	67 N		107181	30	6702	534	547	562	576	628	638
35	67 N		106781	31	6976	535	548	563	577	629	639
36	67 N		106481	32	7253	536	549	564	578	630	640
37	67 N		106161	33	7480	537	550	565	579	631	641
38	67 N		105681	34	7640	538	551	566	580	632	642
39	67 N		1800321	35	8012	539	552	567	581	633	643
40	67 N		1800221	36	8198	540	553	568	582	634	644
41	67 N		1800171	37	8501	541	554	569	583	635	645
42	67 N		1802171	38	8806	542	555	570	584	636	646
43	67 N		1802186	39	9199	543	556	571	585	637	647
44	67 S		1802166	1	0	445	501	513	523	533	540
45	67 S		1802198	2	10	445	501	513	523	533	540

transformation des
temps de passage des
points de contrôle en
heure avec décimales

Interpolation des
temps de passage
aux autres arrêts

calcul des heures de
remise en service
(battement de 10% ou
3 minutes)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
4	ligne	direction	arrêt	seq	Dist											
5	67 N		120142	1	0	5.17	5.38	5.63	5.87	6.07	6.25	6.36	6.50	6.80	6.70	6.80
6	67 N		119942	2	230	5.18	5.40	5.65	5.88	6.08	6.26	6.40	6.51	6.61	6.71	6.81
7	67 N		119261	3	452	5.19	5.41	5.66	5.89	6.09	6.28	6.41	6.53	6.63	6.73	6.83
8	67 N		118491	4	715	5.21	5.42	5.67	5.91	6.11	6.29	6.42	6.54	6.64	6.74	6.84
9	67 N		127391	5	1022	5.22	5.44	5.69	5.92	6.12	6.31	6.44	6.56	6.66	6.76	6.86
10	67 N		117461	6	1220	5.24	5.45	5.70	5.94	6.14	6.32	6.45	6.57	6.67	6.77	6.87
11	67 N		116671	7	1463	5.25	5.47	5.72	5.95	6.15	6.33	6.47	6.58	6.68	6.78	6.88
12	67 N		116171	8	1750	5.27	5.48	5.73	5.97	6.17	6.35	6.48	6.60	6.70	6.80	6.90
13	67 N		115581	9	1937	5.28	5.49	5.74	5.98	6.18	6.36	6.50	6.61	6.71	6.81	6.91
14	67 N		114881	10	2167	5.29	5.51	5.76	5.99	6.19	6.38	6.51	6.63	6.73	6.83	6.93
15	67 N		114361	11	2433	5.31	5.52	5.77	6.01	6.21	6.40	6.53	6.65	6.75	6.85	6.95
16	67 N		114101	12	2640	5.32	5.54	5.79	6.02	6.22	6.41	6.54	6.66	6.76	6.86	6.96
17	67 N		113661	13	2780	5.33	5.54	5.79	6.03	6.23	6.42	6.55	6.67	6.77	6.87	6.97
18	67 N		112971	14	2960	5.34	5.55	5.80	6.04	6.24	6.43	6.56	6.68	6.78	6.88	6.98
19	67 N		112381	15	3285	5.36	5.57	5.82	6.06	6.26	6.45	6.58	6.70	6.80	6.90	7.00
20	67 N		111761	16	3606	5.38	5.59	5.84	6.08	6.28	6.47	6.60	6.72	6.82	6.92	7.02
21	67 N		141051	17	3937	5.39	5.61	5.86	6.09	6.29	6.49	6.63	6.74	6.84	6.94	7.04
22	67 N		111071	18	4089	5.40	5.62	5.87	6.10	6.30	6.50	6.63	6.75	6.85	6.95	7.05
23	67 N		110916	19	4316	5.42	5.63	5.88	6.12	6.32	6.52	6.65	6.77	6.87	6.97	7.07
24	67 N		110631	20	4497	5.43	5.65	5.90	6.13	6.33	6.53	6.66	6.78	6.88	6.98	7.08
25	67 N		110321	21	4618	5.44	5.65	5.90	6.14	6.34	6.54	6.67	6.79	6.89	6.99	7.09
26	67 N		110061	22	4822	5.45	5.67	5.92	6.15	6.35	6.55	6.68	6.80	6.90	7.00	7.10
27	67 N		109591	23	5127	5.47	5.69	5.94	6.17	6.37	6.57	6.71	6.82	6.92	7.02	7.12
28	67 N		109321	24	5357	5.49	5.71	5.96	6.19	6.39	6.59	6.72	6.84	6.94	7.04	7.14
29	67 N		129871	25	5500	5.50	5.72	5.97	6.20	6.40	6.60	6.73	6.85	6.95	7.05	7.15
30	67 N		108791	26	5636	5.51	5.72	5.97	6.21	6.41	6.61	6.74	6.86	6.96	7.06	7.16
31	67 N		135291	27	5910	5.52	5.74	5.99	6.22	6.42	6.62	6.75	6.87	6.97	7.07	7.17
32	67 N		107571	28	6181	5.54	5.75	6.00	6.24	6.44	6.64	6.77	6.89	6.99	7.09	7.19
33	67 N		107816	29	6464	5.55	5.77	6.02	6.25	6.45	6.65	6.79	6.90	7.00	7.10	7.20
34	67 N		107181	30	6732	5.57	5.78	6.03	6.27	6.47	6.67	6.80	6.92	7.02	7.12	7.22
35	67 N		106781	31	7006	5.58	5.80	6.05	6.28	6.48	6.68	6.82	6.93	7.03	7.13	7.23
36	67 N		106481	32	7283	5.60	5.82	6.07	6.30	6.50	6.70	6.83	6.95	7.05	7.15	7.25
37	67 N		106161	33	7510	5.62	5.83	6.08	6.32	6.52	6.72	6.85	6.97	7.07	7.17	7.27
38	67 N		105681	34	7870	5.64	5.86	6.11	6.34	6.54	6.74	6.87	6.99	7.09	7.19	7.29
39	67 N		1800321	35	8042	5.65	5.87	6.12	6.35	6.55	6.75	6.88	7.00	7.10	7.20	7.30
40	67 N		1800221	36	8228	5.66	5.88	6.13	6.36	6.56	6.76	6.89	7.01	7.11	7.21	7.31
41	67 N		1800171	37	8531	5.68	5.90	6.15	6.38	6.58	6.78	6.91	7.03	7.13	7.23	7.33
42	67 N		1802171	38	8836	5.70	5.92	6.17	6.40	6.60	6.80	6.93	7.05	7.15	7.25	7.35
43	67 N		1802186	39	9229	5.72	5.94	6.19	6.43	6.63	6.83	6.96	7.08	7.18	7.28	7.38
44	Remise en service (après battement)					5.78	6.00	6.25	6.48	6.68	6.88	7.02	7.13	7.23	7.33	7.43

