

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

MODÉLISATION DU CHOIX DE LA GARE D'EMBARQUEMENT POUR LES
USAGERS DU TRAIN DE BANLIEUE ACCÉDANT EN AUTOMOBILE

ISABELLE GOSSMANN

DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

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

AOÛT 2007



Library and
Archives Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Published Heritage
Branch

Direction du
Patrimoine de l'édition

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

ISBN: 978-0-494-35681-4

Our file Notre référence

ISBN: 978-0-494-35681-4

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.

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

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

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 :

MODÉLISATION DU CHOIX DE LA GARE D'EMBARQUEMENT POUR LES
USAGERS DU TRAIN DE BANLIEUE ACCÉDANT EN AUTOMOBILE

présenté par: GOSSMANN Isabelle

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

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

M. CHAPLEAU Robert, Ph.D., président

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

M. TRÉPANIÉ Martin, Ph.D., membre et codirecteur de recherche

M. NOËL Martin, M.Sc.A., membre

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à mes directeurs de recherche, Catherine Morency et Martin Trépanier, pour avoir accepté d'encadrer mon travail : leur intérêt, leurs conseils judicieux, leurs nombreuses idées, leurs grandes disponibilités et leurs encouragements ont très largement contribué à l'évolution de mon travail et ont fort bien répondu à mes attentes de formation en venant ici au Québec.

Je souhaite remercier le groupe MADITUC et en particulier Bruno Allard pour le temps qu'il a consacré à l'obtention des temps d'accès.

Je souhaite également remercier l'Agence Métropolitaine de Transport sans laquelle ce mémoire n'aurait pu se faire. En particulier, je remercie Marie-Hélène Campagna qui a toujours répondu à mes questions.

De plus, je remercie les personnes responsables de la modélisation au ministère des transports qui ont accepté de m'accorder du temps.

Enfin, je remercie les étudiants du groupe transport présents durant ma période d'étude. Leur soutien et leur amitié ont été très appréciés.

RÉSUMÉ

Le nombre de déplacements bimodaux de type « park-and-ride » (automobile en tant que conducteur puis transport en commun) est en progression dans la région de Montréal depuis les vingt dernières années. Les déplacements qui font intervenir l'automobile en tant que conducteur puis le train, représentent un nombre non négligeable de ces déplacements bimodaux de type « park-and-ride ». Cette recherche vise à analyser et comprendre les critères de choix pour la « station de train » afin de mieux modéliser ces déplacements.

Un modèle doit permettre de reproduire le plus fidèlement possible les comportements liés à un type de déplacement, ici en l'occurrence le choix de la station de train. Avant de tenter une modélisation mathématique, il est donc important de décrire et d'analyser les paramètres qui pourraient influencer sur ce choix. L'essentiel de cette recherche consiste par conséquent en une analyse des comportements des personnes effectuant un déplacement de type « park-and-ride ». Elle s'appuie pour cela sur les enquêtes à bord des trains des lignes Rigaud-Montréal et Deux-Montagnes-Montréal, effectuées par l'Agence Métropolitaine de Transport entre 2001 et 2005. Cette étude suppose a priori la détermination du mode « park-and-ride ». L'intérêt de ce travail réside dans la validation a posteriori de résultats obtenus par les modèles existants concernant le choix de la station, voire dans l'amélioration de ceux-ci. Cependant, l'idée se limite ici à reproduire les comportements observés et non à les prévoir.

Sur l'ensemble des deux lignes étudiées, le nombre de déplacements bimodaux a augmenté de plus de 20% entre 2001 et 2005 si bien que l'accès aux stations de train se fait majoritairement par le mode « automobile conducteur ». Les bimodaux sont en majorité des femmes, qui se déplacent pour motif travail et qui se rendent au centre ville de Montréal. La majorité des usagers marchent ensuite pour arriver à leur lieu de destination mais la part des transports en commun comme mode d'accès vers la destination finale est croissante. Un usager utilisant ce mode de transport cherche à maximiser la satisfaction ou utilité qu'il retire suite au choix de la station de train, ou en d'autres termes, à minimiser la désutilité (temps, coûts,

désagréments) engendrée par ce choix. L'objectif est donc ici de formuler l'équation traduisant la désutilité liée au choix de la station de train pour les personnes choisissant le mode « park-and-ride ». Plusieurs éléments peuvent a priori être pris en compte dans cette fonction de désutilité. Sans parler des éléments relatifs aux individus (âge, sexe, statut, revenu, lieu de domicile), les composantes relatives au choix de la station (temps d'accès en automobile, capacité des stationnements, taux d'occupation des stationnements, prix du stationnement, temps de marche, temps d'attente du train, disponibilité des places dans le train, temps de parcours en train, tarif du train) devraient permettre d'estimer une fonction d'utilité représentative de l'ensemble des bimodaux.

Différentes hypothèses ont été formulées pour le contexte particulier de la région. D'abord, tous les stationnements incitatifs étant gratuits, la variable tarifaire liée à l'usage de cette infrastructure a été négligée. De plus, les utilisateurs de ce mode de transport sont visiblement des habitués et arrivent à la gare juste à l'heure du train. Ainsi, le temps d'attente a été considéré nul. Concernant le temps d'accès, l'hypothèse retenue pour l'obtenir est de considérer la circulation en écoulement libre et non en congestion. Une analyse des variables a alors permis de constater qu'en 2005, plus des trois quarts des automobilistes ont choisi de se rendre à l'une des deux stations les plus proches de leur domicile. Les automobilistes semblent donc privilégier un temps d'accès en automobile très court. La disponibilité des places et le temps de marche ne paraissent pas être deux facteurs importants. Le tarif du train a son importance pour certains automobilistes puisqu'un peu moins d'un cinquième des automobilistes décident d'aller plus loin pour embarquer dans une zone tarifaire inférieure. De même, les taux d'occupation des stationnements diminuent avec l'éloignement de la gare choisie, ce qui montrerait que les automobilistes sont soucieux de trouver un espace de stationnement. L'importance de la capacité des stationnements n'est pas plus recherchée par les automobilistes se rendant loin de leur domicile pour prendre le train, que par les autres automobilistes. En revanche, les stationnements de capacité importante ont une aire d'attraction bien plus développée.

La méthode utilisée pour tenter de déterminer les coefficients relatifs aux différents paramètres de la fonction d'utilité d'un déplacement bimodal de ce type, est un modèle de choix discret (ici le modèle logit conditionnel) appliqué aux données de 2005 des deux lignes, et calé pour que la majorité des personnes se rendent au stationnement incitatif effectivement choisi. Les paramètres retenus pour expliquer le choix de la station de train sont le temps d'accès, la capacité des stationnements, le taux d'occupation et le tarif du train. Les résultats de cette première expérimentation sur le sujet montrent alors que le temps d'accès constitue bien l'effet le plus important dans la fonction d'utilité, cependant le taux de reproduction est de 55%, soit autant qu'un modèle affectant tous les automobilistes à la gare la plus proche. Le modèle n'est donc pas, à ce jour, concluant. Il surestime tout d'abord l'attrait des stationnements à forte capacité. Tous les automobilistes sont en effet affectés aux gares ayant les stationnements les plus importants. Il est donc nécessaire de poursuivre d'autres expériences dans ce domaine pour parvenir à une meilleure formalisation mathématique du phénomène. Une première amélioration consisterait sans doute à séparer les deux lignes car le comportement de leurs automobilistes diffère d'après nos analyses. Il semble également que le type de gare joue un rôle important dans l'explication du choix de la station de train. De plus, les hypothèses sur le temps d'accès ou sur le temps d'attente pourraient être remises en cause. Enfin, d'autres variables pourraient sans doute être testées afin d'améliorer le modèle.

ABSTRACT

The number of commuters who access public transit by private automobile (park-and-ride users) has increased over the last twenty years in the Greater Montreal Area. The commuters who access the train by car represent an important number of these travellers. This document presents findings on the behaviour of park-and-ride travellers based on data obtained from 2001 to 2005 commuter rail on-board surveys for the Montreal-Rigaud (5,533 respondents in 2005) and Montreal-Deux-Montagnes (9,965 respondents) commuter rail lines, and a generalized impedance model for the choice of train station. This study deals solely with observed park-and-ride trips; the choice of travel mode is not studied. The goal of this work is to validate and if possible improve on pre-existing models of boarding station choice. As such, the idea is to reproduce observed behaviour rather than to make predictions.

The number of park-and-ride users increased by more than 20% between 2001 and 2005 for both rail lines. In 2005, the majority of commuters accessed the train by driving their car. The majority of park-and-ride users are women and workers. These travellers are regular commuters who routinely take the train. The large majority of park-and-ride users get off the train downtown. After getting off the train, users mostly walk to the final destination since the terminal stations are in central downtown, but transit is used more and more. Users are looking to minimise their disutility due to the choice of train station. The datasets are so also used to estimate a disutility function for the choice of a boarding station. This choice is relatively complex because it can depend on individual attributes (age, gender, home location, car ownership) and choice attributes (access time by car, occupancy level of the parking lot, parking capacity, parking fare, walk time, waiting time, fare, travel time in the train, train occupancy level). First, only choice parameters are included in the impedance function. In the case of Montréal, we are able to simplify the impedance function. The waiting time is indeed removed because park-and-ride users base their arrival time at the station on their train schedule. In addition, parking is free at all stations, so parking fees are omitted. The assumption

of free-flow speed travel is retained for the estimations of access times. Results show that most of park-and-ride commuters (77% in 2005) will board the train at one of the two nearest station. The train occupancy level and the walk time do not seem to have an important influence on station choice. The transit fare is considered since about 20% of park-and-ride users choose a train station located in a lower fare area. The average parking lot occupancy is lower for park-and-ride users who do not choose one of the two train stations that are the nearest to their point of origin. So the parking lot occupancy level seems to have an influence on station choice. The parking capacity does not seem to have the same effect, but stations with high capacity attract people who live further.

Four parameters are finally considered in the model: access time, parking occupancy level, parking capacity and transit fare. The model is validated with the help of samples of on-board survey responses and the model is calibrated from the observations. The estimation was done using discrete choice modelling, more specifically the clogit (conditional logit) function from STATA. Results show that access time to the train station by car is the most important parameter in the choice of boarding station. However, only 55% of the trips are perfectly reproduced using this calibrated function, a success rate similar to that of a model which assigns park-and-ride travellers to the station nearest their home. The model overestimates the importance of parking capacity since the majority of park-and-ride users choose the largest parking lots. Consequently, there are still improvements to be made at this level. The first improvement would possibly be to separate the two train lines because they are different. Moreover, the hypothesis on the access time and on the transfer time may be called into questions. Finally the four variables may not be the best and other variables could be added in order to obtain more suitable utility parameters.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	IV
RÉSUMÉ	V
ABSTRACT	VIII
TABLE DES MATIÈRES	X
LISTE DES FIGURES	XIII
LISTE DES TABLEAUX.....	XIX
LISTE DES ANNEXES	XXI
LISTE DES SIGLES ET DES ABRÉVIATIONS	XXII
CHAPITRE 1. INTRODUCTION	1
CHAPITRE 2. REVUE DE LITTÉRATURE	4
2.1. Modélisation des déplacements multimodaux	4
2.1.1. Le choix modal et les déplacements multimodaux.....	4
2.1.2. Modélisation des déplacements multimodaux	8
2.2. Caractéristiques des déplacements bimodaux de type Park-and-Ride	12
2.2.1. Les usagers des déplacements bimodaux.....	12
2.2.2. Les caractéristiques des déplacements bimodaux	13
2.3. Les caractéristiques des stationnements incitatifs.....	14
2.3.1. Effets des stationnements incitatifs	14
2.3.2. Attentes des usagers concernant un stationnement incitatif	16
2.3.3. Modélisation du choix de localisation d'un stationnement incitatif.....	17
CHAPITRE 3. SYSTÈMES D'INFORMATION ET MÉTHODOLOGIE.....	19
3.1. Le contexte montréalais.....	19
3.1.1. Les enquêtes de transport à Montréal	19
3.1.2. Le train de banlieue et les déplacements bimodaux à Montréal	21

3.1.3.	La modélisation des déplacements bimodaux au ministère des transports du Québec (MTQ).....	23
3.2.	Système d'information – Données.....	33
3.3.	Modèle du coût généralisé.....	40
3.4.	Traitement des données.....	43
3.4.1.	Le temps de trajet routier entre l'origine et le stationnement.....	43
3.4.2.	Le taux d'occupation des stationnements incitatifs.....	45
3.4.3.	Le temps de marche.....	46
3.4.4.	Le temps de trajet en train.....	49
3.4.5.	La disponibilité des places dans le train.....	49
3.4.6.	Le tarif du trajet en train.....	49
3.5.	Modélisation du choix de la station de train.....	52
CHAPITRE 4. ANALYSE DESCRIPTIVE DES DONNÉES.....		55
4.1.	Utilisation du train.....	55
4.2.	Les déplacements bimodaux de type « park-and-ride » (auto-conducteur+train).....	61
4.2.1.	Tendances générales des déplacements bimodaux de type P&R.....	61
4.2.2.	L'accès à la station d'embarquement depuis le domicile.....	67
4.2.3.	Autres paramètres susceptibles d'influencer le choix de la station.....	83
CHAPITRE 5. EXPÉRIMENTATIONS, RÉSULTATS ET DISCUSSION.....		94
5.1.	Choix du modèle pour l'ensemble des automobilistes.....	94
5.2.	Résultat du modèle.....	96
5.2.1.	Taux de bonnes prédictions.....	97
5.2.2.	Effet des différents paramètres sur le choix de la station.....	99
5.3.	Segmentation par lignes.....	100
5.4.	Discussion.....	101
5.4.1.	L'importance de la capacité des stationnements surestimée.....	102

5.4.2. Les automobilistes mal prédits.....	107
CHAPITRE 6. CONCLUSION.....	111
BIBLIOGRAPHIE	113
ANNEXES	117

LISTE DES FIGURES

Figure 2-1 : Choix modaux disponibles dans la version 2.0 du modèle de la GTA (Miller, 2001).....	7
Figure 2-2 : Structure hiérarchique du choix modal pour le modèle de la grande région de Toronto (Miller, 2001).....	10
Figure 3-1 : Caractéristiques importantes des enquêtes à bord des trains de banlieue	21
Figure 3-2: Carte des 5 lignes de train de banlieue de Montréal (www.amt.qc.ca).....	22
Figure 3-3 : Description des particularités du modèle de transfert modal (MTQ, 2003).....	24
Figure 3-4 : Les différents types de transfert modal considérés (www.mtq.gouv.qc.ca).....	24
Figure 3-5 : Principe général d'application du modèle régional de transfert modal.....	25
Figure 3-6 : Division d'un enregistrement d'un individu susceptible de passer de l'auto au mode « Park-and-Ride » (présentation « Modèle régional de transfert modal » du ministère des transports du Québec).	26
Figure 3-7 : Synthèse des informations obtenues avec les données de l'enquête OD de 1998	28
Figure 3-8 : Courbe de répartition modale selon le motif de déplacement (www.mtq.gouv.qc.ca).....	29
Figure 3-9 : Procédure du modèle de transfert modal	30
Figure 3-10: Transfert modal auto/TC (présentation du ministère sur le modèle de transfert modal).....	31
Figure 3-11: Transfert modal TC/bimodal (présentation du ministère sur le modèle de transfert modal).....	32

Figure 3-12 : Description des horaires des trains aux stations de la ligne Rigaud-Montréal (horaires de train disponibles sur le site de l'AMT : http://www.amt.qc.ca/tc/train/horaires/).....	37
Figure 3-13 : Évolution de la capacité des stationnements incitatifs entre 2001 et 2005 pour les stations des lignes Rigaud et Deux-Montagnes.....	38
Figure 3-14 : Description des horaires des trains aux stations de la ligne Deux-Montagnes-Montréal (horaires de train disponibles sur le site de l'AMT : http://www.amt.qc.ca/tc/train/horaires/).....	39
Figure 3-15 : Représentation de la provenance des utilisateurs du mode « park-and-ride » pour les lignes de Rigaud et de Deux-Montagnes en 2005 (Trépanier et al., 2006).	40
Figure 3-16: Sélection progressive des données de 2005 utilisées dans l'étude	45
Figure 3-17 : Photo aérienne du stationnement incitatif de la gare de Vaudreuil sur la ligne Rigaud-Montréal (www.googleearth.com)	47
Figure 3-18 : Schéma de l'obtention des données « temps d'accès routier » et « temps de marche ».....	48
Figure 3-19 : Zones tarifaires pour les titres mensuels métropolitains de 2006 (www.amt.qc.ca)	50
Figure 4-1 : Profils de charge de la ligne Deux-Montagnes entre 2001 et 2005.....	58
Figure 4-2 : Profils de charge de la ligne Rigaud entre 2001 et 2005	58
Figure 4-3 : Évolution du nombre de déplacements entre 2001 et 2005 sur la ligne Deux-Montagnes en fonction du mode utilisé avant le train.	59
Figure 4-4 : Évolution du nombre de déplacements entre 2001 et 2005 sur la ligne Rigaud en fonction du mode utilisé avant le train.....	59
Figure 4-5 : Courbe socio-démographique sexuée et segmentée des automobilistes de la ligne Rigaud entre 2001 et 2005 selon le mode d'accès au train.	62

Figure 4-6 : Évolution de la part des automobilistes au sein de l'ensemble des utilisateurs du train et au sein de l'ensemble des automobilistes des deux lignes de train en fonction d'un découpage zonal	64
Figure 4-7 : Évolution par gare d'embarquement de la part des automobilistes dans l'ensemble des usagers du train de Deux-Montagnes entre 2001 et 2005, et de la part des automobilistes dans l'ensemble des automobilistes de Deux-Montagnes en 2005.....	65
Figure 4-8 : Évolution par gare d'embarquement de la part des automobilistes dans l'ensemble des usagers du train de Rigaud entre 2001 et 2005 et de la part des automobilistes dans l'ensemble des automobilistes de Rigaud en 2005.	66
Figure 4-9 : Répartition par ligne du pourcentage des automobilistes choisissant l'une des cinq alternatives les plus proches de leur domicile ou aucune des cinq, en 2005.....	67
Figure 4-10 : Distribution des temps d'accès en 2005 selon les alternatives choisies	68
Figure 4-11 : Pourcentage cumulé des automobilistes sur chacune des deux lignes de train en 2005 selon leur temps d'accès en automobile.	69
Figure 4-12 : Distribution du rapport entre le temps en auto et le temps en train sur chacune des deux lignes en 2005.	70
Figure 4-13 : Différence du rapport entre le temps d'accès et temps en train selon la ligne et les alternatives choisies	70
Figure 4-14 : Choix de la ligne en fonction du lieu de domicile (par RTA) pour les automobilistes de 2005.....	73
Figure 4-15 : Localisation des RTA dont tous les automobilistes se rendent à une même gare de la ligne de Deux-Montagnes en 2005.....	75
Figure 4-16 : Pour chaque station, part des automobilistes parmi les plus proches de chacune des stations de la ligne Deux-Montagnes, se rendant effectivement à cette station pour embarquer.	76

Figure 4-17 : Part des automobilistes les plus proches de chacune des gares de la ligne Rigaud, se rendant effectivement à cette gare pour embarquer.....	76
Figure 4-18 : Répartition par gares et par alternative choisie des automobilistes de la ligne Rigaud en 2005.....	79
Figure 4-19 : Station de Baie-d'Urfé.....	79
Figure 4-20 : Station de Beasconfield.....	79
Figure 4-21 : Station de Ste-Anne.....	79
Figure 4-22 : Station de Pointe-Claire.....	79
Figure 4-23 : Répartition par gares et par alternative choisie des automobilistes de la ligne Deux-Montagnes en 2005.....	80
Figure 4-24 : Station de l'Ile-Bigras.....	80
Figure 4-25 : Station de Roxboro-Pierrefonds.....	80
Figure 4-26 : Station de Ste-Dorothée.....	80
Figure 4-27 : Station de Du Ruisseau.....	80
Figure 4-28 : Représentation spatiale des temps d'accès moyen des automobilistes embarquant aux stations des lignes Rigaud et Deux-Montagnes.	81
Figure 4-29 : Distribution des distances d'accès pour la station de Roxboro-Pierrefonds.....	82
Figure 4-30 : Distribution des distances d'accès pour la station de Deux-Montagnes.....	82
Figure 4-31 : Distribution des distances d'accès pour la station de Ste-Dorothée.....	82
Figure 4-32 : Distribution des distances d'accès pour la station de Du Ruisseau.....	83
Figure 4-33 : Disponibilité des places dans le train en fonction de l'alternative choisie sur chaque ligne en 2005.....	84
Figure 4-34 : Évolution du taux de bimodaux de 2001 à 2005 en fonction de la capacité des stationnements choisis.	85

Figure 4-35 : Évolution de la capacité moyenne des stationnements choisis en 2005 en fonction de l'alternative choisie.....	85
Figure 4-36 : Évolution des temps d'accès entre 2003 et 2005 en fonction de la capacité du stationnement choisi.....	86
Figure 4-37 : Profils d'accumulation des automobiles dans le stationnement de Deux-Montagnes entre 2001 et 2005.....	87
Figure 4-38 : Taux d'occupation maximaux des stationnements incitatifs des deux lignes de train en fonction de la capacité.	88
Figure 4-39 : Nombre absolu d'automobilistes en surplus de la capacité des stationnements sur les deux lignes de train en fonction de la capacité.	88
Figure 4-40: Évolution du taux d'occupation moyen sur les deux lignes en fonction de l'alternative choisie	89
Figure 4-41 : Heure moyenne de départ du domicile selon l'alternative choisie en 2005	89
Figure 4-42 : Temps de marche moyen en 2005 sur les deux lignes en fonction de l'alternative choisie.....	90
Figure 4-43 : Part des automobilistes par zone de domicile selon la zone tarifaire d'embarquement choisie en 2005.	91
Figure 4-44 : Part des automobilistes choisissant une gare située dans une zone inférieure à celle de leur domicile en fonction de l'alternative choisie (2005)	92
Figure 4-45 : Nombre d'automobilistes en 2005 choisissant une zone d'embarquant autre que leur zone de domicile en fonction du temps supplémentaire d'accès par rapport à la zone tarifaire originale.	92
Figure 4-46 : Évolution du nombre de bimodaux de type « park-and-ride » montant à chaque station de Rigaud entre 2004 et 2005.....	93
Figure 5-1 : Distribution des probabilités des différentes alternatives pour l'ensemble des automobilistes.	98
Figure 5-2 : Prédiction des alternatives en fonction des alternatives observées.	99

Figure 5-3 : Répartition spatiale en pourcentage de l'ensemble des automobilistes bien prédits et de l'ensemble des automobilistes mal prédits.....	102
Figure 5-4 : Répartition des affectations du modèle des automobilistes ayant choisi la gare de Ste-Anne-de-Bellevue.....	104
Figure 5-5 : Différence relative entre l'utilité du choix observé et l'utilité du choix estimé pour l'échantillon de 30 personnes retenus.....	105
Figure 5-6 : Taux de reproduction et de non-reproduction du modèle par zone de domicile des automobilistes.....	107
Figure 5-7 : Courbe socio-démographique sexuée et segmentée des automobilistes de 2005 selon la valeur de prédiction du modèle.....	108
Figure 5-8 : Distribution cumulée en pourcentage des automobilistes de 2005 selon la valeur de prédiction du modèle, en fonction de l'heure de départ du domicile.....	109
Figure 5-9 : Distribution cumulée en pourcentage des automobilistes de 2005 selon la valeur de prédiction du modèle, en fonction de l'heure de départ du train.....	109
Figure 5-10 : Répartition en pourcentage des automobilistes de 2005 selon la valeur de prédiction du modèle, en fonction du train pris.....	110

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3-1: Description des non-captifs de chaque mode	26
Tableau 3-2: Attributs explicites et attributs déduits du questionnaire	35
Tableau 3-3: Taux de réponses au questionnaire des enquêtes à bord des trains.....	36
Tableau 3-4: Part des personnes d'après leur heure d'arrivée à la gare selon les temps routiers estimés en congestion et en écoulement libre.....	44
Tableau 3-5: Liste des gares des lignes Rigaud et Deux-Montagnes en fonction de leur zone tarifaire.....	50
Tableau 3-6 : Répartition des automobilistes en fonction de leur nombre d'alternatives en 2003, 2004 et 2005.	53
Tableau 4-1 : Évolution du nombre de déplacements entre 2001 et 2005	55
Tableau 4-2 : Évolution du nombre de déplacements auto conducteurs pour accéder aux trains des lignes Deux-Montagnes et Rigaud entre 2001 et 2005.....	60
Tableau 4-3 : Evolution de la part modale des autos conducteur dans l'accès au train des lignes Deux-Montagnes et Rigaud entre 1987 et 2005.	60
Tableau 4-4 : Evolution du nombre de femmes et d'hommes entre 2001 et 2005 au sein de l'ensemble des usagers du train et des auto conducteurs.....	61
Tableau 4-5 : Répartition en pourcentage des automobilistes ne choisissant pas l'une des 2 gares les plus proches du domicile, entre les alternatives 3, 4, 5 ou aucune de celles proposées.....	68
Tableau 4-6 : Choix de la ligne de train en fonction des lignes des cinq alternatives les plus proches du domicile.	71
Tableau 4-7 : Part des automobilistes choisissant la ligne de train la plus éloignée de leur domicile parmi l'ensemble des automobilistes ayant le choix entre les deux lignes.....	72
Tableau 5-1 : Variables retenues pour modéliser le choix de la station d'embarquement	94
Tableau 5-2 : Étude de corrélation entre les variables.....	95

Tableau 5-3 : Résultats statistiques principaux de huit modèles différents de choix de la station d'embarquement.	95
Tableau 5-4 : Résultats statistiques portant sur les coefficients des variables du modèle 5.....	96
Tableau 5-5: Résultats statistiques globaux	96
Tableau 5-6 : Pourcentage d'automobilistes observé et estimé selon l'alternative choisie	97
Tableau 5-7 : Comparaison des valeurs moyennes et des désutilités de chaque variable	100
Tableau 5-8 : Matrice des déplacements selon les lignes observées vs déplacements selon les lignes simulées.....	101
Tableau 5-9 : Classement des gares selon la position des gares d'affectation du modèle	103
Tableau 5-10 : Effet des différents paramètres du modèle dans le choix observé et dans le choix estimé.....	105
Tableau 5-11 : Dépassement de capacité de certaines stations suite à l'affectation du modèle.....	106

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Questionnaire à bord du train de banlieue de Deux-Montagnes-Montréal en 2005.....	117
Annexe 2: Distribution des écarts entre l'heure d'arrivée à la gare et l'heure de départ du train.....	118
Annexe 3 : Évolution des zones tarifaires de 2001 à 2005 pour les stations de la ligne Rigaud.....	121
Annexe 4 : Script du programme lancé sous STATA pour effectuer la régression logistique.....	122
Annexe 5 : Résultats des modèles estimés pour chacune des deux lignes.....	123
Annexe 6 : Description sommaire de l'échantillon de 30 personnes retenues pour la discussion.....	124
Annexe 7 : Comparaison des temps d'accès obtenus d'algorithmes différents.....	126

LISTE DES SIGLES ET DES ABRÉVIATIONS

AMT : Agence Métropolitaine de transport

EMME : Equilibre Multimodal/ Multimodal Equilibrium – logiciel de simulation des déplacements

Enquêtes OD : Enquêtes Origine-Destination

MADITUC : Modèle d'Analyse Désagrégée des Itinéraires de Transport Urbain Collectif - logiciel de simulation des déplacements

MTQ : Ministère des Transports du Québec

P&R : Park-and-ride

TC : Transport en commun

AC : Auto-conducteur

Chapitre 1. Introduction

Les déplacements bimodaux¹ représentent, aujourd'hui encore, un faible pourcentage des déplacements totaux. Cependant leur nombre s'accroît rapidement. Cette croissance est d'autant plus remarquable que la volonté politique dans les pays occidentaux semble être de développer des parcs de stationnement aux abords des villes afin d'inciter les automobilistes à un rabattement vers les transports en commun. Ainsi, l'attention portée aux déplacements bimodaux ne cesse de croître. En particulier, les utilisateurs du mode « park-and-ride » (automobile conducteur puis transport en commun) sont les plus nombreux d'entre eux, viennent ensuite les déplacements de type « kiss-and-ride » (automobile passager puis transport en commun), mais ces derniers sont moins étudiés. En revanche, plusieurs travaux ont porté sur les déplacements bimodaux de type « park-and-ride » afin de connaître les comportements des utilisateurs et les caractéristiques de ces déplacements. Ces usagers conduisent leur automobile de leur domicile à un parc de stationnement incitatif² choisi, puis prennent un des moyens de transport en commun disponibles à ce parc pour rejoindre leur destination. Ces utilisateurs présentent un grand intérêt car, par exemple, la localisation et le dimensionnement d'un stationnement incitatif dépendent de la demande de ce type d'usagers. Or, si les parcs de stationnement ont tendance à se multiplier, l'offre de stationnement ne répond pas toujours efficacement à la demande. Certains stationnements incitatifs restent vides alors que d'autres sont saturés. La prévision de la demande en déplacements bimodaux de type « park-and-ride » reste en effet assez aléatoire. Bien que des efforts soient

¹ Selon les cultures, les termes multimodaux et intermodaux sont utilisés différemment. En France, un déplacement comportant plusieurs modes successifs est qualifié de déplacement intermodal, alors qu'au Québec, il est couramment appelé déplacement multimodal. En particulier, un déplacement comportant seulement deux modes est alors qualifié de déplacement bimodal. Dans ce document, l'adjectif multimodal (resp. bimodal) sera donc employé pour nommer un déplacement effectué avec plusieurs modes (resp. avec deux modes).

² Les stationnements construits aux abords des stations de transport en commun sont appelés parc de stationnement incitatif ou parc relais. Le terme de stationnement incitatif sera utilisé dans ce travail.

réalisés dans certains pays occidentaux, la modélisation des déplacements bimodaux semble encore le fruit d'ajustements incertains et de compromis. Il s'agit donc ici d'améliorer la compréhension générale concernant les utilisateurs du mode « park-and-ride ».

La logique d'un déplacement bimodal diffère de la logique d'un déplacement unimodal, telle qu'elle est considérée dans les modèles de prévision. En effet, lors d'un déplacement bimodal, l'usager effectue de manière simultanée le choix de l'itinéraire et le choix modal, alors que les procédés habituels de modélisation des déplacements « purs »³ s'appuient sur la détermination préalable du mode pour affecter les déplacements sur le réseau. Il s'agit donc d'analyser et de comprendre l'itinéraire choisi par chaque usager pour mieux modéliser les déplacements bimodaux. Or un tel itinéraire est composé d'une partie en automobile (du domicile au parc de stationnement incitatif) et d'une partie en transport en commun (du parc de stationnement à la destination). Le choix de l'itinéraire est donc étroitement lié au choix du point de jonction⁴, et par conséquent, un déplacement bimodal de type « park-and-ride » peut être expliqué par le choix du stationnement incitatif. Ce choix met en jeu des paramètres laissés généralement de côté actuellement dans la modélisation et qui ont pourtant leur importance pour les déplacements bimodaux. En effet, le choix du point de jonction prend en compte non seulement les temps de parcours mais également les déterminants généraux de l'usage des transports en commun, l'évolution des systèmes tarifaires et les temps de transfert entre les deux modes. La modélisation des déplacements bimodaux passe donc par l'explication du choix de stationnement en fonction de variables liées au déplacement, et le cas échéant, de variables liées aux individus. L'objectif est donc de déterminer l'influence relative, sur le choix du point de jonction, de différents facteurs tels que les temps de trajets routiers et de transport en commun, le prix du parc de stationnement, la capacité du parc, le tarif de transport, la fréquence du service de

³ Les déplacements dits « purs » sont les déplacements effectués uniquement en automobile ou en transport en commun.

⁴ Le point de jonction désigne le point de transfert entre la partie en automobile et la partie transport en commun. Il correspond à l'emplacement du parc de stationnement incitatif.

transport en commun ou encore le mode de transport disponible. Quel est le degré d'influence de ces différents critères sur le choix de stationnement ? Est-ce la gare la plus proche du domicile qui est systématiquement choisie ? Est-il utile de tenter de modéliser finement les déplacements bimodaux ou sont-ils facilement identifiables ? D'autres paramètres, comme le tarif ou la disponibilité des places de stationnement, jouent-ils un rôle important ? De plus, des caractéristiques sociodémographiques, telles que l'âge ou le sexe, influent-ils de manière significative sur le choix ?

Le contexte montréalais, de par ces nombreuses enquêtes, constitue une remarquable opportunité pour tenter de répondre à ces questions. En effet, les nombreuses données disponibles, notamment par le biais des enquêtes à bord des trains de banlieue de Montréal, peuvent permettre de mieux comprendre l'importance attribuée par les usagers du mode bimodal aux différentes composantes du déplacement. L'objectif de cette étude est donc d'analyser les données recueillies à bord des trains de banlieue Rigaud-Montréal et Deux-Montagnes-Montréal entre 2001 et 2005, afin d'estimer un modèle de choix du point de jonction des déplacements bimodaux impliquant l'une ou l'autre de ces lignes.

Le document ci-dessous se découpe en quatre parties majeures. La première partie est une revue de littérature permettant de recenser les principales recherches effectuées sur le sujet et sur lesquelles cette étude se base. La deuxième partie traite des différents systèmes d'information utilisés pour cette recherche et décrit la méthodologie employée. La troisième partie est une analyse des données, et en particulier une analyse des bimodaux de type « park-and-ride ». La dernière partie consiste à analyser les résultats des expérimentations effectuées et à discuter de ces résultats.

Chapitre 2. Revue de littérature

Dans ce chapitre, il sera fait état, tout d'abord, des recherches et des applications portant sur la modélisation des déplacements multimodaux, en particulier des déplacements bimodaux de type « park-and-ride ». Ensuite, les déplacements de type « park-and-ride » seront décrits ainsi que les spécificités de leurs utilisateurs. Enfin, l'intérêt sera porté sur les stationnements incitatifs et leurs caractéristiques.

2.1. Modélisation des déplacements multimodaux

L'augmentation des déplacements multimodaux, en particulier des déplacements bimodaux, révèle un besoin pour les planificateurs de modéliser ces déplacements. Peu de modèles de prévision tiennent compte aujourd'hui de ce type de déplacements, c'est pourquoi des travaux de recherche sur ce sujet se multiplient. Il s'agit, d'une part, de considérer les déplacements multimodaux dans le choix modal, et d'autre part, de déterminer les paramètres expliquant le mieux possible un déplacement multimodal.

2.1.1. Le choix modal et les déplacements multimodaux

Le choix du mode de transport par un individu est un processus complexe à comprendre et modéliser. Cette étape occupe pourtant une place essentielle dans la modélisation de la demande de transport. Des travaux de recherche ont été menés, essentiellement dans les pays anglo-saxons, afin de mieux modéliser le choix modal. Ces études portent notamment sur le développement des modèles de choix discret. Les modèles de choix discret permettent de déterminer la probabilité de réalisation des différentes alternatives modales envisageables, supposées en nombre fini. Ils s'appliquent bien au problème de choix modal puisque le nombre de modes de déplacement disponibles est assez restreint. Ces modèles peuvent aussi bien s'appliquer sur des données agrégées que sur des données désagrégées.

Les modèles de choix discret se basent sur la théorie micro-économique qui suppose que l'individu se comporte de façon rationnelle. L'individu cherche à

maximiser la satisfaction provenant de l'usage d'un bien tout en ne dépassant pas un certain coût souvent corrélé au niveau de son revenu. Cette satisfaction est aussi appelée utilité. La fonction d'utilité permettant de caractériser une alternative modale peut dépendre d'une part, des caractéristiques socio-économiques de l'individu, et d'autre part, des caractéristiques du déplacement. Le choix des variables dépend du modèle explicatif théorique retenu ainsi que des données disponibles (facteur souvent très contraignant). Les caractéristiques socio-économiques des individus, telles que l'âge, le sexe ou encore le taux de motorisation, peuvent parfois ne pas être exprimées explicitement dans la fonction d'utilité mais être utilisées en amont pour segmenter la population. Les caractéristiques du déplacement sont, quant à elles, regroupées dans une fonction de coût généralisé qui permet « *de traduire dans un indicateur unique des éléments de nature différente* » (Bonnell, 2004). La notion de coût généralisé permet en effet d'exprimer le temps passé en véhicule, le coût monétaire de réalisation du déplacement (coût du stationnement, tarif du transport en commun, coût de l'essence) ainsi que les temps d'attente et de transfert (marche à l'intérieur du stationnement, marche pour accéder à l'arrêt de transport en commun et temps de correspondance). La fonction d'utilité est en général une fonction linéaire.

Lors du choix modal, l'individu est supposé choisir l'alternative qui présentera la plus grande utilité. Toutefois, les données empiriques ont démontré que des individus « semblables » n'effectuent pas toujours le même choix face à une situation identique. « *Notre connaissance des phénomènes ne nous permet pas d'identifier ou de mesurer exactement tous les éléments pris en compte par l'individu dans son évaluation de l'utilité de chacune des alternatives* » (Bonnell, 2004). C'est pourquoi, une partie aléatoire ε liée à la particularité de l'utilisateur de l'utilité U est ajoutée à la partie déterministe V exprimée précédemment, d'où l'expression de l'utilité du mode i : $U_i = V_i + \varepsilon_i$ (Modesti et al., 1997). L'objectif est alors de déterminer la probabilité qu'un individu choisisse le mode i plutôt que le mode j . Elle correspond à la probabilité que l'utilité du mode i soit supérieure à l'utilité du mode j , c'est-à-dire :

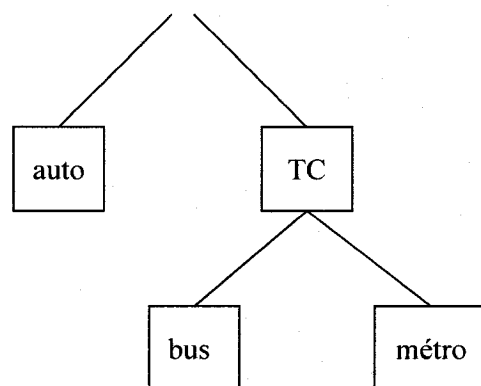
$$P(U_i > U_j) = P(V_i + \varepsilon_i > V_j + \varepsilon_j) = P(U_i - U_j > \varepsilon_j - \varepsilon_i)$$

Si les résidus ε suivent une loi de distribution de Gumbell, alors la probabilité d'utiliser le mode i est égale à :

$$P(U_i > U_k) = \frac{e^{-V_i}}{\sum_k e^{-V_k}}$$

Cette formulation correspond à un modèle logit. Les modèles logit sont les modèles de choix discret les plus courants dans le domaine des transports. Ils s'appliquent à des valeurs discrètes (1/0) ou non continues. Le modèle estime la probabilité que le mode choisi par un individu prenne la valeur 1 et que les probabilités des autres modes prennent la valeur 0 : $P(i=1)$ et $\forall k \neq i, P(k=0)$. Les modèles logit prennent en effet en compte non seulement l'alternative choisie mais également les alternatives non choisies par un individu. Dans le cas d'un modèle agrégé, la part de marché du mode i est directement égale à la probabilité. Dans un modèle désagrégé, la part modale du mode i est égale à la somme des probabilités individuelles d'utiliser le mode i (dans la mesure où l'échantillon est bien représentatif de l'ensemble de la population). Il existe plusieurs types de modèle logit :

- Les logit emboîtés ou hiérarchisés (nested logit).



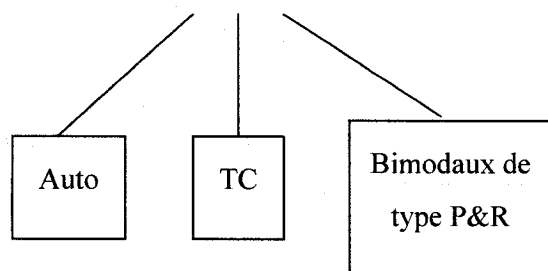
Ces types de logit comportent plusieurs niveaux de choix et reconstituent l'ordre de ces choix. Un individu choisira par exemple d'abord entre les 2 modes dominants (automobile et transport en commun), puis s'il choisit transport en commun, entre le bus et le métro. Les modèles discrets de choix modal restent

aujourd'hui encore très dominés par un choix bimodal mettant en concurrence l'automobile et le transport en commun (Hull, 1998; Spiess, 1996). Les déplacements bimodaux de type « park-and-ride » par exemple sont alors considérés comme des sous-modes du mode TC. Ainsi, l'alternative

«mode bimodal » ne sera envisagée que si, au préalable, l'individu est reconnu par le modèle comme un utilisateur des transports en commun.

- Les logit multinomiaux :

Les logit multinomiaux mettent l'ensemble des modes sur le même plan et ils supposent les différents choix indépendants les uns des autres. Cette hypothèse implique que la probabilité relative qu'un individu



choisisse l'alternative i plutôt que l'alternative j ne dépend que des attributs des alternatives i et j . Le choix d'effectuer un déplacement bimodal peut être considéré indépendant du choix de prendre les transports en commun. Cependant, peu d'études les mettent au même niveau. Li et al. (2006) ont établi un algorithme afin de modéliser avec un modèle multinomial le choix modal entre 3 modes (auto, marche+méto et auto+méto). La version 2.0 du modèle de la Grande Région de Toronto (GTA) prévoit de placer au même niveau sept modes différents (Miller, 2001). Les déplacements bimodaux sont bien traités à part entière comme des modes. Le modèle fait de plus la distinction entre les déplacements bimodaux de type « park-and-ride » faisant intervenir le train ou le métro.

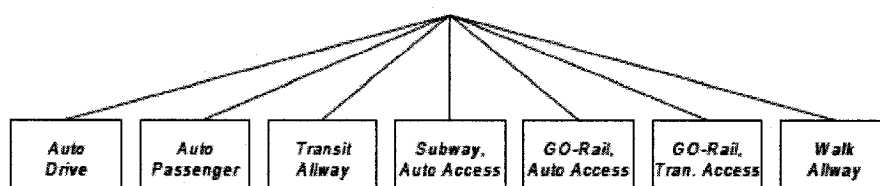


Figure 2-1 : Choix modaux disponibles dans la version 2.0 du modèle de la GTA (Miller, 2001)

Dans le domaine des transports, la distinction entre le logit multinomial et le logit conditionnel est peu faite. Le logit multinomial est un modèle dans lequel il n'existe que des variables propres à l'individu, telles que l'âge, le sexe, le lieu de domicile, le taux de motorisation. Le logit conditionnel peut quant à lui combiner des variables propres à l'individu et propres au choix. Les variables propres au choix du point de jonction sont, par exemple, le temps d'accès en auto, la capacité du

stationnement, le temps en transport en commun ou encore le tarif. Les modèles logit conditionnel sont donc davantage utilisés en transport.

2.1.2. Modélisation des déplacements multimodaux

La modélisation des déplacements multimodaux nécessite tout d'abord la formulation de la fonction d'utilité de ces déplacements afin de déterminer ensuite le choix de l'itinéraire et des points de transfert.

2.1.2.1. La fonction d'utilité des déplacements bimodaux

Un modèle de déplacements doit représenter le mieux possible les comportements observés des utilisateurs. Cependant, un modèle reste une approximation de la réalité puisqu'il est basé sur des hypothèses, parfois restrictives. La modélisation des déplacements multimodaux nécessite l'expression de leur fonction d'utilité, ou plus exactement de leur fonction de désutilité. En effet, un individu va choisir pour effectuer son déplacement, le mode et l'itinéraire qui lui apportent le moins de pertes de temps et d'argent. Cette fonction d'impédance est donc susceptible de varier selon les hypothèses posées, d'autant plus que les composantes d'un déplacement bimodal sont nombreuses. La fonction de désutilité d'un déplacement bimodal de type « park-and-ride » peut être tout simplement définie par la somme des désutilités de la partie auto et de la partie transport en commun ainsi que d'une variable traduisant l'attractivité relative du parc incitatif choisi (Spiess, 1993, 1996). Cette variable est en général une pénalité qui traduit le coût et/ou la capacité limitée des stationnements (Hendricks & Outwater, 1998; Hull, 1998). La fonction de désutilité construite à des fins de modélisation des déplacements est essentiellement constituée du coût généralisé et de très peu de variables sociODémographiques. Modesti & Sciomachen (1997) ont cependant ajouté à la fonction de coût généralisé classique une variable traduisant la classe de revenu du ménage. Le coût généralisé « classique » exprime de façon explicite les désutilités de chaque partie du déplacement, ainsi que la désutilité liée au transfert modal. Il prend en compte de façon détaillée tous les éléments du déplacement (Li et al., 2006; Modesti & Sciomachen, 1997). Il tient compte du temps de trajet en auto du

domicile au point de jonction, du temps de trajet en transport en commun du point de jonction à la destination, du temps d'attente moyen au point de jonction, du temps de marche total à l'intérieur du parc incitatif et à la destination, du coût du trajet en auto (coût de l'essence et prix du parking), du temps de recherche d'une place dans le parc, du coût du trajet en transport en commun et de l'inconfort du trajet en transport en commun. Li et al. (2006) calculent l'inconfort du voyage en fonction du taux d'occupation des véhicules de transport en commun, et le temps de recherche d'une place en fonction du temps d'accès dans le parking (s'il faut payer à l'entrée) et de la disponibilité des places dans le stationnement incitatif. Modesti & Sciomachen (1997) soulignent que la fonction d'utilité ne peut être linéaire par rapport au temps de marche car dix minutes de marche ne sont pas ressenties de la même façon qu'une heure de marche. Ils proposent donc de pondérer de façon croissante les temps de marche par tranche de 10 minutes. Miller (2001), dans la version 2.0 de son modèle de la grande région de Toronto, utilise six paramètres pour exprimer la désutilité d'un déplacement bimodal parmi lesquels le temps d'accès, le temps en véhicule, le nombre de places dans les stationnements incitatifs, le coût en auto et le tarif du transport en commun. Il n'utilise pas explicitement les temps de transfert et les temps d'attente mais ajoute le nombre de train desservant les stations durant la période considérée.

2.1.2.2. Choix de l'itinéraire et des stations de transfert

Lorsqu'un individu choisit d'effectuer un déplacement bimodal, il a le choix entre différentes alternatives, c'est-à-dire différents itinéraires, différentes combinaisons modales et plusieurs points de jonction. La désutilité de son déplacement va donc changer selon l'alternative retenue. Or l'individu recherche toujours à minimiser la désutilité de son déplacement. Les algorithmes de plus courts chemins visent à déterminer le trajet d'une origine à une destination ayant le coût généralisé le plus faible. Leur application aux déplacements multimodaux (qui impliquent plusieurs modes successifs) se traduit par des techniques de recherche opérationnelle assez variées. Lorazo et Storchi (2001) commencent par déterminer le plus court chemin sans transfert modal puis avec un puis deux transferts modaux. L'algorithme permet

de fixer un nombre k de transferts modaux choisis par l'utilisateur. Chaque personne attribue un coût qu'elle est prête à dépenser pour l'ensemble des transferts modaux. Le nombre de transferts modaux est alors une donnée subjective du modèle et n'est pas fixe dans la fonction de désutilité. La viabilité dans l'enchaînement des modes est une condition importante dans les algorithmes de plus courts chemins (Bielli et al., 2006; Lozano & Storchi, 2001; Modesti & Sciomachen., 1997). Le mode auto conducteur ne peut être utilisé qu'à partir du domicile ou après un mode tel que la marche. Il est impossible de trouver par exemple métro puis auto conducteur (seul le trajet depuis le domicile est modélisé). De plus, un trajet est viable s'il ne comprend pas un sous trajet de type métro-bus-métro. Il est considéré que le métro ne peut pas être utilisé deux fois non consécutives dans un même trajet. L'heure de trajet a une incidence sur le choix des modes puisqu'un déplacement d'une origine à une destination fait en heure de pointe ne sera pas toujours effectué par les mêmes modes qu'en heure creuse. La fréquence des transports en commun varie et par conséquent le temps d'attente également. Le plus court chemin d'une origine donnée à une destination donnée varie donc selon l'horaire (Bielli et al., 2006; Ziliaskopoulos & Wardell, 2000).

Le choix entre différentes alternatives de stationnement peut également être modélisé par un logit multinomial (Hendricks et al., 1998; Miller, 2001; Spiess, 1996). Ce modèle est alors intégré dans un modèle logit hiérarchisé de choix modal (Figure 2-2).

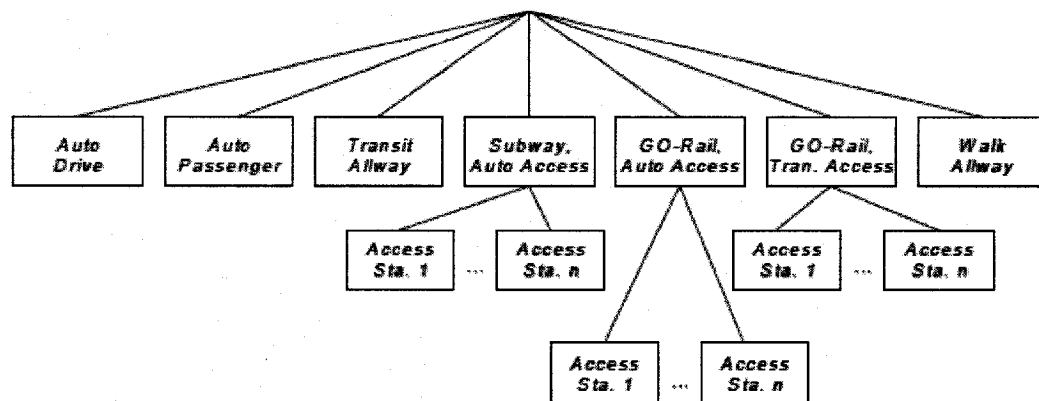


Figure 2-2 : Structure hiérarchique du choix modal pour le modèle de la grande région de Toronto (Miller, 2001)

Les déplacements bimodaux de type « park-and-ride » sont traités de façon détaillée dans le modèle de Toronto. Pour Spiess (1996) et Hendricks et al. (1998), la prévision de la demande de transport à chaque stationnement est basée sur la désutilité des modes et sur la capacité limitée des stationnements. Pour les différentes alternatives de parc de stationnement, le temps de trajet auto pour parvenir au parc et le temps de trajet en transport en commun pour parvenir à destination, sont simulés. L'alternative retenue correspond à celle dont la probabilité de choix est la plus élevée. Cependant, la contrainte de capacité des stationnements n'est pas considérée dans l'utilité des déplacements bimodaux. Elle est prise comme une contrainte extérieure sur laquelle l'algorithme itère jusqu'à convergence entre les véhicules qui arrivent et la disponibilité des places dans les stationnements. Le temps de transfert est négligé dans ce type de modèle statique. Il est difficile de le modéliser. Tsang et al. (2004) ont créé un modèle dynamique du temps de transfert dans les stationnements incitatifs en fonction de la file d'attente pour entrer dans le parc, du temps d'attente pour payer le stationnement, du temps de conduite à l'intérieur du parc et du temps de marche jusqu'au quai de transport en commun. Le temps de recherche d'une place n'est pas pris en compte. Leur modèle leur a permis de conclure que le temps de transfert est lié à l'heure d'arrivée dans le stationnement. Plus l'utilisateur y arrive tard et plus il met du temps pour passer de l'auto au transport en commun.

La modélisation des déplacements multimodaux, et en particulier la modélisation des déplacements bimodaux, est donc souvent calquée sur la modélisation automobile et TC dans le sens où le modèle cherche à minimiser la fonction d'utilité. Cependant, il existe également au Québec un modèle de transfert modal incrémental à seuil qui permet de déterminer le nombre de transferts modaux suite à un changement de l'offre de transport (Présentation du ministère des transports du Québec). Les caractéristiques des déplacements bimodaux peuvent alors en être déduites. Ce modèle est basé sur la variation des écarts de temps simulés pour différentes alternatives modales, entre une année référence et une année d'étude pour laquelle le changement dans l'offre de transport est effectif. Si la différence est supérieure à un certain seuil, le modèle considère qu'il y a transfert modal. Le choix

du seuil de transfert modal est complexe puisqu'il peut varier selon l'âge, le sexe, le taux de motorisation, l'origine du déplacement ou encore le motif du déplacement (Noël, 1986).

2.2. Caractéristiques des déplacements bimodaux de type Park-and-Ride

Cette partie vise à identifier les faits principaux caractérisant d'une part, les usagers des déplacements bimodaux de type « park-and-ride », et d'autre part, les déplacements eux-mêmes.

2.2.1. Les usagers des déplacements bimodaux

Les personnes effectuant des déplacements bimodaux de type « park-and-ride » sont assez semblables d'un pays occidental à l'autre. En effet, les déplacements bimodaux sont essentiellement effectués par les banlieusards : il est donc logique de retrouver un certain nombre de facteurs tels la taille importante des ménages, des revenus assez élevés, ou encore un taux de motorisation plus élevé que la moyenne (Chapleau et al., 2002; Foote, 2000; Lichère 1999; Shirgaokar & Deakin, 2005). Cependant, ces remarques ne sont plus valables dès lors qu'on ne se place pas dans un contexte occidental où les transports en commun sont bien développés et où habiter en périphérie est un privilège recherché par les familles plus aisées. En effet, les utilisateurs du mode « park-and-ride » en Asie de l'Est sont plus pauvres que la moyenne. Deux faits semblent expliquer que les individus plus aisés en Asie n'utilisent pas le mode « park-and-ride » : d'une part, les transports en commun ne sont pas assez compétitifs par rapport à la voiture, et d'autre part, les plus riches n'habitent pas en périphérie (Lam et al., 2001; Shirgaokar & Deakin, 2005). De plus, les femmes sont, de façon générale, plus nombreuses que les hommes à effectuer un déplacement bimodal de type « park-and-ride », avec parfois un taux de femmes supérieur à 60% (Foote, 2000; Lichère 1999). Ce type de déplacement est utilisé à grande majorité pour le motif travail, puisque plus de 75% des déplacements bimodaux effectués sont à motif travail (Foote, 2000; Shirgaokar &

Deakin, 2005). L'autre motif principal de déplacement de type « park-and-ride » est le motif étude (Lichère 1999).

2.2.2. Les caractéristiques des déplacements bimodaux

Les déplacements de type « park-and-ride » sont essentiellement effectués en semaine et en heure de pointe. Les usagers partent très tôt le matin, car le trajet est souvent assez long. La durée et la distance d'un déplacement bimodal sont en moyenne les plus longues des différents modes observés (Lichère 1999). L'heure de départ peut varier cependant selon la profession des utilisateurs. Les classes aisées par exemple partent un peu plus tard (Shirgaokar & Deakin, 2005). Le retour est en général effectué par le même mode. Les utilisateurs sont des habitués. Leur fréquence d'utilisation des stationnements incitatifs par semaine est élevée, proche de 5 fois par semaine (Lichère 1999), et ils changent peu de parc de stationnement (Shirgaokar & Deakin, 2005). Les conducteurs qui connaissent les différents parkings de la région ne font pas attention aux indications des panneaux à messages variables, qui peuvent parfois leur indiquer le taux d'occupation de leur stationnement. Ils se rendent à leur parking habituel bien qu'ils soient conscients du message (Thompson & Bonsall, 1997). Le taux d'occupation des véhicules est environ égal à 1, ce qui signifie que les utilisateurs se rendent très souvent seuls au stationnement. La distance entre le domicile et le stationnement est faible si bien que la majorité des usagers ne prennent leur voiture que pour une dizaine de minutes tout au plus. Shirgaoker & Deakin (2005) ont cependant observé que le temps d'accès pour parvenir aux stations de métro ou aux arrêts d'autobus est plus faible en moyenne que le temps d'accès aux stations de train. Une demande régionale et non uniquement locale semble en effet s'accroître pour l'utilisation du train de banlieue (Chapleau & Morency, 2002). La grande majorité de ces déplacements se destinent au centre-ville, aussi bien en Asie, en Europe ou en Amérique du Nord (Chapleau et al., 2002; Lam et al., 2001; Lichère 1999; Shirgaokar & Deakin, 2005). Les personnes qui choisissent un déplacement bimodal de type « park-and-ride » souhaitent en effet éviter la congestion. De plus, ils n'effectuent pas un transfert modal juste pour quelques minutes de transport en

commun. Les temps de trajet en transport en commun depuis le point de jonction jusqu'à la destination sont en effet beaucoup plus longs que les temps de trajet en auto depuis le domicile jusqu'au point d'échange. La majorité des personnes sont ensuite directement arrivées à leur lieu de destination. Le mode utilisé après le transport en commun pour parvenir à destination est, pour la plupart des individus, la marche. Chapleau et al. (2002) notent que les usagers du train vers le centre-ville délaissent ensuite le métro. Ces déplacements de type « park-and-ride », ainsi que les « kiss-and-ride » d'ailleurs, sont en constante augmentation. En 1998, Chapleau et al. (2002) observent que « *Ces déplacements représentent maintenant près de la moitié des déplacements impliquant le train en pointe du matin* ». A contrario, la proportion des accès à pied est en décroissance.

2.3. Les caractéristiques des stationnements incitatifs

Les premiers stationnements incitatifs ont été construits aux États-unis dans les années 1930 et se sont popularisés dans les années 60 (Noël, E.C., 1988). Les parcs d'échange situés à l'extérieur des villes constituent une des mesures politiques en vogue car on leur prête des effets bénéfiques pour la société et pour l'individu. Cependant, la localisation de ces parcs d'échange importe car les utilisateurs ont des attentes précises à ce niveau. La modélisation de la localisation des parcs incitatifs devient d'ailleurs une préoccupation de plus en plus répandue mais les facteurs de localisation sont multiples.

2.3.1. Effets des stationnements incitatifs

Les parcs d'échange situés à l'extérieur des villes sont une des mesures politiques en vogue pour lutter contre la congestion. En effet, les conducteurs sont supposés se rabattre sur les transports en commun en amont des points de congestion, ce qui a pour conséquence la réduction de la congestion sur les routes. L'implantation d'un parc de stationnement incitatif génère indéniablement une hausse des déplacements en transport en commun situés aux abords de ce parc. Kuby et al. (2004) ont élaboré un modèle visant à expliquer le taux d'utilisation d'un système de train léger et ont estimé que la présence d'un parc est un des facteurs explicatifs. Les bénéfices du

développement de parcs incitatifs pour la société sont multiples, puisque la réduction de la congestion entraîne une réduction de la pollution de l'air au centre-ville, une réduction de la consommation d'énergie et une meilleure accessibilité au centre-ville. Le changement d'un nombre important de personnes d'un mode individuel à un mode collectif permet en effet de diminuer la pollution, d'autant plus si le mode de transport en commun est électrifié. Cependant, l'instauration de stationnements incitatifs peut augmenter la pollution locale car elle génère une augmentation de la circulation et des déviations en dehors du centre-ville afin d'atteindre le point de jonction (Parkhurst, 2000). De plus, l'utilisation des transports en commun de proximité a tendance à baisser car les personnes se rendent directement en voiture au stationnement. Parkhurst (2000) a observé que moins de la moitié des utilisateurs des stationnements incitatifs auraient conduit jusqu'au centre-ville sans le stationnement incitatif. Il y a donc plus de la moitié des utilisateurs du mode « park-and-ride » qui ont changé leurs habitudes de déplacement et utilisent dorénavant leur voiture. Des déplacements en voiture sont donc possiblement générés aux abords des parcs de stationnement mais également à proximité du centre-ville. Un avantage de la construction de stationnements incitatifs serait de pouvoir diminuer le nombre de places disponibles en centre-ville et libérer de la place pour créer d'autres aménagements ou construire des logements ou des bureaux (Parkhurst, 1995). Néanmoins, si la capacité des parkings en centre-ville reste identique et que le taux d'occupation est faible, certaines personnes à proximité du centre-ville sont tentées de se déplacer en voiture (Parkhurst, 2000). Une politique cohérente de stationnement doit donc être menée afin de ne pas augmenter le nombre de déplacements en automobile. L'installation de parcs d'échange doit être accompagnée d'une politique de stationnement au centre-ville. Outre les bénéfices pour la société, les bénéfices des usagers qui décident de conduire jusqu'au parc de stationnement puis de prendre les transports en commun sont également importants en terme de temps, de coût et de confort. Le temps de trajet est en général moins long que pour les autres modes de transport (pour un même trajet), c'est pourquoi le mode « park-and-ride » est choisi. Le coût du déplacement est plus faible puisque la consommation d'essence est diminuée et les

frais de voyages réduits. Le stationnement est moins cher qu'en centre-ville et les éventuels péages routiers sont évités (Noël, E.C., 1988). Si ce mode de transport devient une habitude, le coût de l'entretien du véhicule s'en trouve également diminué. Le confort de l'utilisateur est augmenté puisque ce moyen de transport n'est pas stressant contrairement à la conduite. L'utilisateur a de plus l'opportunité d'utiliser le temps de trajet pour une autre activité. Enfin, la disponibilité des places dans les parcs d'échange est plus importante qu'au centre-ville. Le temps de recherche devrait donc être moins long. Pour l'opérateur des transports en commun par contre, le coût économique est important et parfois non rentable (Noël, E.C., 1988). Outre la construction, les parcs ont besoin d'être entretenus régulièrement, ce qui laisse moins d'argent pour le reste.

2.3.2. Attentes des usagers concernant un stationnement incitatif

Pour utiliser un stationnement incitatif, les personnes recherchent en premier lieu une bonne accessibilité et une garantie de trouver des places disponibles (Lichère 1999). La capacité des stationnements constitue le souci principal des utilisateurs. Ils sont même prêts à payer pour avoir une place de stationnement tous les matins (Shirgaokar & Deakin, 2005). Les personnes souhaitent également que l'environnement soit sécurisé et agréable (Lam et al., 2001). Certains stationnements incitatifs sont construits aux abords des villes, parfois dans des quartiers plus pauvres. L'insécurité qui règne parfois dans ces quartiers est un facteur de dissuasion pour les usagers qui utilisent souvent ces infrastructures à l'aube ou à la tombée de la nuit. Les usagers souhaitent également que les parcs d'incitation ne soient pas seulement un lieu d'échange de modes de transport mais que des équipements et des services y soient aussi présents. Concernant le transfert de mode, Lam *et al.* (2001) ont estimé que le temps de marche ne constitue pas un facteur important, contrairement au prix du parking. En Asie, le choix d'effectuer un déplacement de type « park-and-ride » est essentiellement lié au prix du stationnement. Enfin, Shirgaokar & Deakin (2005) ont observé que le respect des horaires est plus important pour les usagers que le fait d'augmenter la fréquence du service. Les usagers des déplacements bimodaux sont des habitués qui connaissent

leur trajet avant de partir de leur domicile, savent le temps qu'il leur faut pour atteindre le stationnement et trouver une place, et ajustent donc leur départ en fonction des horaires.

2.3.3. Modélisation du choix de localisation d'un stationnement incitatif

La localisation d'un stationnement incitatif est stratégique. En effet, pour que les usagers utilisent le mode bimodal et que l'investissement dans le parc incitatif soit rentable, certaines conditions de localisation doivent être respectées. Tout d'abord, le stationnement doit être situé en amont de la congestion, assez loin du centre-ville par conséquent. Deux stationnements ne doivent pas être trop proches l'un de l'autre (Faghri et al., 2002). Lors de la construction d'une telle infrastructure, il est important de considérer les parcs de stationnements déjà existants et de les maintenir (Farhan & Murray, 2006). Pour ne pas dissuader les personnes d'utiliser le mode bimodal, il est préférable que le stationnement soit proche de la ligne de transport en commun et que la fréquence du transport en commun ne soit pas trop faible. Cependant, la localisation des parcs de stationnement est plus souvent déterminée à partir du réseau routier et de son utilisation. L'objectif lors de la construction de stationnements incitatifs est d'attirer le maximum d'automobilistes possibles. Ainsi, Faghri *et al.* (2002) indiquent qu'il faut situer un point d'échange près d'une route à faible service afin que les automobilistes pris dans la congestion soient tentés de laisser leur voiture et de prendre les transports en commun. La proximité d'un axe routier important est également un facteur augmentant la fréquentation des stationnements incitatifs car il est visible de l'autoroute et le temps de trajet pour s'y rendre est faible (Farhan et al., 2006). La disponibilité d'espace, qui paraît être un paramètre primordial dans la localisation des parcs incitatifs, est cependant peu évoquée. Il est vrai qu'aux Etats-Unis ou au Canada, l'espace disponible reste encore important.

La modélisation de la localisation des stationnements incitatifs met en jeu le report de modes. L'installation d'un parc d'échanges va modifier les comportements de déplacement et créer un transfert d'un mode vers le mode bimodal. L'objectif est de réduire la congestion sur les routes et de faire gagner du temps et du confort aux

usagers, c'est-à-dire minimiser le coût social total tout en maximisant le profit pour l'opérateur (Wang et al., 2003; Wang et al., 2004). Lors de la modélisation de la localisation de telles infrastructures, le report modal est souvent réduit au transfert de l'automobile au mode bimodal. Horner & Groves (2006) tentent d'optimiser la localisation en interceptant le plus en amont possible le maximum de véhicules se destinant au centre-ville. Ils considèrent implicitement qu'une partie de ces véhicules, proportionnelle au nombre total des véhicules, va ainsi se reporter sur le mode « park-and-ride ». Wang *et al.* (2003 et 2004) tentent d'optimiser la localisation en se basant sur l'égalité des coûts généralisés entre une autoroute congestionnée et une ligne de train non congestionnée. La demande des usagers bimodaux est prise en compte puisque la localisation dépend non seulement du niveau de la congestion issu de l'équilibre obtenu entre les modes, mais également du prix du stationnement et du prix du train. Fahran & Murray (2006) ont une approche de la localisation plus axée sur l'origine de la demande. L'utilisation d'un stationnement incitatif n'est alors pas régionale mais entièrement locale. La demande en déplacements bimodaux de type « park-and-ride » est répartie aux alentours du stationnement et décroît avec la distance. Il faut donc au préalable identifier les bassins de demande. Enfin, la dernière dimension à prendre en compte dans la localisation de parcs incitatifs est la volonté politique. En effet, certaines priorités politiques prennent parfois le pas sur les objectifs économiques. La volonté de développer un quartier peut amener à la décision de construire un parc à cet endroit. Certaines communes refusent l'implantation d'une telle infrastructure sur leurs territoires, ce qui modifie les choix de localisation. Faghri *et al.* (2002) ont établi un logiciel pour optimiser la localisation d'un parc d'échanges en tenant compte des priorités des planificateurs. Le modèle attribue un poids en fonction de l'accessibilité, du temps de marche et de la disponibilité des places pour les différents choix de stationnement qui lui sont proposés.

Chapitre 3. Systèmes d'information et méthodologie

En tenant compte des différentes recherches déjà effectuées sur le sujet, il s'agit d'établir dans le contexte montréalais actuel, les éléments permettant de mettre en place un modèle de choix de station d'embarquement pour les bimodaux de type « park-and-ride ». Dans un premier temps, le contexte montréalais sera décrit en détail, puis les données disponibles seront exposées ainsi que la fonction de désutilité de base retenue. Enfin, les procédés d'obtention des différentes variables de cette fonction de désutilité seront décrits ainsi que le modèle choisi pour obtenir les coefficients de ces variables.

3.1. Le contexte montréalais

Le contexte montréalais est propice à l'étude des déplacements bimodaux de type « park-and-ride » ; en effet, Montréal présente deux avantages conséquents par rapport aux autres villes. D'une part, les données disponibles à Montréal sont très importantes comparées aux données disponibles en France par exemple. Ainsi, plusieurs études sur le sujet ont déjà été menées à Montréal. D'autre part, un modèle de transfert modal, considérant explicitement les bimodaux, est utilisé par le ministère des transports du Québec, alors que la plupart des villes dans le monde ne considèrent pas explicitement les déplacements bimodaux dans leur modèle de prévision des déplacements.

3.1.1. Les enquêtes de transport à Montréal

La particularité du Québec en termes de transport réside essentiellement dans l'ampleur des enquêtes de transport qui se déroulent régulièrement dans les plus grandes villes de la province. Les enquêtes Origine-Destination (OD) sont les plus connues. A Montréal en particulier, ces enquêtes se déroulent environ tous les 5 ans depuis 1970. Les enquêtes OD sont des enquêtes descriptives qui visent à estimer l'ensemble des caractéristiques liées à la mobilité des personnes. La grande particularité du Québec en la matière est de travailler avec des échantillons de

grande taille et de conserver l'ensemble des propriétés des ménages, personnes et déplacements au niveau individuel (en opposition au stockage sous forme de matrice OD). En effet, l'échantillon constitue 5% de l'ensemble des ménages du territoire étudié, ce qui représentait en 2003 à Montréal environ 70000 ménages, 170 000 personnes et 370000 déplacements (AMT, 2004). L'échantillon est sélectionné avec précision et stratifié géographiquement de façon à être représentatif de l'ensemble de la population cible. Pour chaque ménage de l'échantillon, la description de tous les déplacements de chaque membre du ménage de plus de 4 ans est recueillie pour une journée ouvrable d'automne. Les principales informations recueillies portent donc sur le ménage (localisation, composition, motorisation), sur l'individu (sexe, âge, statut, permis de conduire), sur les déplacements (heure, motif, origine, destination, mode, titre tarifaire, stationnement, pont emprunté) et sur l'itinéraire de transport en commun le cas échéant. Outre ces enquêtes Origine Destination (enquête OD), l'Agence Métropolitaine de Transport (AMT) réalise également chaque année des enquêtes à bord des 5 lignes de trains de banlieue de la région, et ce, depuis l'année 2000. Le schéma ci-dessous présente les caractéristiques importantes de ces enquêtes.

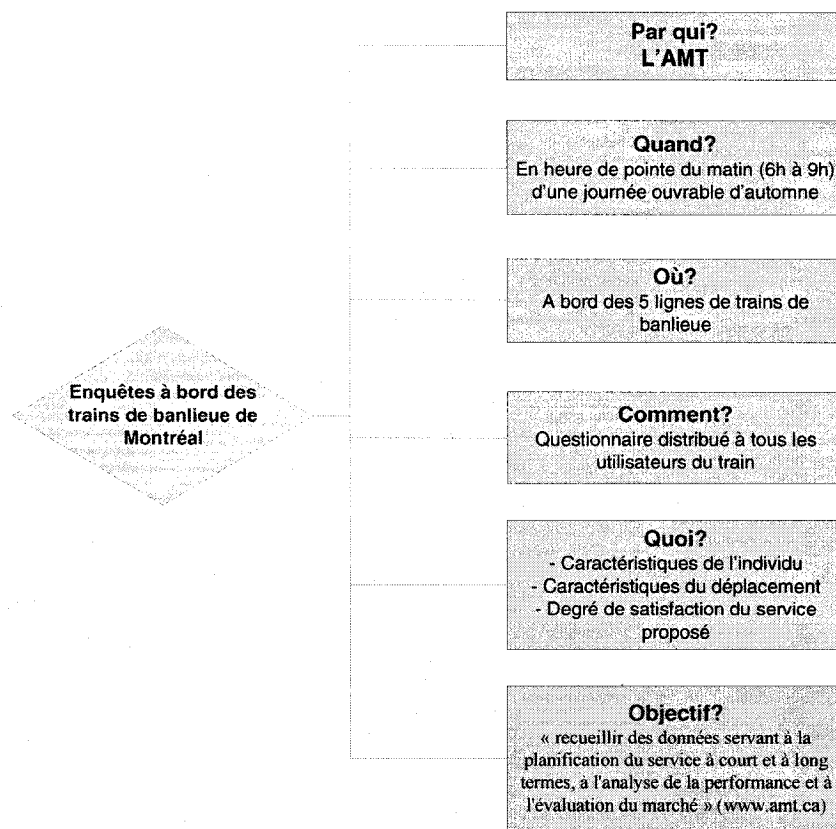


Figure 3-1 : Caractéristiques importantes des enquêtes à bord des trains de banlieue

Ces enquêtes sont très riches en enseignements concernant les déplacements à bord des trains de banlieue en heure de pointe du matin, d'autant plus que le taux de réponses à ce type d'enquêtes est remarquablement élevé, supérieur à 70%. La région de Montréal dispose par conséquent d'un nombre important de données sur les déplacements effectués sur son territoire.

3.1.2. Le train de banlieue et les déplacements bimodaux à Montréal

Les enquêtes à bord des trains de banlieue n'existent que depuis peu car l'histoire du train de banlieue dans la grande région de Montréal est assez récente. C'est seulement en 1987 que les 3 premières lignes de train sont mises en service, dont la ligne Montréal-Deux-Montagnes (en direction du nord ouest) et la ligne Montréal-Rigaud (en direction de l'ouest). Les lignes Rigaud et Deux-Montagnes sont donc les lignes de train les plus anciennes (la troisième ayant été suspendue un certain

nombre d'années). Elles sont maintenant en service depuis 20 ans. De plus, une modernisation de la ligne Deux-Montagnes a été entreprise entre 1992 et 1994, ce qui a engendré une augmentation de la clientèle de 45% de 93 à 98 (Chapleau et al., 1992; Chapleau et al., 2002). C'est en 1996 que l'AMT qui est l'autorité organisatrice de transport de Montréal, est créée. La compétence relative à l'exploitation des trains de banlieue lui revient alors. Depuis 2002, le réseau de train de banlieue de Montréal est constitué de 5 lignes reliant le centre ville de Montréal à la banlieue plus ou moins éloignée de Montréal.

Toutes les lignes de train sont au départ du centre ville de Montréal, soit de la gare centrale, soit de la gare Lucien L'Allier. Ainsi, une correspondance avec les lignes de métro ou de bus de la Société de Transport de Montréal (STM) ou du Réseau de Transport de Longueuil (RTL) est rapide.

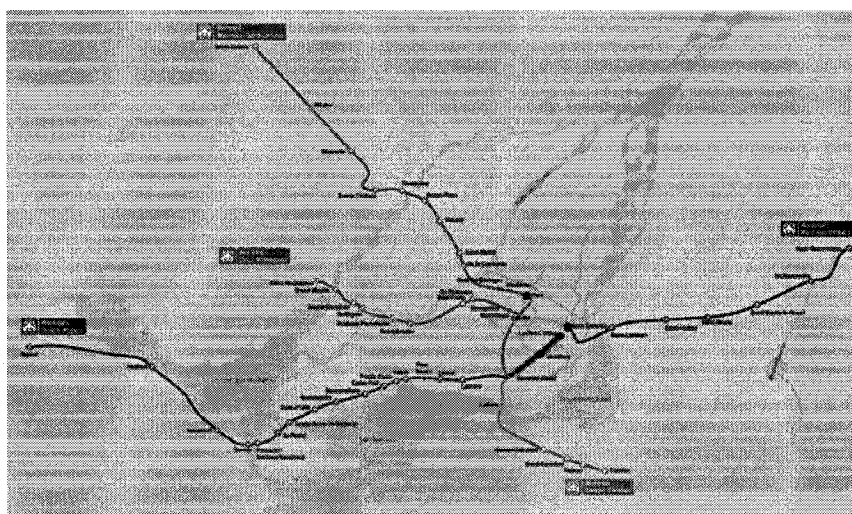


Figure 3-2: Carte des 5 lignes de train de banlieue de Montréal (www.amt.qc.ca)

D'après l'enquête OD de 1998, les déplacements en train représentaient alors moins de 1% des déplacements totaux en heure de pointe du matin (Chapleau et al., 2002). L'enquête Origine-Destination de 2003 semble confirmer ces chiffres. De plus, l'ensemble de tous les déplacements bimodaux de la grande région de Montréal constitue en 2003, 2,2% des déplacements totaux en heure de pointe du matin et 8,5% des déplacements effectués en transport en commun (AMT, 2005). La part des déplacements bimodaux au sein des déplacements en transport en commun est plus importante en périphérie. En effet, en 1993, ils représentaient 45%

des déplacements en TC effectués en périphérie nord de Montréal (Lavigneur, 1998). De façon plus générale, plus la part des transports en commun purs est faible et plus la part des déplacements bimodaux est importante.

3.1.3. La modélisation des déplacements bimodaux au ministère des transports du Québec (MTQ)

L'ampleur et la représentativité de l'échantillon de l'enquête OD permettent de mettre en place, à Montréal en particulier, une modélisation désagrégée des déplacements. En effet, la modélisation des déplacements peut se faire directement à partir des résultats de l'enquête OD et conserver ainsi toute l'information désagrégée recueillie lors de l'enquête. L'enquête OD donne en effet directement l'origine, la destination et le mode utilisé pour chaque déplacement. Une fois le réseau codifié, la modélisation des déplacements se résume alors à la procédure d'affectation. Au MTQ, pour la région de Montréal, la modélisation des trajets routiers se fait sur le logiciel EMME/2 alors que la modélisation des trajets en transport en commun se fait sur le logiciel MADITUC. Cependant, à ces deux modèles de simulation, il faut ajouter un modèle de transfert modal, qui permet, entre autre, de modéliser les déplacements bimodaux. Il est décrit en détails ci-dessous.

Le modèle de transfert modal actuellement utilisé au MTQ prend son origine dans les travaux de M. Noel et de R. Chapleau (Noël, M., 1986; Noël, M. & Chapleau, 1987) ainsi que du groupe de recherche MADITUC (Groupe Madituc, 1994; Lavigneur, 1998). Les principes en ont plus tard été élargis et traduits dans leur environnement par les professionnels du ministère. Il a donc connu plusieurs développements au cours des dix dernières années. Le modèle de transfert modal incrémental à seuil utilisé aujourd'hui a été mis en place au ministère en 2001.

Transfert modal

On modifie une **situation de base connue**. On connaît le choix modal dans une situation de base et on doit estimer les **possibilités de transfert vers un autre mode**.

Incrémental

...en fonction des **variations des offres de transport** routière et TC existants **entre le scénario de base et le scénario étudié**.

Seuil

Ces variations doivent atteindre un certain **seuil minimal** pour susciter un changement de comportement.

Figure 3-3 : Description des particularités du modèle de transfert modal (MTQ, 2003)

Ce modèle prend en compte sept types de transfert :

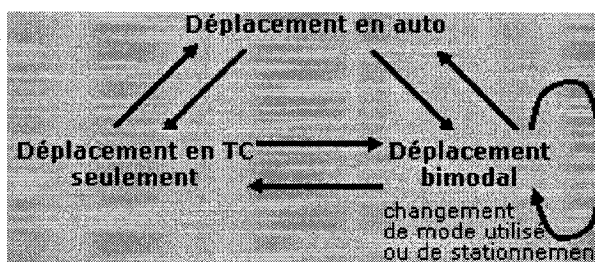


Figure 3-4 : Les différents types de transfert modal considérés (www.mtq.gouv.qc.ca)

Dans ce contexte, le TC inclut les modes trains, métro et autobus.

Le modèle de transfert modal vise à estimer les transferts modaux induits à l'année horizon H par une modification de l'offre de transport. Le modèle peut étudier le bénéfice d'une autre option de déplacement (mode ou itinéraire) relativement au choix modal déclaré lors de l'enquête OD. Actuellement, en 2007, le modèle de transfert modal est calé sur les données de 1998. Le modèle détermine tout d'abord la population cible puis estime si l'offre de transport à l'année H apporte des changements significatifs au coût généralisé par rapport à l'offre de 1998 pour justifier un transfert modal. Pour cela, il compare les écarts de temps entre le choix modal et l'option étudiée pour le scénario de base à l'année 1998 et pour le scénario modifié de l'année horizon H. Si un seuil défini est atteint, le modèle applique les

courbes de répartition modale afin de calculer le taux de transfert puis de modifier les enregistrements dans la base de données de l'enquête OD (Figure 3-5).

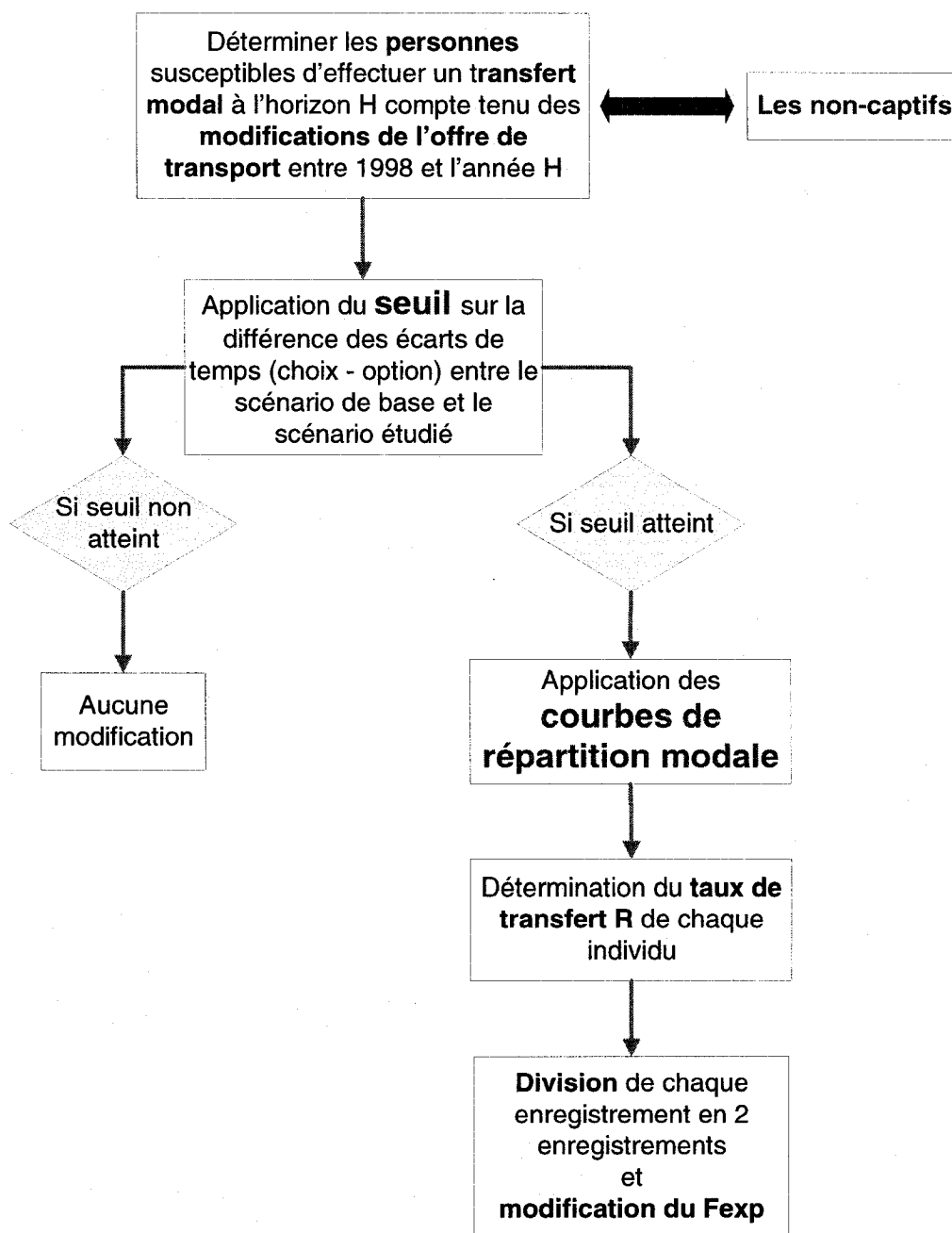


Figure 3-5 : Principe général d'application du modèle régional de transfert modal

La division de l'enregistrement en deux enregistrements est accompagnée d'une segmentation du facteur d'expansion (Figure 3-6). Les nouveaux facteurs d'expansion sont alors fonction non seulement des variables habituelles (espace zonal, âge et sexe pour les enquêtes OD, numéro de train et gare de montée pour les enquêtes à bord), mais également de la probabilité estimée de transfert modal ainsi que du taux d'adhésion selon le niveau de service (X).

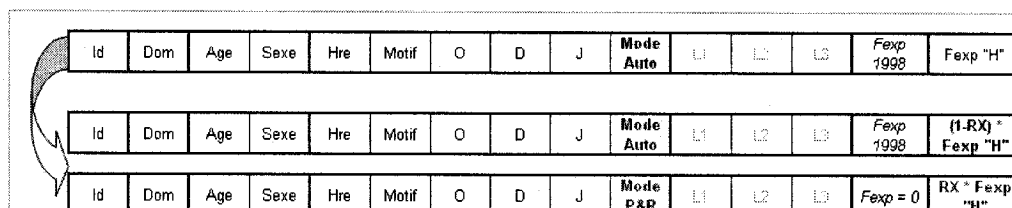


Figure 3-6 : Division d'un enregistrement d'un individu susceptible de passer de l'auto au mode « Park-and-Ride » (présentation « Modèle régional de transfert modal » du ministère des transports du Québec).

3.1.3.1. Les non captifs

A la base du modèle de transfert modal, une sélection est opérée entre les captifs et les non captifs des différents modes (auto, transport en commun et mode bimodal) pour déterminer un échantillon de personnes susceptibles d'effectuer un transfert modal. Le modèle de transfert modal n'est utilisé que pour les non captifs de l'un ou l'autre de ces modes (Tableau 3-1).

Tableau 3-1: Description des non-captifs de chaque mode

Non captifs de l'automobile	Non captifs des transports en commun	Non captifs des déplacements bimodaux
→ Déplacement dans la zone étudiée → Activités d'une durée supérieure à 3h → Pas de chaînes de déplacement complexes	→ Déplacement dans la zone étudiée → Possession d'une voiture	→ Jonction avec un mode interurbain

3.1.3.2. Obtention des courbes de répartition modale

Le modèle de transfert modal actuel est calibré à l'aide des données de l'enquête OD de 1998 à différents niveaux. L'enquête OD permet tout d'abord de constituer le scénario de base, mais permet également de réaliser les courbes de répartition modale.

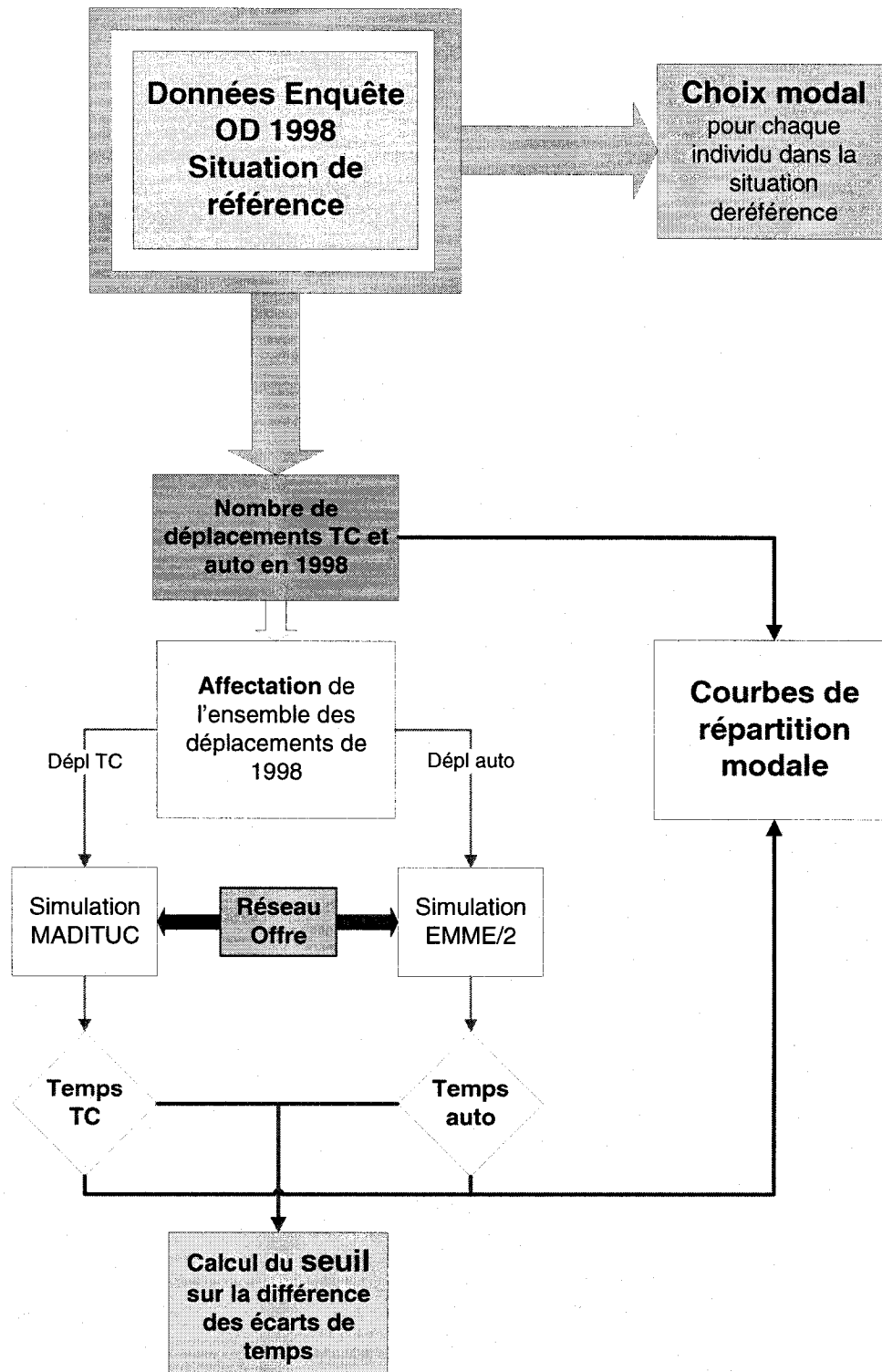


Figure 3-7 : Synthèse des informations obtenues avec les données de l'enquête OD de 1998

Les courbes de répartition modale représentent la part modale TC $\frac{Nb.Dépl.TC}{Nb.Dépl.auto+TC}$ en fonction du ratio $\frac{Temps.TC}{Temps.routier}$. Elles sont entièrement réalisées à partir des enquêtes OD de 1998 et des simulations des déplacements de 1998. Les temps considérés sont des approximations de temps réels et non de temps généralisés. Cependant, la répartition modale variant beaucoup selon certaines variables, plusieurs types de courbes ont été construits :

→ Les courbes motif (travail, études, autres)

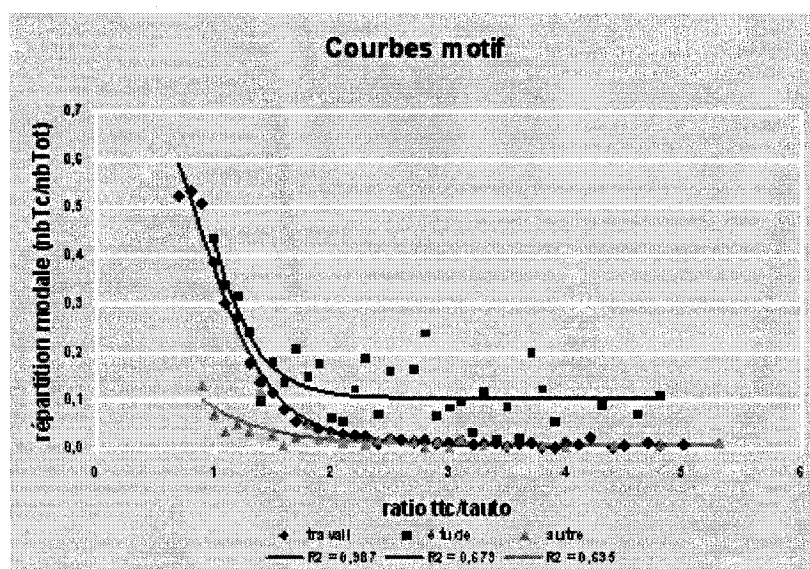


Figure 3-8 : Courbe de répartition modale selon le motif de déplacement (www.mtq.gouv.qc.ca)

- Les courbes pôle de destination (centre-ville, secteurs centraux, autres)
- Les courbes mode dominant (métro, train, autobus, voie réservée)
- Les courbes pénalité tarifaire (d'ordre 1 à 3 selon les zones et les réseaux des CIT)
- Les courbes combinaison modale TC (lourds, 2 bus et plus, lourd+bus, 1bus)
- Les courbes sur le niveau de congestion, c'est-à-dire temps écoulement libre/ temps en équilibre (circulation dense, circulation libre)
- La courbe intramodale

3.1.3.3. La procédure

L'enquête OD de 1998 permet également de calculer si le seuil est atteint, par l'intermédiaire des temps routiers et des temps en transport en commun pour le scénario de base et pour le scénario modifié.

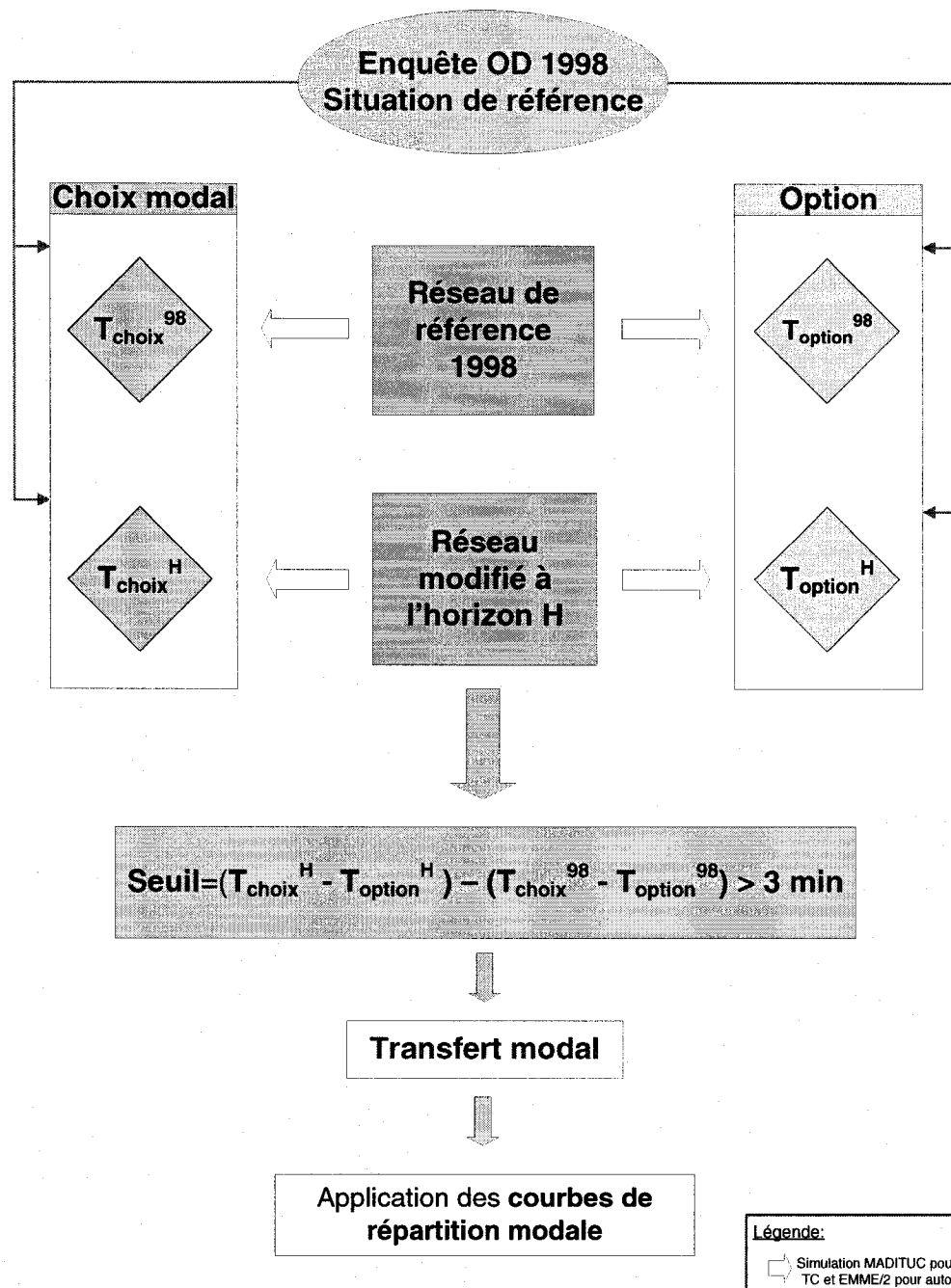


Figure 3-9 : Procédure du modèle de transfert modal

Si la condition de seuil est vérifiée, on peut alors appliquer les courbes de répartition modale basées sur les comportements observés lors de l'enquête OD de 1998. Mais selon les transferts modaux étudiés, on utilise certaines courbes et pas d'autres pour évaluer le taux de transfert modal. Concernant les transferts vers les déplacements bimodaux, trois types de transfert existent :

→ De l'auto vers un déplacement bimodal :

Dans ce cas, l'option bimodale est meilleure qu'une quelconque option TC et est donc assimilée dans la procédure à la meilleure option TC. Les six familles de courbe doivent être appliquées. Chaque type de courbe i donne un taux de transfert

modal $R(i)$, qui dépend de $\frac{Nb.bi\ modal^H}{Nb.total^H}$ et de $\frac{Nb.bi\ modal^{98}}{Nb.total^{98}}$.

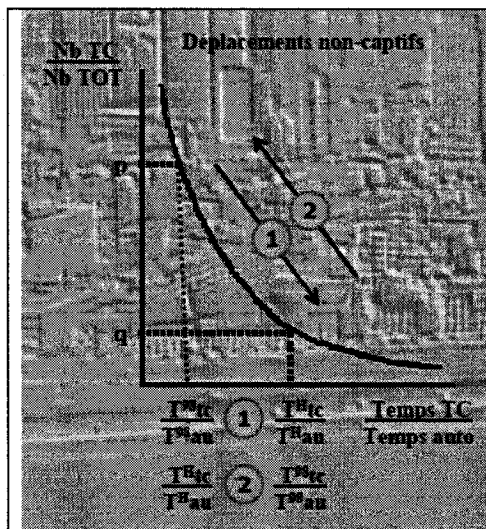


Figure 3-10: Transfert modal auto/TC (présentation du ministère sur le modèle de transfert modal)

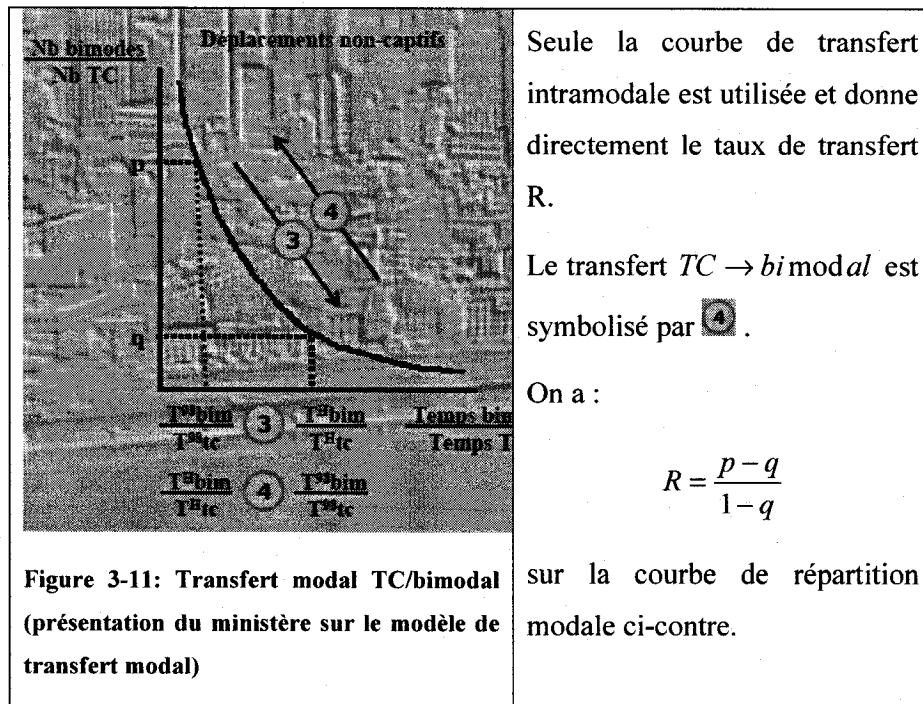
Le taux de transfert de type *auto* → *bi modal* est symbolisé par **2**.

On a :

$$R(i) = \frac{p-q}{1-q}$$

pour chaque famille de courbe i. Le taux de transfert modal R est alors égal à la moyenne des $R(i)$.

→ Des transports en commun vers un déplacement bimodal :



→ D'un déplacement bimodal à un autre :

Cela se résume à un changement de point de jonction. Par convention, $R=1$ si le transfert a lieu sur la même ligne de transport et $R=0.3$ sinon (sur la base d'observations empiriques).

3.1.3.4. La prise en compte des déplacements bimodaux dans le modèle

○ Nombre d'alternatives pour un déplacement bimodal

61 points de jonction du territoire de la grande région de Montréal sont pris en compte dans le modèle de transfert modal. De plus, toutes les options bimodales ne sont pas considérées car on suppose qu'une personne n'ira pas effectuer une jonction dans un lieu trop éloigné de son domicile. Ainsi un individu déclaré susceptible par le modèle d'effectuer un transfert modal, n'aura le choix qu'entre une dizaine d'options bimodales.

- Hypothèses de base pour les déplacements bimodaux

Le modèle régional de transfert modal pour la région de Montréal tient compte de facteurs autres que les temps de trajet pour les déplacements bimodaux :

- ➔ La capacité des stationnements aux parcs d'incitation des jonctions retenues incluant un débordement sur rue de 100 véhicules. Lorsque le parc d'incitation d'une jonction et le débordement autorisé sont pleins, le modèle affecte les autres déplacements à la 2^{ème} meilleure option.
- ➔ La priorité de remplissage dans les parcs d'incitation
- ➔ Le confort et l'obtention d'une place assise pour le mode TC « ligne banlieue directe ». Ce facteur est pris en compte par un terme d'atténuation du temps de trajet TC.
- ➔ Le niveau de service offert aux jonctions retenues
- ➔ Le coût du stationnement aux parcs d'incitation. Un terme est ajouté dans l'impédance pour tenir compte de cette contrainte.

Le modèle de transfert modal permet la détermination de la gare en même temps que la détermination du mode. Cette étude se limitant au choix de la gare, son intérêt serait alors de valider a posteriori le choix de la gare obtenu par le modèle de transfert modal et potentiellement d'affiner ce choix.

3.2. Système d'information – Données

Les données utilisées dans le cadre de cette étude sont les données provenant des enquêtes effectuées annuellement par l'AMT à bord des trains de banlieue. Lors de ces enquêtes, les membres de l'AMT distribuent à chaque montant de chacune des gares desservies, un questionnaire qu'ils récupèrent auprès de chaque descendant. Parallèlement à cette distribution et collecte des questionnaires, l'AMT assure un comptage des montants et des descendants à chacune des gares. Ainsi, l'agence est en mesure, d'une part, de valider les déclarations des usagers (pour la gare de montée, la gare de descente et le numéro du train), et d'autre part, d'évaluer le pourcentage de réponse au questionnaire et de pondérer ces réponses par rapport au nombre total d'usagers. La pondération qui est effectuée ensuite par l'AMT dépend

donc uniquement du train pris et de la gare de montée. Les données utilisées pour l'étude sont les données pondérées de l'enquête car le choix de stationnement pour les « auto-conducteurs » qui se rendent au train, dépend du nombre de déplacements total.

Les questionnaires distribués comportent trois parties : la première d'ordre individuel, la deuxième portant sur les déplacements de la matinée et la troisième concernant le degré de satisfaction du service proposé (annexe 1). Le tableau ci-dessous (Tableau 3-2) résume, pour ces trois parties du questionnaire, les attributs recueillis directement par l'enquête ainsi que les attributs déduits après validation de l'AMT. Il est à noter qu'entre 2001 et 2005, les questionnaires ont légèrement évolué de façon à les rendre plus clairs et plus complets. L'heure de départ du domicile a par exemple été ajoutée en 2003, alors que le statut et l'origine du déplacement ont été ajoutés en 2005. D'autre part, mise à part les questions portant sur la localisation du domicile et sur le nombre d'autos du ménage, aucune question n'est posée sur le ménage.

Tableau 3-2: Attributs explicites et attributs déduits du questionnaire

Catégories	Attributs	Attributs déduits
Usager	Age, sexe, lieu de domicile, possession automobile, nombre de voiture, langage, statut	Facteur d'expansion, coordonnées XY du lieu de domicile
Déplacements	Origine, motif (domicile, travail, étude) de l'origine, modes utilisés avant le train, heure de départ, modes utilisés après le train, numéro des lignes de transport en commun (si utilisé), lieu de destination, motif (domicile, travail, étude) de destination, titre de transport, gare de montée, gare de descente, fréquence d'utilisation par semaine	Numéro de train, heure de passage du train, coordonnées XY de l'origine et de la destination, distance de trajet en train, motif du déplacement (travail, études - déduits du statut)
Degré de satisfaction	Degré de satisfaction pour le service de train, horaire, qualité du personnel, propreté, sécurité, etc.	

Différents choix méthodologiques ont été faits pour soutenir la présente étude. D'une part, puisque la question principale étudiée est celle du choix d'un point de jonction, seuls les déplacements impliquant un accès en automobile comme conducteur ont été retenus. Ainsi, les usagers du train se rendant à la station en marchant ou en transport en commun ne sont pas considérés ici. D'autre part, peu de personnes enquêtées ont répondu à la question de l'origine, par conséquent, on suppose dans tous les cas que les personnes partent de leur domicile. De plus, les utilisateurs du mode « park-and-ride » qui prennent le train et descendent avant les stations de centre ville, ne sont pas non plus considérés dans cette étude. En outre, seuls les comportements liés aux lignes de train Rigaud-Montréal et Deux-

Montagnes-Montréal sont examinés (enquêtes de 2001 à 2005). Ces deux lignes sont intéressantes à étudier de concert puisque les zones d'attraction de certaines gares se chevauchent, offrant des alternatives plus nombreuses et plus variées à un sous-ensemble des usagers. Le taux de réponses aux questionnaires sur ces deux lignes est élevé chaque année, puisqu'en moyenne plus de 75% des usagers s'y souscrivent (Tableau 3-3). On constate que la ligne Rigaud-Montréal obtient chaque année (2001 mise à part) un pourcentage de réponses plus élevé que la ligne Deux-Montagnes-Montréal. En 2002, le taux de réponses sur la ligne Deux-Montagnes a chuté car l'enquête a eu lieu un jour d'orage.

Tableau 3-3: Taux de réponses au questionnaire des enquêtes à bord des trains

LIGNE	TAUX DE REPONSES				
	2001	2002	2003	2004	2005
Rigaud	79%	76%	77%	74%	76%
Deux-Montagnes	81%	31%	76%	71%	68%

Les lignes Rigaud-Montréal et Deux-Montagnes-Montréal ont les caractéristiques suivantes :

- La ligne Rigaud-Montréal mesure 80 kilomètres de long et dessert 19 stations depuis 2003. En effet, la station Vaudreuil a été opérationnelle à partir de 2003 seulement. Il y a 12 départs pour Montréal en une journée, dont 8 sont en heure de pointe du matin, c'est-à-dire entre 5h50 et 8h40 (Figure 3-12). Les horaires ont légèrement variées d'une année à l'autre pour la majorité de ces 8 départs. Parmi ces 8 départs, un seul part de Rigaud, tous les autres trains partent de Vaudreuil (de Dorion avant 2003), excepté celui de 8h40 qui part de Beaconsfield. Durant l'heure de pointe du matin, il n'y a pas de train direct entre Vaudreuil et Montréal, c'est-à-dire que toutes les gares sont desservies.

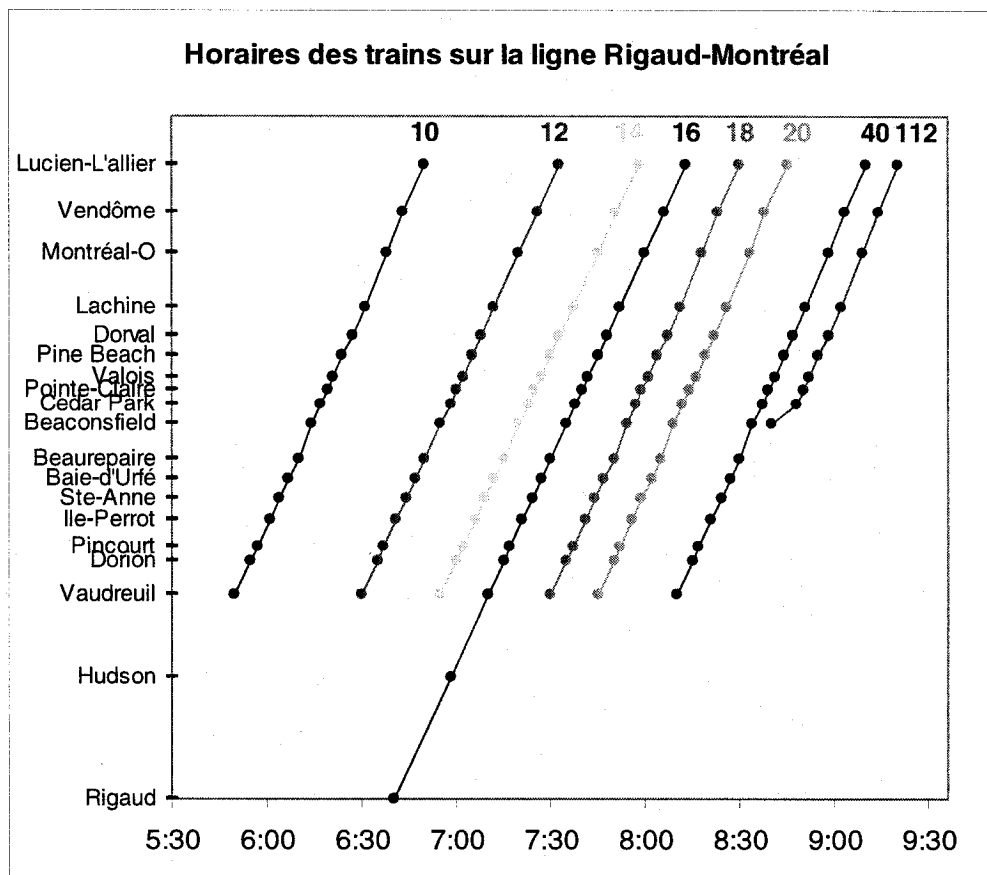


Figure 3-12 : Description des horaires des trains aux stations de la ligne Rigaud-Montréal
(horaires de train disponibles sur le site de l'AMT : <http://www.amt.qc.ca/tc/train/horaires/>)

Le temps de trajet entre Vaudreuil et le terminus de la ligne, Lucien l'Allier, est d'une heure environ. La fréquence des trains est la plus importante entre 6h55 et 7h45 avec un train toutes les 15 à 20 minutes. Cette ligne est connectée à deux stations de métro, toutes les deux sur la ligne orange (entre Henri-Bourassa et Côte-Vertu), le terminus Lucien l'Allier et la station Vendôme. D'autre part, 15 des 19 stations sont équipées de park-and-ride, soit les trois quarts d'entre elles. La taille des stationnements incitatifs a très peu évolué entre 2001 et 2005 sur cette ligne. La taille moyenne est de 300 places environ en 2005, ce qui est bien en deçà de la taille moyenne des stationnements sur la ligne Deux-Montagnes (Figure 3-13). Le stationnement le plus important de la ligne est situé à la station de Pointe-Claire.

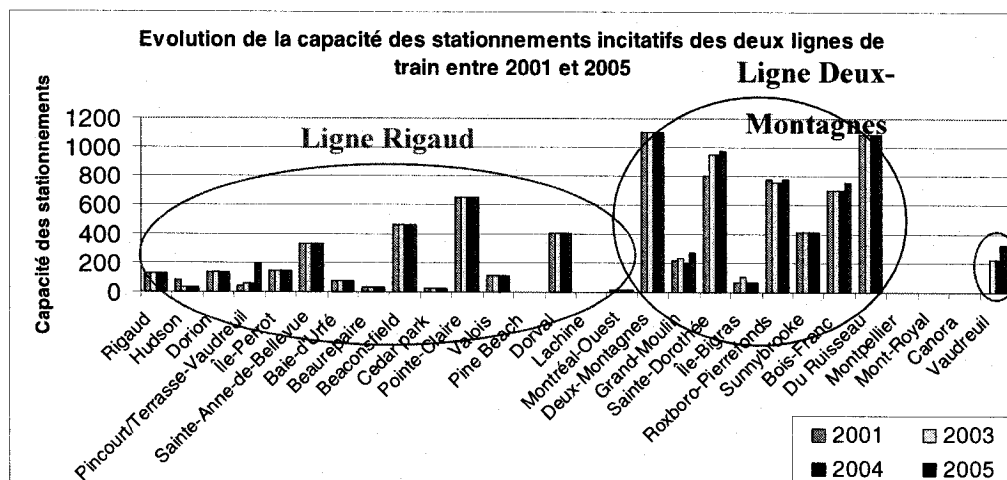


Figure 3-13 : Évolution de la capacité des stationnements incitatifs entre 2001 et 2005 pour les stations des lignes Rigaud et Deux-Montagnes.

- La ligne Deux-Montagnes-Montréal est une ligne électrifiée de 30 kilomètres de long qui dessert 12 stations. Il y a 26 départs dans une journée à destination de Montréal, dont 10 départs en heure de pointe du matin, soit entre 5h50 et 9h00 (Figure 3-14). Parmi ces 10 départs, 7 d'entre eux se font de la gare de Deux-Montagnes, les 3 autres se font aux gares intermédiaires de Roxboro-Pierrefonds et Bois-Franc. De même que pour la ligne Rigaud-Montréal, toutes les gares situées entre le départ et le terminus sont desservies.

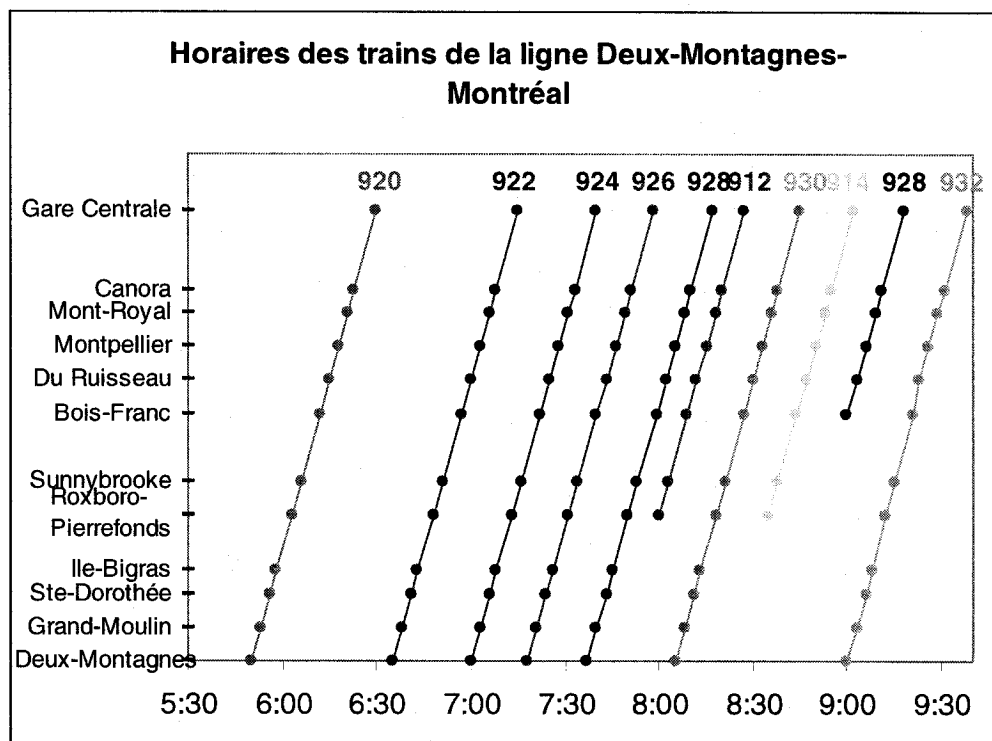


Figure 3-14 : Description des horaires des trains aux stations de la ligne Deux-Montagnes-Montréal (horaires de train disponibles sur le site de l'AMT : <http://www.amt.qc.ca/tc/train/horaires/>)

Le terminus de cette ligne est la gare centrale qui est reliée à la station de métro Bonaventure, située au centre ville de Montréal. Le temps de trajet entre Deux-Montagnes et la gare centrale est de 40 minutes. La fréquence des trains est la plus élevée entre 7h00 et 8h00, avec un train toutes les 20 minutes environ. Enfin, 8 des 12 stations sont équipées de stationnements incitatifs, soit les deux tiers d'entre elles (Figure 3-13). La capacité moyenne des stationnements s'élève en 2005 à environ 850 places.

Outre le fait que ces deux lignes soient très fréquentées, elles présentent l'intérêt d'être à certains endroits pratiquement parallèles, si bien que les usagers qui habitent entre les deux lignes et qui comptent prendre le train pour se rendre au centre ville de Montréal, ont le choix de prendre l'une ou l'autre (Figure 3-15).

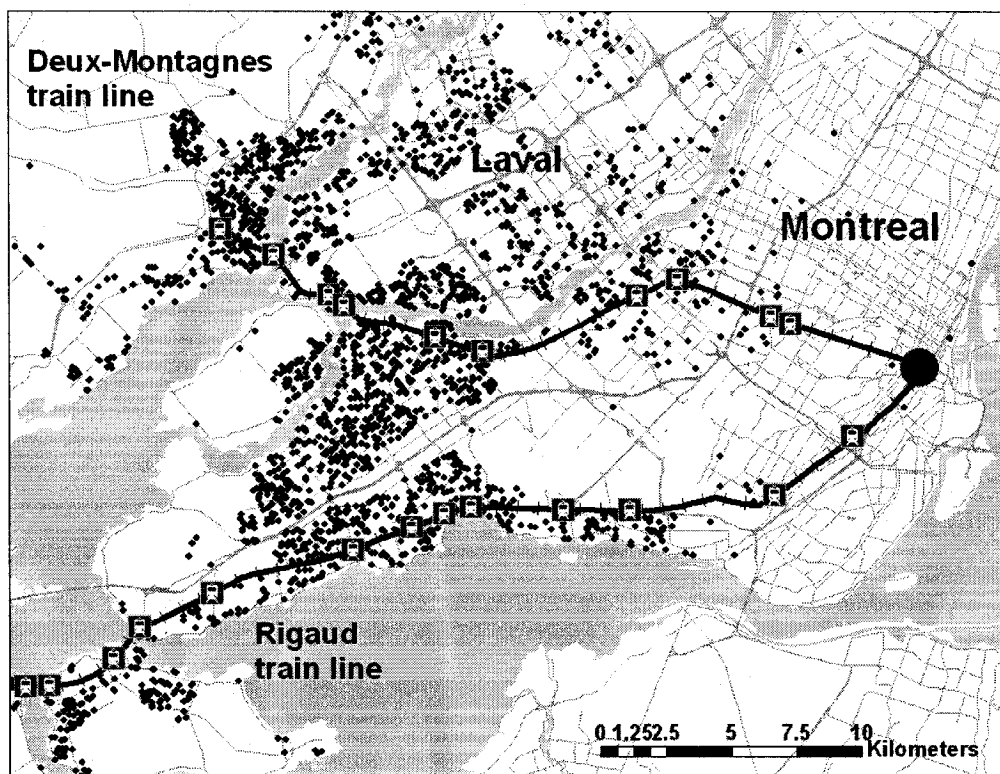


Figure 3-15 : Représentation de la provenance des utilisateurs du mode « park-and-ride » pour les lignes de Rigaud et de Deux-Montagnes en 2005 (Trépanier et al., 2006).

Ces deux lignes sont donc « concurrentes » sur une de leur portion. C'est important de considérer ce choix puisque notre fonction de coût généralisé ne sera pas estimée à partir d'une seule ligne de train. De plus, ce choix entre les deux lignes étant inexistant pour les personnes ne se rendant pas au centre ville, l'étude ne portera que sur les utilisateurs du mode « park-and-ride » se rendant dans le centre ville de Montréal, c'est-à-dire dont la gare de descente est l'une des trois gares connectées avec le réseau de métro (Lucien L'Allier, Vendôme et la Gare Centrale). Ces usagers représentent cependant presque 95% des utilisateurs du mode « park-and-ride » en 2005 sur les deux lignes.

3.3. Modèle du coût généralisé

Un usager du mode « park-and-ride » peut choisir entre différents itinéraires pour se rendre au centre de Montréal. Dans notre cas, il a le choix entre deux lignes de train

et entre plusieurs stations sur chaque ligne. Ces choix dépendent des poids attribués aux différentes parts du déplacement. Modéliser la fonction de coût généralisé va permettre d'estimer le poids attribué à chaque « partie » du déplacement. Le coût généralisé peut être composé d'éléments du déplacement relatifs à un coût, à un temps et au confort. La fonction de coût généralisé d'un déplacement bimodal de type « park-and-ride » est composée de deux éléments principaux :

- Le coût généralisé lié à la partie sur le réseau routier G_r , qui comprend le temps de trajet routier, la capacité du stationnement incitatif et la disponibilité des places dans le stationnement incitatif.
- Le coût généralisé lié à la partie en train G_t , qui comprend le prix du parking, le temps de transfert entre les deux modes, le temps d'attente, la disponibilité des places dans le train, le temps de trajet en train et le prix du transport en commun.

Le coût généralisé lié à la partie routière entre l'origine o et le stationnement k , à l'heure h est donc donné par la formule suivante :

$$G_r(o, k, h) = w^r t_{ok}^r(h) + w^{ca} ca_k + w^p p_k(h)$$

Où t_{ok}^r est le temps de trajet nécessaire pour se rendre en voiture du domicile o au stationnement k , ca_k la capacité du stationnement k et $p(h)$ la fonction de remplissage du stationnement k à l'heure h .

Le coût généralisé lié à la partie en transport en commun entre le stationnement k et le lieu de destination d à l'heure h est donné par :

$$G_t(k, d, h) = w^m t_k^m(h) + w^{cp} cp_k + w^a t_k^a(h) + t_{kd}^t(h) + w'' ct_k + w^d d_k(h) + w^m t_d^m$$

Où t_k^m est le temps d'accès au transport en commun (par la marche à l'intérieur du stationnement k), cp_k le prix du stationnement k , t_k^a le temps d'attente du transport en commun au lieu de stationnement k , t_n^t le temps de trajet nécessaire pour se rendre en train du stationnement k au lieu de destination d , ct_k le tarif du train (déterminé par l'emplacement du stationnement k), d_k la disponibilité des places dans le train et t_d^m le temps de marche à destination.

Le coût généralisé total du déplacement bimodal s'exprime donc de la façon suivante :

$$G = G_r + G_t$$

$$= w^r t_{ok}^r(h) + w^{ca} ca_k + w^p p(h) + w^m t_k^m(h) + w^u ct_k + w^w cp_k + w^a t_k^a + w^d d_k + t_{kd}'(h) + w^m t_d^m$$

Les coefficients w sont donc à évaluer afin d'obtenir une idée de l'importance de ces différents facteurs les uns par rapport aux autres pour les usagers du mode « park-and-ride ». Cependant, le contexte montréalais permet de simplifier la fonction d'impédance. En effet, tous les stationnements des lignes de train de Montréal sont gratuits donc $\forall k, cp_k = 0$. D'autre part, le temps d'attente peut être considéré inexistant car les personnes sont des habituées de ce mode de transport (75% des personnes enquêtées prennent le train aller et retour du lundi au vendredi). De plus, la fréquence du train étant assez faible, les gens connaissent les heures de passage et prévoient d'arriver juste à temps. S'ils arrivent plus tôt, cette avance est supposée être due à la capacité limitée du stationnement et à la plus grande probabilité de trouver une place disponible. On pose donc comme hypothèse que $t_k^a = 0$. Enfin, le temps de marche à destination est identique pour les personnes qui n'ont pas le choix de la ligne. Il ne représente donc pas un facteur de choix potentiel pour ces usagers et on peut donc poser $w^m = 0$. Cependant, pour les personnes qui résident dans la zone située entre les deux lignes de train et qui ont donc le choix entre celles-ci, le temps d'accès à leur destination peut prendre une place importante dans leur choix d'itinéraire et ce facteur aurait donc une importance non négligeable. Néanmoins dans un premier temps $w^m = 0$.

La fonction de coût généralisé est donc de la forme :

$$G = G_r + G_t = w^r t_{ok}^r(h) + w^{ca} ca_k + w^m t_k^m(h) + w^p p(h) + w^d d_k + w^u ct_k + t_{kd}'(h)$$

L'objectif est de déterminer les coefficients d'impédance de cette fonction afin de connaître l'importance donnée à chacun de ses éléments par les usagers de ce type de déplacement à Montréal. Il faut donc déterminer les valeurs, pour chaque usager enquêté, de $t_{ok}^r(h)$, ca_k , $t_k^m(h)$, $p(h)$, d_k , ct_k et $t_{kd}'(h)$ à l'aide des données des enquêtes à bord des trains entre 2001 et 2005.

3.4. Traitement des données

Les données retenues pour l'étude concernent les personnes qui déclarent conduire leur auto de leur domicile (ou plus généralement d'une origine) jusqu'au stationnement incitatif. Un traitement de ces données a été nécessaire pour déterminer les valeurs des différents facteurs de la fonction de coût généralisé. Les calculs et les traitements de données qui ont été effectués pour obtenir les valeurs de ces facteurs pour chacun des usagers sont détaillés dans les paragraphes suivants.

3.4.1. Le temps de trajet routier entre l'origine et le stationnement

Lors de l'enquête, les usagers déclarent l'heure à laquelle ils ont quitté leur domicile pour se rendre au stationnement. Les enquêtes à bord donnent également le numéro du train pris par chaque usager et par conséquent l'heure de passage du train à la station d'embarquement. Cependant, le temps de trajet en auto depuis le domicile jusqu'à la station de train n'est pas explicitement donné. Ce temps d'accès routier peut être estimé par différents algorithmes de chemin. Une première estimation de ce temps est obtenue par l'intermédiaire d'un modèle d'affectation basé sur l'algorithme de Dijkstra qui détermine le plus court chemin entre deux points. Le réseau utilisé pour ces simulations est le réseau routier de Montréal de 2001 (mais le réseau a très peu changé depuis 2001) à un degré de définition très fin (contient toutes les routes, autoroutes aussi bien que petites rues). Le calcul de chemin peut être effectué soit sous l'hypothèse d'écoulement libre (sans congestion), soit en tenant compte de la congestion par le biais de « polygones de congestion ». Ces polygones de congestion constitue une méthode qui permet d'appliquer des facteurs de correction au temps en écoulement libre selon un découpage zonal. La comparaison des temps simulés sous congestion et des heures d'arrivées aux points de jonction (heure de départ du point d'origine + temps d'accès sous hypothèse de congestion) révèle cependant certaines inconsistances: on constate que, 27% des usagers du mode « park-and-ride » en 2005 sur la ligne Rigaud, et 15% sur la ligne Deux-Montagnes, arrivent après l'heure de départ du train (Tableau 3-4). Les distributions des écarts entre l'heure d'arrivée à la station et l'heure de départ du train sont disponibles en annexe 2.

Il semble donc que la prise en compte de la congestion dans l'estimation du temps d'accès soit plus ou moins juste en ce qui concerne les comportements étudiés. En effet, les utilisateurs du mode « park-and-ride » cherchent à éviter les embouteillages et se garent donc avant les points de congestion. On a donc considéré le réseau en écoulement libre en heure de pointe du matin afin d'évaluer un temps routier plus approprié. Les résultats sont bien meilleurs puisque seulement 7 et 10% des utilisateurs des stationnements incitatifs, respectivement de la ligne Rigaud et de la ligne Deux-Montagnes, arrivent après l'heure de départ du train. De plus, ces « retards » sont en moyenne d'une ampleur bien moins importante que lors de l'hypothèse du réseau en congestion. L'hypothèse du réseau en écoulement libre est donc retenue pour les calculs de temps d'accès routier.

Tableau 3-4: Part des personnes d'après leur heure d'arrivée à la gare selon les temps routiers estimés en congestion et en écoulement libre⁵

		Congestion		Ecoulement libre	
DM	Nb total de personnes		6297		6297
	Nb de pers arrivées avt le train	5174	82.2%	5695	90.4%
	Nb de pers arrivées après le train	964	15.3%	442	7.0%
	Nb de pers dont heure_départ inconnue	160	2.5%	160	2.5%
RI	Nb total de personnes		2550		2550
	Nb de pers arrivées avt le train	1780	69.8%	2208	86.6%
	Nb de pers arrivées après le train	692	27.2%	264	10.4%
	Nb de pers dont heure_départ inconnue	77	3.0%	77	3.0%

Il est à noter que le calcul de temps d'accès en voiture n'a été effectué que dans le cas où le domicile de l'utilisateur est bien spécifié (disponibilité de coordonnées (X,Y) non nulles). Enfin, tous les déplacements n'ont pu être validés par le logiciel utilisé car la liaison entre le domicile et le réseau routier n'a pas toujours été possible. Compte tenu de cette petite contrainte technique et des hypothèses posées, 92% des bimodaux de type P&R enquêtés ont été retenus pour l'étude (Figure 3-16).

⁵ Les personnes classées dans le tableau 3-4 comme des « personnes dont heure_départ inconnue » sont pour la plupart des personnes dont l'heure de départ est effectivement non renseignée dans le questionnaire mais également des personnes qui ont répondu des heures de départ non cohérentes avec le contexte.

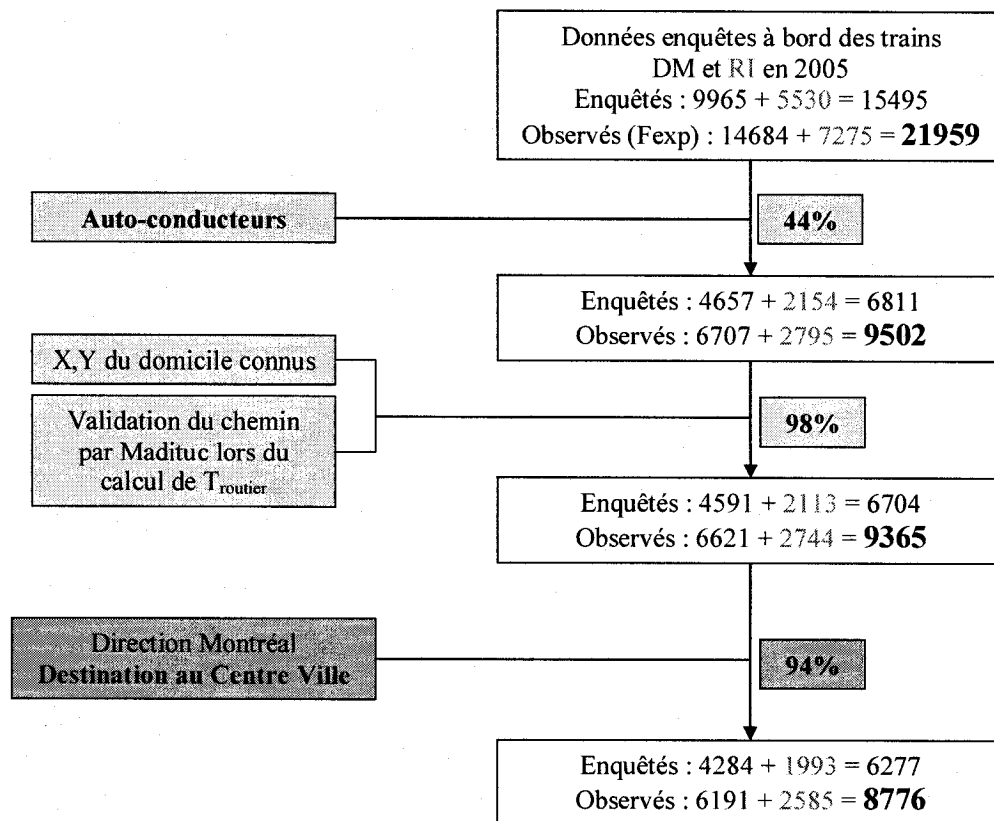


Figure 3-16: Sélection progressive des données de 2005 utilisées dans l'étude

3.4.2. Le taux d'occupation des stationnements incitatifs

Le taux de remplissage du stationnement en fonction de l'heure s'obtient en traçant le profil d'accumulation des voitures qui y arrivent. Pour tracer le profil d'accumulation des autos dans chaque stationnement, il suffit de connaître l'heure d'arrivée des usagers dans chacun de ces stationnements. Or, en ajoutant l'heure de départ déclarée et le temps d'accès routier en écoulement libre, on obtient l'heure d'arrivée estimée à la gare. Cependant, la comparaison entre l'heure d'arrivée estimée et l'heure de départ du train conduit à différencier quatre cas possibles parmi les déplacements (Figure 3-18). Tout d'abord, que ce soit sur la ligne Montréal-Rigaud ou sur la ligne Montréal-Deux-Montagnes, deux trains consécutifs ont au minimum 20 minutes d'écart entre eux. Or il est supposé irréaliste le fait qu'un usager ne prenne pas le premier train qui passe. Ainsi, il paraît incohérent

qu'une personne arrive plus de 20 minutes en avance de son train. Les usagers, qui sont supposés arriver plus de 20 minutes avant l'heure de départ du train, sont donc supposés arriver exactement 20 minutes avant. Ensuite, une incohérence entre l'heure d'arrivée estimée et l'heure de départ du train est parfois constatée, puisque certaines personnes sont censées arriver après le train qu'elles ont effectivement pris. L'hypothèse posée est alors que ces personnes arrivent à la gare à l'heure de départ du train. De plus, certaines personnes n'ont pas déclaré leur heure de départ du domicile dans le questionnaire. On ne peut donc pas déterminer exactement leur heure d'arrivée à la gare. De même que précédemment, on considère que ces personnes arrivent à l'heure de départ du train. Enfin, les déplacements dont le créneau horaire d'arrivée se situe entre 0 et 20 minutes avant le départ du train sont cohérents et l'heure d'arrivée estimée correspond à l'heure d'arrivée au stationnement. Ainsi, pour les années 2003 à 2005, l'heure d'arrivée « corrigée » est connue pour tous les usagers et le profil d'accumulation des autos dans chaque stationnement en fonction de l'heure est disponible. Pour 2001 et 2002, l'heure de départ du domicile est inconnue, on obtient donc uniquement une représentation par paliers (Figure 4-37).

3.4.3. Le temps de marche

Le temps de marche correspond au temps de transfert entre la localisation du véhicule dans le stationnement et le quai du train. Le temps de marche est donc relié au taux de remplissage du parc relais. Les usagers sont en effet ici supposés se garer le plus près possible du quai, de façon justement à minimiser ce temps de transfert. Pour estimer le temps de marche pour chaque usager, il faut donc connaître d'une part, la taille du stationnement, sa forme et son emplacement par rapport au quai de la gare, et d'autre part le taux de remplissage des stationnements en fonction de l'heure.

Une visualisation de l'ensemble de ces stationnements sur GoogleEarth (<http://earth.google.com>) a permis de noter leur emplacement par rapport au quai et d'estimer une distance maximale de marche à vol d'oiseau entre l'extrémité du stationnement et le quai de la gare. La distance a pu être estimée grâce à l'outil

« mesure » de Google Earth. La photo ci-dessous représente le stationnement incitatif de la gare de Vaudreuil (Figure 3-17). La flèche rouge correspond à la distance maximale considérée pour ce stationnement. Le temps de marche maximum a ensuite été calculé en prenant une vitesse de marche de 5 km/h. Les usagers sont en effet de façon générale pressés le matin, et ils marchent donc à un rythme soutenu, d'autant plus lorsque la distance est faible.



Figure 3-17 : Photo aérienne du stationnement incitatif de la gare de Vaudreuil sur la ligne Rigaud-Montréal (www.googleearth.com)

Le temps de marche est finalement obtenu en supposant une relation linéaire entre la distance de marche et le taux de remplissage du stationnement. Le temps de marche maximum calculé grâce à GoogleEarth correspond à un taux d'occupation de 100%. Cependant, les études montrent que les usagers parviennent à se garer en dehors du stationnement incitatif si celui-ci est plein. Il pourra donc être considéré dans cette étude des taux de remplissage supérieurs à 100% et des temps de marche supérieurs au temps de marche « maximum » (l'hypothèse de relation linéaire entre ces deux variables est tout de même conservée).

Le schéma ci-dessous synthétise l'ensemble des données nécessaires et des opérations effectuées pour obtenir d'une part le temps routier, et d'autre part le taux d'occupation des stationnements et le temps de marche.

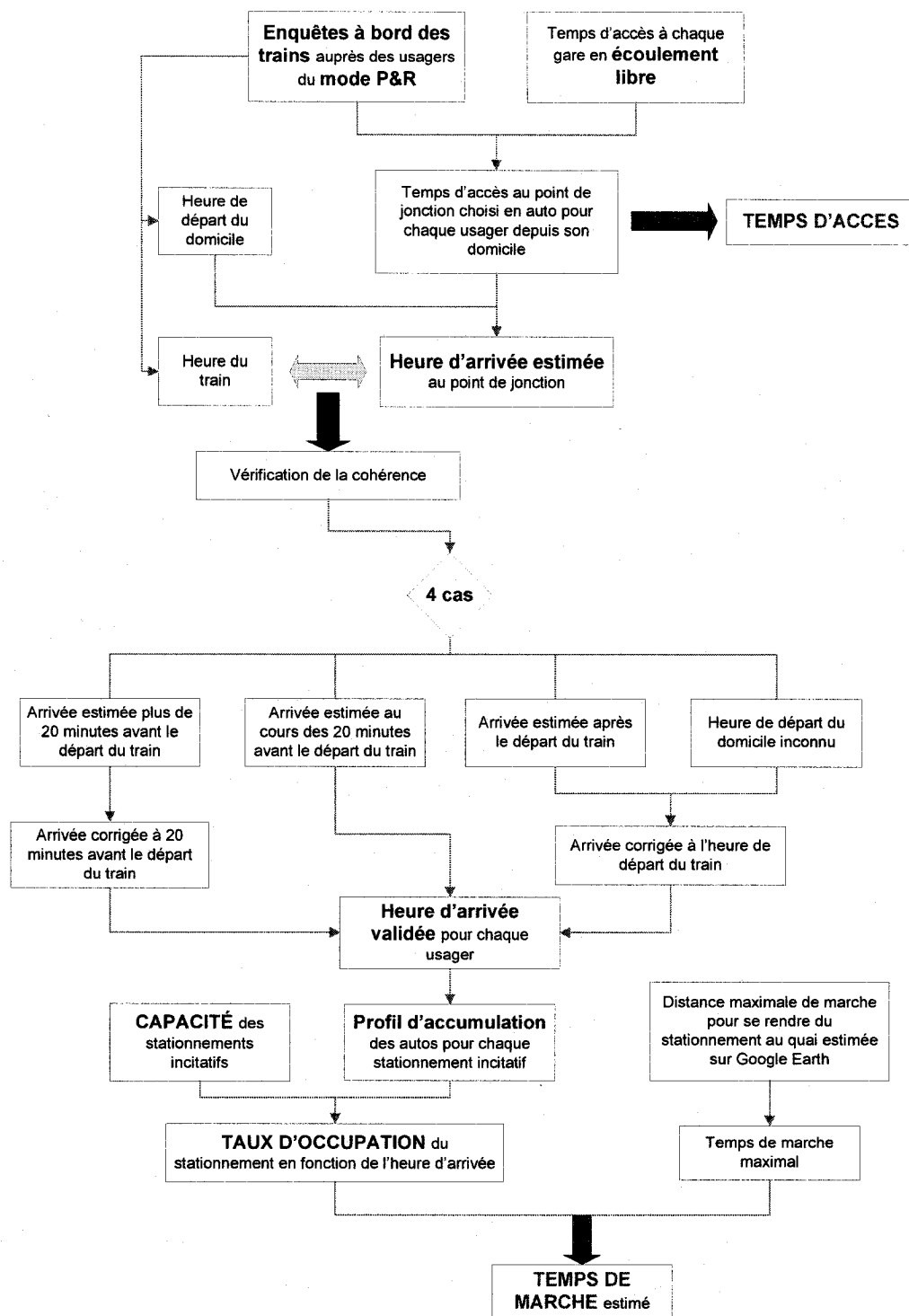


Figure 3-18 : Schéma de l'obtention des données « temps d'accès routier » et « temps de marche »

3.4.4. Le temps de trajet en train

Les usagers déclarent leur gare de montée et leur gare de descente et ces informations sont validées par l'AMT. Le temps de trajet en train est donc la différence de temps entre l'heure d'arrivée du train à la station de descente et l'heure de départ du train à la station d'embarquement.

3.4.5. La disponibilité des places dans le train

Il existe deux capacités pour les trains de banlieue : la capacité assise du train, et la capacité totale qui recouvre le nombre de places assises mais également le nombre de « places » debout. Le choix de la station de train pourrait être lié au confort du train, or le confort est davantage lié au nombre de places assises. Le facteur de disponibilité des places dans le train correspond donc au ratio du nombre de places assises restantes selon l'heure et la station, sur le nombre total de places assises du train. Le nombre de places assises dans chaque train est connu de l'AMT. Pour les trains de la ligne Deux-Montagnes, le nombre total de places assises ne varie pas selon les trains, il s'élève à 900 places assises. Pour la ligne Rigaud au contraire, le nombre total de places assises varie entre 595 et 1226. Considérant l'ensemble des usagers du train, un profil de charge de chaque train a été dressé de façon à connaître le nombre de places assises restantes à chaque heure et pour chaque station. Le ratio est alors immédiat.

3.4.6. Le tarif du trajet en train

La région métropolitaine de Montréal est découpée en zones tarifaires concentriques pour le train de banlieue (Figure 3-19). La structure tarifaire de la région de Montréal est formée de 8 zones depuis 2005:

- ➔ Les zones 1 et 2 s'appliquent sur le territoire de la ville de Montréal.
- ➔ La zone 3 intègre les territoires où exercent les trois sociétés de transport de la région de Montréal : la société de transport de Montréal (STM), la société de transport de Laval (STL) et le réseau de transport de Longueuil (RTL).

- ➔ Les zones 4, 5, 6, 7 et 8, de plus en plus éloignées du centre-ville, sont distantes d'environ 10 kilomètres et l'écart tarifaire entre chaque zone est d'environ 20 dollars.

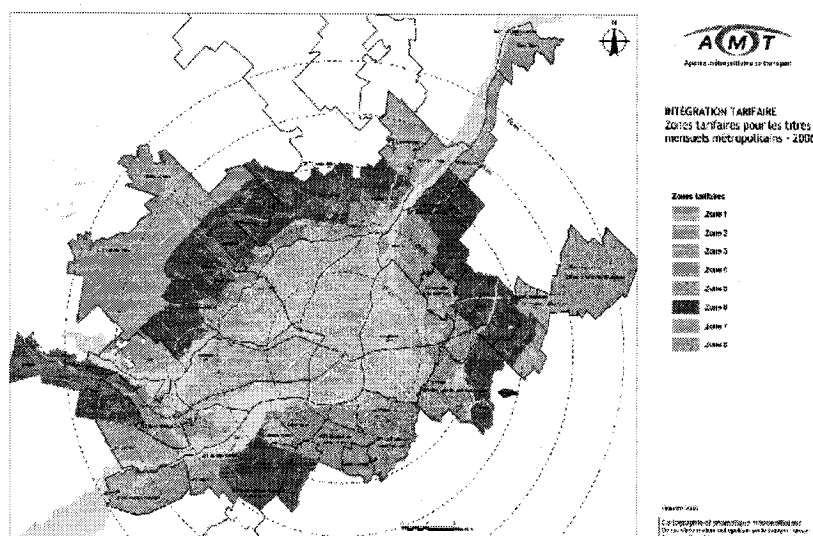


Figure 3-19 : Zones tarifaires pour les titres mensuels métropolitains de 2006 (www.amt.qc.ca)

Cependant les lignes de Rigaud-Montréal et de Deux-Montagnes-Montréal ne sont accessibles en 2005 que pour des stations situées respectivement dans les 6 et dans les 5 premières zones (Tableau 3-5).

Tableau 3-5: Liste des gares des lignes Rigaud et Deux-Montagnes en fonction de leur zone tarifaire.

Zones	1	2	3	4	5	6
RIGAUD	Lachine Montréal-Ouest Vendôme Lucien-L'allier	Cedar Park Pointe-Claire Valois Pine Beach Dorval	Sainte-Anne-de-Bellevue Baie-d'Urfé Beaurepaire Beaconsfield	Pincourt/Terrasse-Vaudreuil Ile-Perrot	Vaudreuil Dorion	Rigaud Hudson
DEUX-MONTAGNES	Montpellier Mont-Royal Canora Gare Centrale	Roxboro-Pierrefonds Sunnybrooke Bois-Franc Du Ruisseau	Ste-Dorothée Ile-Bigras		Deux-Montagnes Grand-Moulin	

Le prix du titre de transport dépend bien sûr de la zone de la gare de montée. Plus l'usager monte à une gare éloignée du centre de Montréal et plus il paie cher. Cependant, la délimitation des zones a changé en 2005 et, jusqu'en 2004, les territoires étaient regroupés autrement. Ces changements n'ont pas touché la ligne

de Deux-Montagnes mais en revanche, les stations de la ligne Rigaud ont connu pour la plupart d'entre elles des changements de zones (annexe 3). Les tarifs ont donc globalement augmenté sur la ligne Rigaud entre 2004 et 2005.

Pour voyager en train de banlieue dans la grande région de Montréal, chaque usager doit posséder une carte d'accès et un titre de transport. Le type de carte d'accès, et par conséquent le tarif, diffère selon l'âge et le statut de l'usager. Il y a 3 types de tarifs dans la région métropolitaine de Montréal :

- ➔ Le tarif réduit réservé aux enfants de 6 à 11 ans, aux écoliers de 12 à 17 ans compris et aux personnes âgées de plus de 65 ans.
- ➔ Le tarif intermédiaire réservé aux étudiants de 18 à 21 ans compris.
- ➔ Le tarif ordinaire appliqué à toute personne âgée de 18 à 64 ans (et ne correspondant pas au profil précédent).

Concernant les titres de transport, ils sont au nombre de trois.

- ➔ La carte TRAIN qui permet d'accéder au train uniquement.
- ➔ La carte TRAM qui est un titre de transport multimodal puisqu'il permet d'accéder au train, au métro et au réseau de bus.
- ➔ Les tickets à l'unité ou les carnets de tickets qui permettent également d'utiliser tous les modes de transport de la grande région de Montréal.

Les cartes TRAIN et TRAM sont des abonnements mensuels alors que les tickets sont des titres utilisables pour un seul voyage.

Le tarif d'un voyage en train dépend donc de la zone de montée, de la carte d'accès et de l'abonnement, possédés par l'usager. Les résultats de l'enquête permettent de connaître ces trois éléments pour les usagers qui ont répondu à cette question. Cependant, la notion de tarif importe essentiellement dans le choix de la zone de montée. Il s'agit de savoir si les usagers du mode « park-and-ride » recherchent des stations d'embarquement situées dans des zones tarifaires inférieures. De plus, les comportements et les caractéristiques des usagers sont globalement identiques, quels que soient leur carte d'accès ou leur titre de transport. De même, les usagers qui n'ont pas répondu à cette question portant sur le titre de transport sont semblables aux autres usagers. La majorité des usagers voyagent avec une carte

TRAM. Par conséquent, pour cette étude, un tarif mensuel de type TRAM qui correspond aux caractéristiques de la carte d'accès et de la gare de montée, sera attribué à chacun. Pour ceux qui n'ont rien répondu ou qui ont coché la case « Autre » pour cette question du titre de transport, le titre mensuel TRAM associé à la carte d'accès « Ordinaire » et à la zone de la station de montée leur est attribué.

Ces différents paramètres peuvent, le cas échéant, être introduits dans la fonction d'utilité d'un déplacement bimodal de type « park-and-ride ». La plupart des coefficients de ces paramètres devraient être négatifs puisqu'ils mesurent une désutilité. Seul le paramètre traduisant la capacité des stationnements aura un coefficient positif. Il s'agit maintenant de décrire la méthode utilisée pour déterminer ces coefficients et calibrer la fonction d'utilité.

3.5. Modélisation du choix de la station de train

Le choix d'itinéraire correspond à un choix discret entre plusieurs alternatives. Pour chaque usager, cinq alternatives du mode « park-and-ride » seront considérées. Ces cinq alternatives correspondent aux cinq stations de train les plus proches de leur domicile pour lesquelles un train passe effectivement. Le choix se porte uniquement sur les stations les plus proches du domicile car la partie en voiture constitue une petite partie du temps total de déplacement (Figure 4-12).

Concrètement, les cinq stations ont été sélectionnées à partir des calculs de temps de trajet routier estimés en écoulement libre. Pour chaque usager, les cinq temps de trajet routier les plus courts, entre le domicile et chacune des stations des deux lignes, ont été retenus. Cependant, certains usagers ne se rendent manifestement pas à une des cinq stations les plus proches de leur domicile. Pour cette minorité, il faudra alors considérer le choix de la station réellement fait en plus des cinq stations les plus proches du domicile, ce qui fait donc six alternatives à prendre en compte. D'autre part, un seul train passe par les stations Rigaud et Hudson le matin. Par conséquent, pour les usagers ne prenant pas ce train, les stations Rigaud et Hudson ne doivent pas être considérées comme des alternatives potentielles. De même, pour la ligne Deux-Montagnes, certains trains ne partent pas de Deux-Montagnes mais

d'une gare plus proche du centre ville, donc certaines alternatives ne peuvent pas être retenues. Elles ne sont pas « valides ». Il est de plus considéré que l'heure de départ de chaque usager doit varier peu d'une alternative à l'autre et donc, que le choix qu'il effectue se fait par rapport aux stations et non par rapport aux horaires de train. Ainsi, en cas de besoin, l'usager préférera se rendre à une gare plus éloignée de chez lui plutôt que de prendre un train à une autre heure qui dessert une gare plus proche de chez lui. Cette hypothèse paraît réaliste puisqu'en 2005, les $\frac{3}{4}$ des usagers du mode « park-and-ride » environ effectue un déplacement à motif travail. Pour déterminer les cinq stations « valides » les plus proches du domicile, les dix stations les plus proches du domicile sont tout d'abord sélectionnées, puis les stations non « valides » sont éliminées. C'est pourquoi, certains usagers du mode park-and-ride ont moins de cinq alternatives à leur disposition (Tableau 3-6). Ce sont des personnes qui ont au moins six alternatives non « valides » parmi les dix retenues au départ. Cependant, la majorité des personnes (plus de 99%) ont à leur disposition cinq alternatives pour se rendre au train.

Tableau 3-6 : Répartition des automobilistes en fonction de leur nombre d'alternatives en 2003, 2004 et 2005.

Nb_alternatives	2003	2004	2005
1	0.02%	0.10%	0.05%
2	0.07%	0.05%	0.04%
3	0.03%	0.08%	0.03%
4	0.14%	0.04%	0.33%
5	99.74%	99.73%	99.55%

Le temps de trajet en train et le temps de marche pour chacune des alternatives ne sont pas difficiles à estimer. La gare de montée, la gare de descente et les taux d'occupation de chaque stationnement en fonction de l'heure sont connus. Pour le tarif, il paraît logique d'attribuer l'abonnement mensuel de type TRAM, pour la même carte d'accès (ordinaire, intermédiaire ou réduit) et correspondant à la zone de l'alternative. En effet, la totalité des usagers ou presque sont montés le jour de l'enquête à une station appartenant à la zone de leur titre de transport. Il est donc fort probable que le choix d'une autre alternative de stationnement située dans une autre zone, serait accompagné d'un changement de titre de transport.

L'estimation des coefficients de la fonction d'impédance résulte d'un modèle de choix discret, le modèle logit conditionnel. La fonction clogit du logiciel STATA (www.stata.com) est utilisée pour estimer les coefficients de la fonction de désutilité. Le fait que le nombre d'alternatives varie pour l'ensemble des individus entre 2 et 6 alternatives n'est pas un problème pour utiliser un modèle logit conditionnel. Le choix réellement effectué est identifié dans la base de données et sert à calibrer la fonction. L'objectif est de représenter le mieux possible les comportements des usagers, c'est-à-dire d'obtenir la probabilité la plus élevée possible pour que chacun choisisse son alternative.

Chapitre 4. Analyse descriptive des données

Il est possible de mieux comprendre le comportement des utilisateurs du mode « park-and-ride » par une analyse approfondie des données disponibles. La première question qui se pose est de savoir si leur comportement diffère fondamentalement de celui des autres usagers du train de banlieue. Il sera donc question dans un premier temps de détailler les caractéristiques générales de l'utilisation du train de banlieue. Ensuite, les déplacements bimodaux de type « park-and-ride » seront étudiés afin d'évaluer la variance intergroupe (au sein de l'ensemble des usagers du train) ainsi que la variance intragroupe (au sein du groupe des bimodaux).

4.1. Utilisation du train

Le nombre de déplacements sur les lignes de train de Rigaud et de Deux-Montagnes a augmenté entre 2001 et 2005, respectivement de 7% et de 15% (Figure 4-1). Cette croissance a été particulièrement forte de 2002 à 2004 mais semble se stabiliser entre 2004 et 2005. En 2005, la ligne Deux-Montagnes compte un peu plus de 14500 voyageurs et la ligne Rigaud environ 7250, soit moitié moins.

Tableau 4-1 : Évolution du nombre de déplacements entre 2001 et 2005

	2001	2003	2005	<i>Evolution 2001-2003</i>	<i>Evolution 2001-2005</i>
Deux-Montagnes	12767	13879	14680	8.7%	15.0%
Rigaud	6781	7074	7273	4.3%	7.3%

De 2001 à 2005, les femmes ont toujours été plus nombreuses que les hommes à utiliser le train de banlieue, en particulier sur la ligne Deux-Montagnes. Cependant, durant ces cinq années, l'augmentation du nombre de femmes est deux fois plus forte que celle des hommes sur la ligne Rigaud (croissance de 8% pour les femmes et de 4% pour les hommes), alors que, parallèlement, la croissance du nombre d'hommes sur Deux-Montagnes dépasse celle des femmes (croissance de 17% pour les hommes et de 12% pour les femmes). Par conséquent, en 2005, les lignes Rigaud et Deux-Montagnes comptent environ la même part d'hommes et de

femmes (55% de femmes pour Rigaud et 57% pour Deux-Montagnes). Les femmes sont en moyenne plus jeunes d'une année que les hommes. L'âge moyen des utilisateurs du train reste relativement stable au cours des cinq années. Il est d'environ 35 ans sur les deux lignes. En revanche, la variance de l'âge est plus importante sur la ligne Rigaud que sur celle de Deux-Montagnes, ce qui dénote entre autre l'existence d'une population plus jeune sur la ligne Rigaud. La part d'étudiants en 2005 est en effet plus élevée sur la ligne Rigaud que sur la ligne Deux-Montagnes (presque 30% sur la ligne Rigaud alors que seulement un peu plus de 15% sur la ligne Deux-Montagnes). La possession automobile des utilisateurs du train a évolué significativement entre 2001 et 2004, puis semble atteindre un seuil puisque les taux de 2004 et 2005 sont sensiblement identiques. En 2005, le taux d'individus possédant une voiture est de 71% sur la ligne Rigaud et 79% sur la ligne Deux-Montagnes. Entre 2001 et 2005, la possession automobile par individu a augmenté de 10% sur la ligne Rigaud et de 30% sur la ligne Deux-Montagnes. Cependant, le nombre d'autos moyen par ménage a finalement stagné sur la ligne Deux-Montagnes (augmentation de 2.1%), alors qu'il a continué à s'accroître sur la ligne Rigaud (augmentation de 21.4%), si bien que les individus prenant le train de banlieue Rigaud-Montréal disposent en 2005 de 1.8 automobiles par ménage, et ceux prenant le train Deux-Montagnes-Montréal de 1.7 par ménage. En considérant que tous les individus ayant pris le mode « kiss-and-ride » viennent à la station avec une personne effectuant un déplacement « park-and-ride », on obtient un taux d'occupation des automobiles limite. Pour la ligne Deux-Montagnes, il est de 1.26 personnes par automobile alors que pour la ligne Rigaud, il s'élève à 1.49.

Le nombre de montées à chaque station n'évolue pas toujours régulièrement au cours des cinq années. Des tendances générales se dégagent tout de même. Sur les deux lignes, les gares proches du terminus (vers Montréal) connaissent de façon générale une baisse de leur fréquentation, à l'exemple de la gare de Montpellier sur la ligne Deux-Montagnes et de la gare de Dorval sur la ligne Rigaud (respectivement une baisse de 22% et de 45% des montées entre 2001 et 2005). En revanche, les stations situées en amont sur la ligne Deux-Montagnes, telles que Ste Dorothée, Grand-Moulin et Deux-Montagnes, ont constaté une hausse progressive

et constante de leur fréquentation au cours des cinq dernières années. Sur la ligne Rigaud, des stations en milieu de ligne comme Cedar Park ou Ste-Anne-de-Bellevue ont connu les progressions les plus importantes (respectivement 19 et 31% entre 2001 et 2005) mais c'est la station Beasconfield qui attire le plus de voyageurs (environ 1500 voyageurs en 2005). Les stations Deux-Montagnes et Roxboro-Pierrefonds, avec plus de 2750 voyageurs chacune en 2005, sont les stations les plus fréquentées de la ligne Deux-Montagnes. Environ 85% des voyageurs de chaque ligne, prenant le train en direction de Montréal, descendent aux stations du centre ville, soient, la Gare centrale, Vendôme ou la gare Lucien L'Allier (respectivement 87%, 31% et 56% des voyageurs de chaque ligne respective en 2005). Les profils de charge obtenus pour les deux lignes sont donc des courbes régulièrement croissantes jusqu'aux stations du centre ville puis elles décroissent brusquement (Figure 4-1 et Figure 4-2). Les modes utilisés après le train sont essentiellement la marche et les transports en commun. Les transports en commun connaissent une hausse importante de leur fréquentation entre 2001 et 2005 puisque leur part dans les modes utilisés après le train croit de 16% pour les utilisateurs des deux lignes, alors que le nombre de personnes marchant après le train, certes augmentent durant les cinq années, mais leur part diminue de 3% sur Deux-Montagnes et de 12% sur Rigaud.

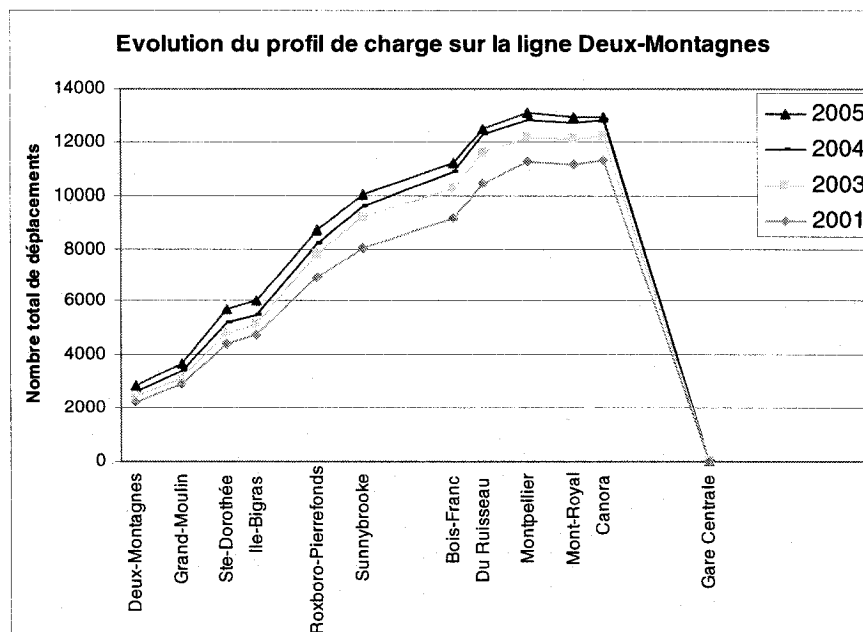


Figure 4-1 : Profils de charge de la ligne Deux-Montagnes entre 2001 et 2005

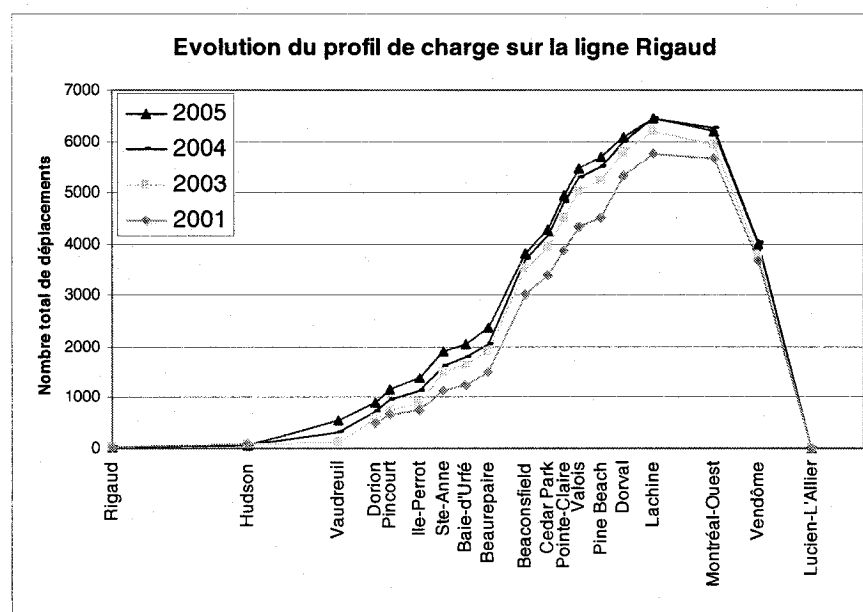


Figure 4-2 : Profils de charge de la ligne Rigaud entre 2001 et 2005

Les quatre modes les plus utilisés pour accéder aux stations de train sont, en ordre décroissant, les modes auto conducteur, marche, transport en commun et auto passager (Figure 4-3 et Figure 4-4).

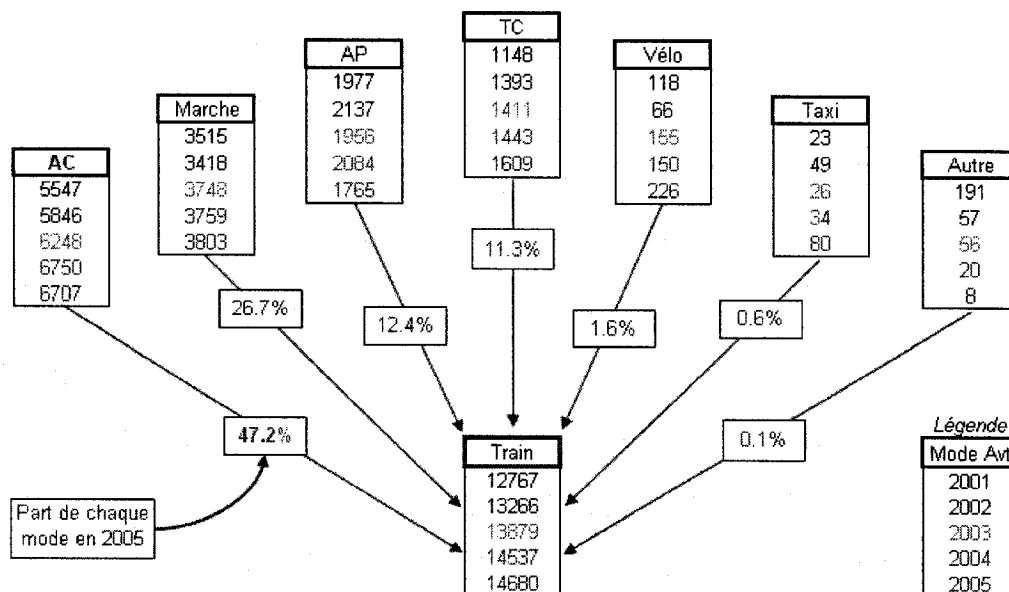


Figure 4-3 : Évolution du nombre de déplacements entre 2001 et 2005 sur la ligne Deux-Montagnes en fonction du mode utilisé avant le train.

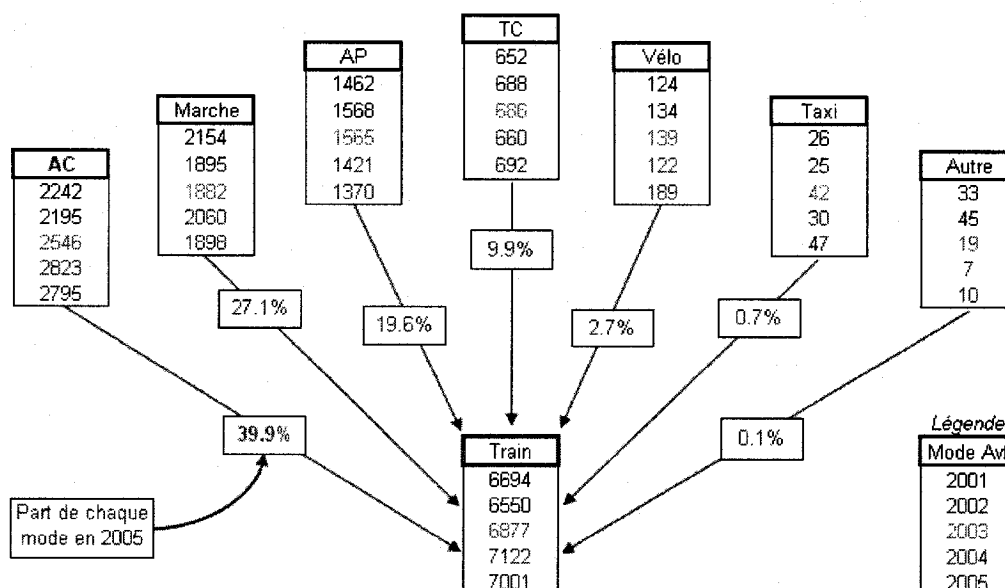


Figure 4-4 : Évolution du nombre de déplacements entre 2001 et 2005 sur la ligne Rigaud en fonction du mode utilisé avant le train.

Les modes d'accès auto-conducteur, marche et transport en commun connaissent une progression constante au cours des cinq années. En revanche, le mode auto passager régresse. Ce mode d'accès a connu une baisse particulière en 2005, autant

sur la ligne de Deux-Montagnes que sur celle de Rigaud. La marche et les transports en commun ont pour leur part un impact différent sur les deux lignes. En effet, si la marche est en décroissance entre 2001 et 2005 pour accéder aux stations de la ligne Rigaud (-12%), elle est en hausse régulière sur la ligne Deux-Montagnes (+8%). Les déplacements en transports en commun sont en hausse pour les deux lignes, cependant cette hausse est bien supérieure sur la ligne Deux-Montagnes (+40% versus +6% sur la ligne Rigaud). Enfin, le mode auto-conducteur connaît une augmentation importante sur les deux lignes entre 2001 et 2005 (augmentation de 21% sur la ligne Deux-Montagnes et de 25% sur la ligne Rigaud, voir Tableau 4-2), bien que, de 2004 à 2005, le nombre de personnes accédant au train en automobile semble stagner.

Tableau 4-2 : Évolution du nombre de déplacements auto conducteurs pour accéder aux trains des lignes Deux-Montagnes et Rigaud entre 2001 et 2005.

<i>Evolution</i>	<i>2001-2002</i>	<i>2002-2003</i>	<i>2003-2004</i>	<i>2004-2005</i>	<i>2001-2005</i>
Deux-Montagnes	5.4%	6.9%	8.0%	-0.6%	21%
Rigaud	-2.1%	16.0%	10.9%	-1.0%	25%

La part modale des autos conducteur en tant que mode d'accès au train n'a pas cessé d'augmenter depuis la mise en place des lignes de train de banlieue (Tableau 4-3). L'augmentation a été fulgurante de 1987 à 1998 (Groupe Madituc, 2002) et elle semble depuis tendre doucement vers un seuil. Les données de 1987, 1993 et 1998 proviennent des enquêtes OD (Groupe Madituc, 2002) alors que les données de 2001, 2003 et 2005 proviennent des enquêtes à bord des trains de banlieue.

Tableau 4-3 : Evolution de la part modale des autos conducteur dans l'accès au train des lignes Deux-Montagnes et Rigaud entre 1987 et 2005.

	Enquêtes OD			Enquêtes à bord des trains		
	1987	1993	1998	2001	2003	2005
Deux-Montagnes	14%	20%	42%	46%	46%	47%
Rigaud	19%	23%	25%	33%	37%	40%

En 2005, un peu moins de 50% des utilisateurs de la ligne Deux-Montagnes et environ 40% de ceux de la ligne Rigaud se rendent à la gare en conduisant leur auto. Ces parts importantes semblent amplement justifier l'intérêt grandissant porté aux déplacements bimodaux de type « park-and-ride ». Il s'agit donc par la suite de les étudier plus en détail.

4.2. Les déplacements bimodaux de type « park-and-ride » (auto-conducteur+train)

Après avoir analysé les tendances générales caractérisant les déplacements bimodaux de type « park-and-ride », il sera question de développer en détail les liens existant entre le lieu de domicile et le choix de la ligne et de la gare, en d'autres termes, l'accès à la station de train en automobile. Enfin, il s'agira d'analyser l'effet d'autres paramètres sur le choix de la station de train, tels que la disponibilité des places dans le train, le temps de marche, la capacité des stationnements, les taux d'occupation des stationnements ou encore le tarif du train.

4.2.1. Tendances générales des déplacements bimodaux de type P&R

Il s'agit dans cette partie de comparer les automobilistes⁶ à l'ensemble des usagers du train. Les points traités sont liés tout d'abord aux tendances démographiques, puis à la destination du voyage, et enfin à la station d'embarquement.

4.2.1.1. Tendances démographiques

La croissance du nombre de personnes (en particulier le nombre de femmes) accédant au train en conduisant leur auto est bien plus élevée que la croissance de l'ensemble des usagers du train de banlieue (Tableau 4-4).

Tableau 4-4 : Evolution du nombre de femmes et d'hommes entre 2001 et 2005 au sein de l'ensemble des usagers du train et des auto conducteurs

Evolution 2001-2005	Ens des usagers du train			Auto-conducteurs		
	Femmes	Hommes	Total	Femmes	Hommes	Total
Deux-Montagnes	+11.7%	+17.3%	+15%	+21.7%	+17.3%	+21%
Rigaud	+8.2%	+3.7%	+7%	+23.4%	+23.2%	+25%

La part entre hommes et femmes reste globalement la même que pour l'ensemble des usagers du train. Les jeunes personnes sont également de plus en plus nombreuses à utiliser la voiture comme mode d'accès au train sur la ligne Rigaud (Figure 4-5).

⁶ Dorénavant, pour désigner les bimodaux de type « park-and-ride », le mot « automobilistes » sera utilisé.

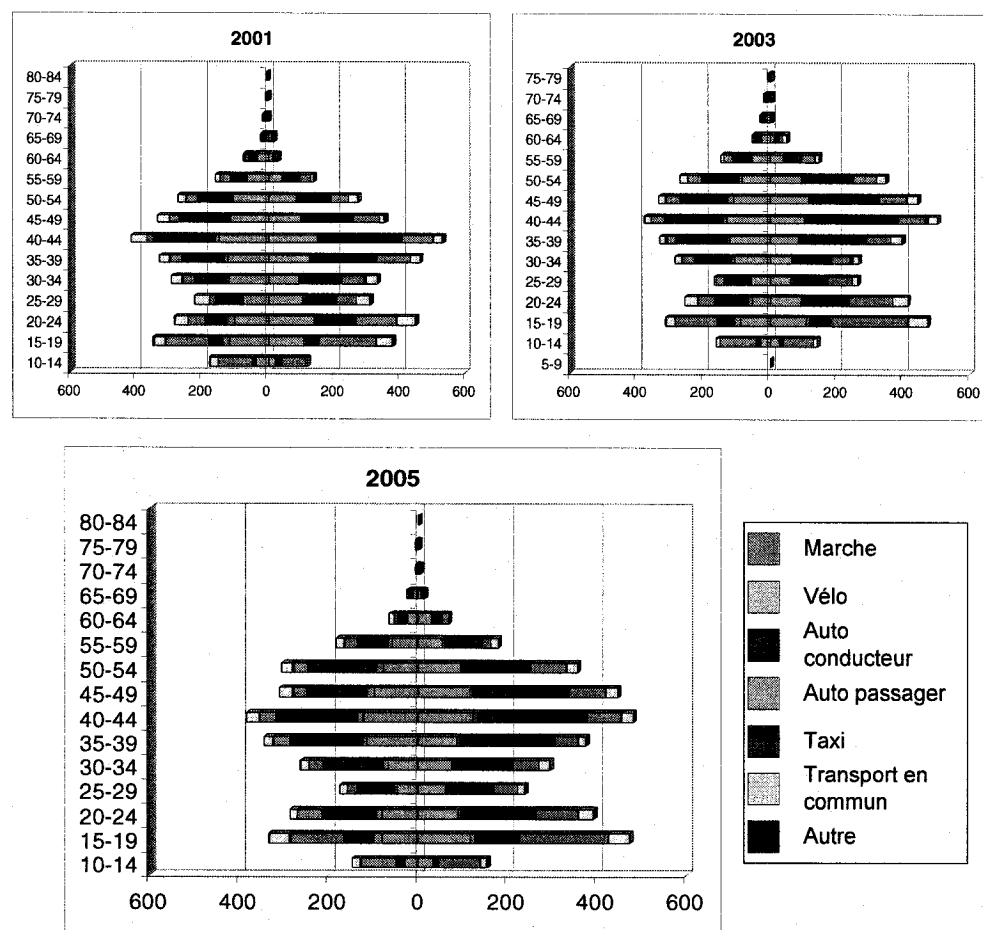


Figure 4-5 : Courbe socio-démographique sexuée et segmentée des automobilistes de la ligne Rigaud entre 2001 et 2005 selon le mode d'accès au train.

L'âge moyen des automobilistes est plus élevé de 2 à 3 ans que celui de l'ensemble des personnes prenant le train. La possession automobile est logiquement plus élevée, ainsi que le nombre d'autos par ménage. Il atteint 2 automobiles par ménage sur la ligne Rigaud et 1,9 sur la ligne Deux-Montagnes en 2005.

4.2.1.2. Destination centre-ville

Concernant la partie finale des déplacements bimodaux en direction de Montréal, 90 à 95% de ces déplacements se destinent au centre ville, ce qui représente un pourcentage plus élevé que pour l'ensemble des utilisateurs du train (85%). Les deux modes utilisés après le train restent la marche et les transports en commun. Pour les utilisateurs des deux lignes, la part d'utilisation des transports en commun

après le train est en hausse de 16% alors que la part modale de la marche est en baisse, en particulier sur la ligne Rigaud (-12%).

4.2.1.3. Les stations les plus fréquentées par les bimodaux

Les automobilistes ont fait le choix d'une station d'embarquement. Une approche zonale puis une approche par gare sont développées afin de cerner ces choix. De plus, les choix des automobilistes sont analysés, d'une part, relativement aux choix de l'ensemble des usagers du train, et d'autre part, relativement à l'ensemble des automobilistes.

- Approche zonale

Les zones choisies correspondent aux zones tarifaires en vigueur depuis 2005. Elles offrent un découpage synthétique du territoire en fonction de la distance au centre ville.

Parmi l'ensemble des utilisateurs du train, les bimodaux de type « park-and-ride » représentent une faible proportion dans les deux zones extrêmes (histogrammes de la Figure 4-6). Tout d'abord, les automobilistes embarquent très peu dans la zone 1 (moins de 5% en 2005), ce qui tendrait à montrer que la partie automobile du mode « park-and-ride » est considérée comme un mode d'accès et le mode train comme le mode principal du déplacement. De plus, la zone 1 étant la zone la plus proche de Montréal, elle est plus urbanisée que les autres zones et permet donc un accès à pied et en transport en commun certainement plus facile. Les automobilistes sont également peu nombreux en zone 6 car un seul train dessert cette zone et les automobilistes profitent de leur voiture pour avoir plus de flexibilité dans le choix de l'horaire de départ. Cette flexibilité est moins facile pour les personnes utilisant un autre mode d'accès, c'est pourquoi seulement 25% des personnes embarquant en zone 6 sont, en 2005, des automobilistes conducteurs. L'ouverture de la gare de Vaudreuil en 2003 semble de plus avoir réduit la part d'automobilistes en 2004 pour la zone 6. Les quatre autres zones accueillent sensiblement 50% d'automobilistes parmi l'ensemble des montants. Cependant, les automobilistes sont nettement plus nombreux à monter en zone 2, puisque cette zone attire à elle seule presque 50% de l'ensemble des automobilistes des deux lignes (courbes de la

Figure 4-6). Cependant, le nombre d'automobilistes a augmenté dans les zones 4 et 5 alors qu'il a diminué dans les zones 2 et 3. L'utilisation du mode « park-and-ride » est donc en progression dans les zones plus éloignées du centre ville.

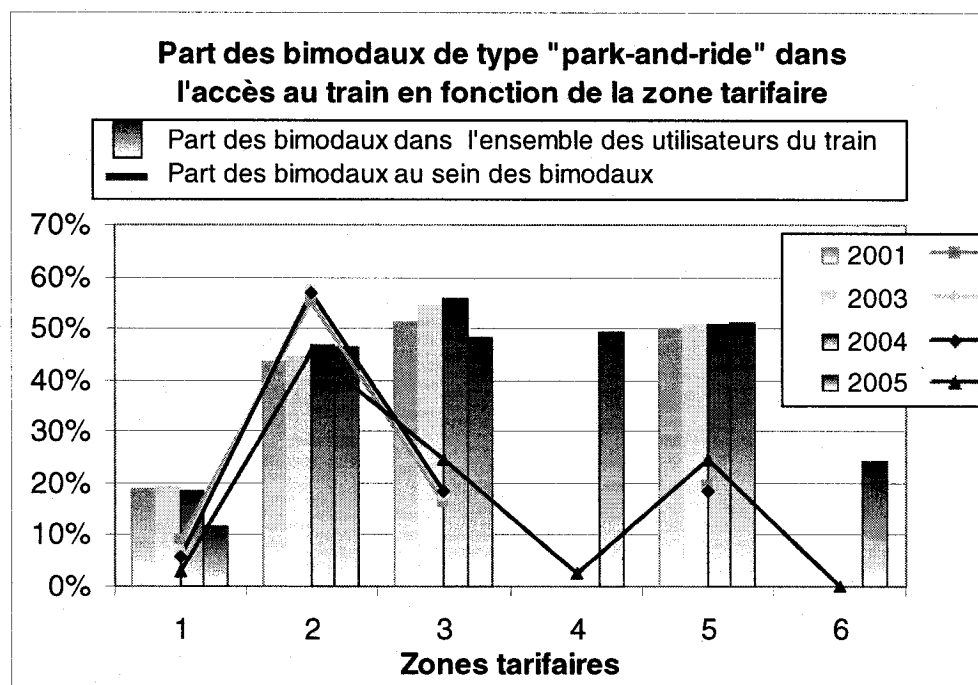


Figure 4-6 : Évolution de la part des automobilistes au sein de l'ensemble des utilisateurs du train et au sein de l'ensemble des automobilistes des deux lignes de train en fonction d'un découpage zonal

- Approche par gare

Les deux lignes de train ne présentent pas les mêmes caractéristiques en fonction de leur progression vers Montréal. Elles diffèrent notamment dans l'évolution de la part modale des bimodaux au sein de l'ensemble des utilisateurs du train.

Les stations de la ligne de Deux-Montagnes connaissent de façon générale une augmentation de la part des bimodaux entre 2001 et 2005 (Figure 4-7). La part des bimodaux au sein des utilisateurs du train est importante dans les stations situées à l'extrémité de la ligne ainsi que dans la station de Du Ruisseau (plus de 75%). Cela s'explique par un nombre important d'automobilistes dans ces stations, attirés sans doute par les tailles importantes des stationnements incitatifs. En particulier, la gare de Deux-Montagnes, avec presque 1500 automobilistes, représente à elle seule plus

de 20% de l'ensemble des personnes accédant aux stations de la ligne de Deux-Montagnes en voiture.

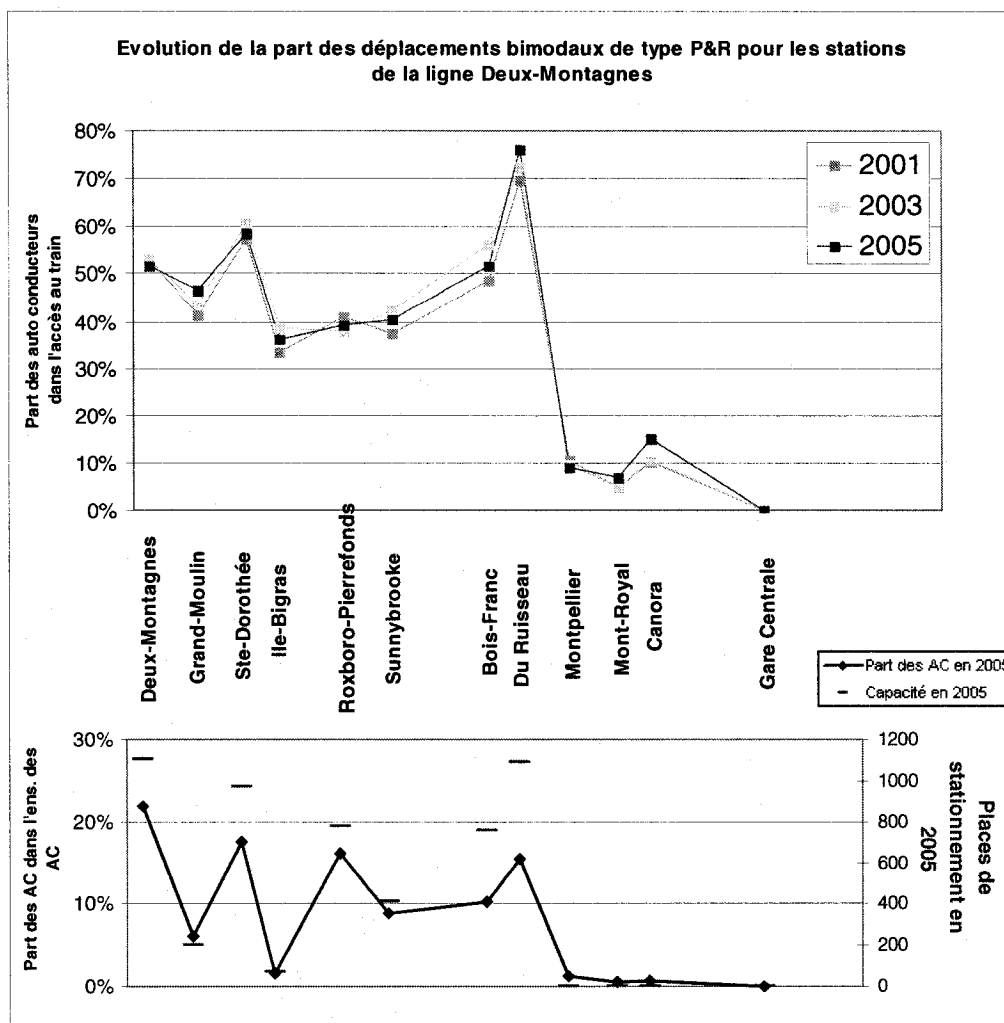


Figure 4-7 : Évolution par gare d'embarquement de la part des automobilistes dans l'ensemble des usagers du train de Deux-Montagnes entre 2001 et 2005, et de la part des automobilistes dans l'ensemble des automobilistes de Deux-Montagnes en 2005.

La régularité remarquée sur la ligne Deux-Montagnes dans l'évolution, de 2001 à 2005, de la part des bimodaux dans l'accès au train, n'est pas aussi présente sur la ligne Rigaud (Figure 4-8). En effet, il n'y a pas de croissance systématique pour chaque station, à l'exemple de Dorion, de l'Ile-Perrot ou de Beasconfield, dont la part modale des bimodaux dans l'ensemble des utilisateurs du train semble osciller entre 2001 et 2005. Le cas de Dorion s'explique assez facilement par l'ouverture en

2003 de la station de Vaudreuil avec un parc de stationnement important. Les automobilistes se sont alors reportés sur la gare de Vaudreuil. Les stations dont l'accès est effectué à plus de 50% en automobile sont dispersées tout le long de la ligne : Vaudreuil, Ste-Anne-de-Bellevue, Pointe-Claire et Dorval. Cependant, Beaconsfield est la station la plus fréquentée par les automobilistes puisque plus de 20% de l'ensemble des automobilistes de la ligne Rigaud se rendent à cette station. Contrairement à la ligne de Deux-Montagnes, les stations de la ligne Rigaud les plus fréquentées par les automobilistes sont plutôt en milieu de ligne.

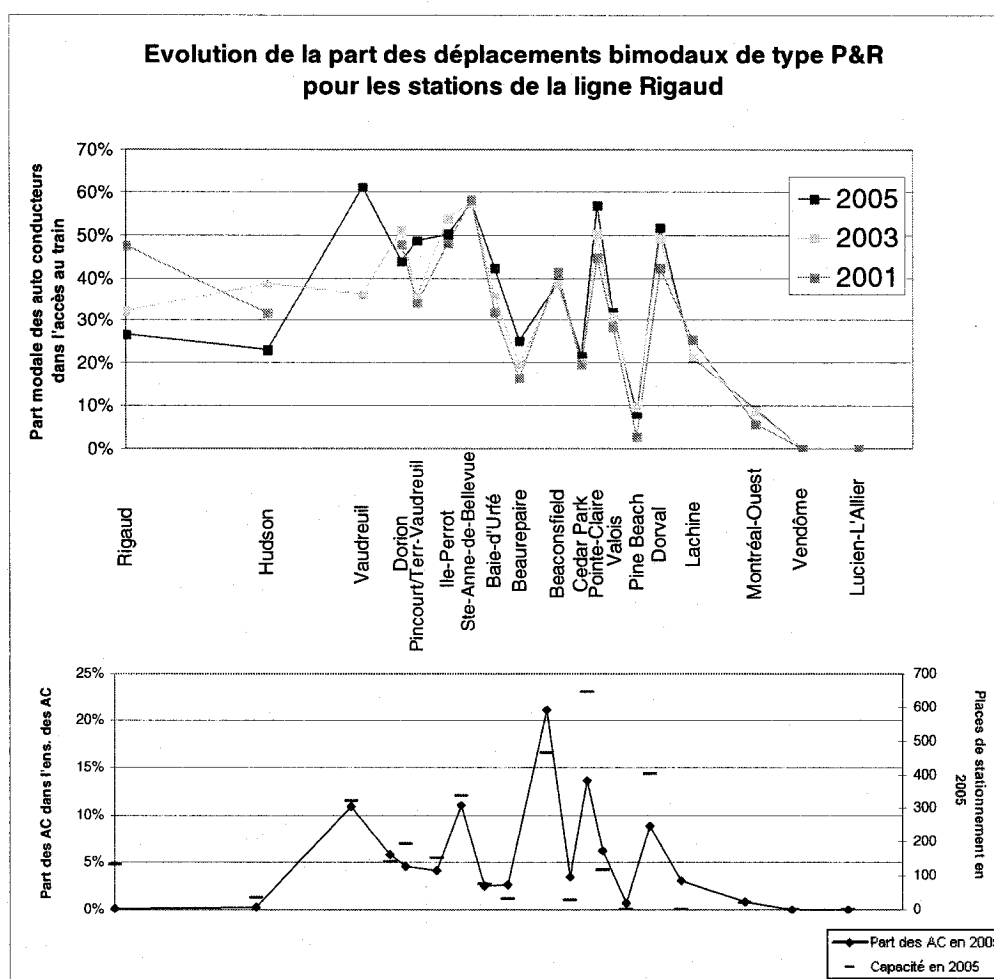


Figure 4-8 : Évolution par gare d'embarquement de la part des automobilistes dans l'ensemble des usagers du train de Rigaud entre 2001 et 2005 et de la part des automobilistes dans l'ensemble des automobilistes de Rigaud en 2005.

Outre la distance au centre ville, la taille des stationnements incitatifs semble expliquer les pics ponctuels d'automobilistes. Le deuxième graphique de la figure 4-8 montre bien la correspondance entre stationnements à forte capacité et importance du taux de bimodaux parmi l'ensemble des bimodaux. Les stations de Ste-Anne, Beasconfield, Pointe-Claire et Dorval en sont les exemples les plus flagrants sur la ligne Rigaud. Les stationnements les plus importants attirent en effet logiquement le plus grand nombre d'automobilistes, à l'exception peut-être de Bois-Franc et de Dorval.

4.2.2. L'accès à la station d'embarquement depuis le domicile

Quel est l'impact du temps d'accès sur le choix de la station d'embarquement ? L'intérêt est tout d'abord de déterminer si tous les automobilistes se rendent à la station la plus proche du domicile, puis ensuite d'analyser si, d'une part la ligne de train, d'autre part la station de train, ont le « pouvoir » de faire varier ce temps d'accès.

4.2.2.1. Le temps d'accès du domicile au point de jonction

Entre 2003 et 2005, plus de 70% de l'ensemble des automobilistes se rendent à une des deux stations les plus proches de leur domicile (Figure 4-9). Cette tendance s'affirme encore plus en 2005 (77% des automobilistes).

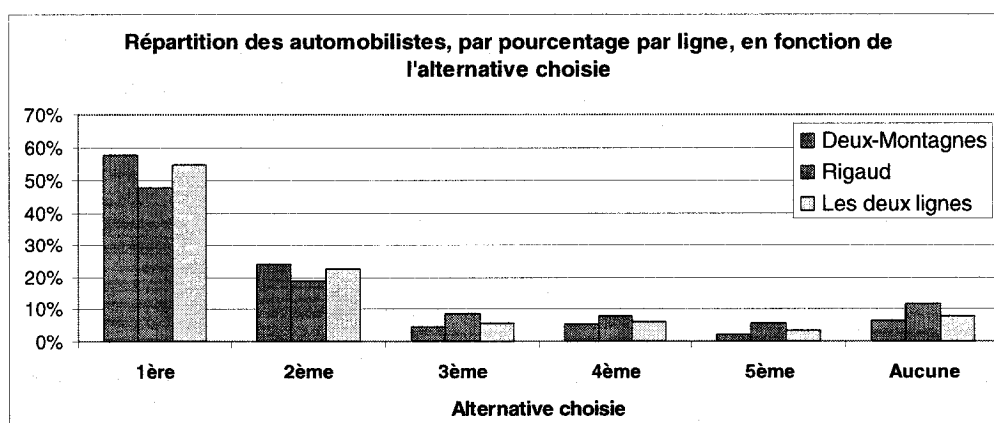


Figure 4-9 : Répartition par ligne du pourcentage des automobilistes choisissant l'une des cinq alternatives les plus proches de leur domicile ou aucune des cinq, en 2005.

Parmi les 30% d'automobilistes qui choisissent d'embarquer à une gare plus éloignée, une part importante (environ 50% en 2003 et 2004 et 34% en 2005) choisit d'embarquer à une station n'appartenant pas à leurs cinq alternatives les plus proches de leur domicile (Tableau 4-5). Certaines personnes n'hésitent donc pas à parcourir des distances plus grandes pour embarquer.

Tableau 4-5 : Répartition en pourcentage des automobilistes ne choisissant pas l'une des 2 gares les plus proches du domicile, entre les alternatives 3, 4, 5 ou aucune de celles proposées.

Alternatives	2003	2004	2005
3ème	18%	16%	25%
4ème	19%	16%	26%
5ème	15%	15%	15%
Aucune	48%	53%	34%

Les distributions des temps d'accès pour les personnes qui choisissent une des deux alternatives les plus proches et pour les personnes qui choisissent des stations plus éloignées, sont décalées (Figure 4-10). Le temps d'accès moyen des personnes choisissant les alternatives éloignées, pour les deux lignes considérées, est de 12 minutes et 30 secondes et correspond au double du temps d'accès moyen des personnes choisissant l'alternative 1 ou 2.

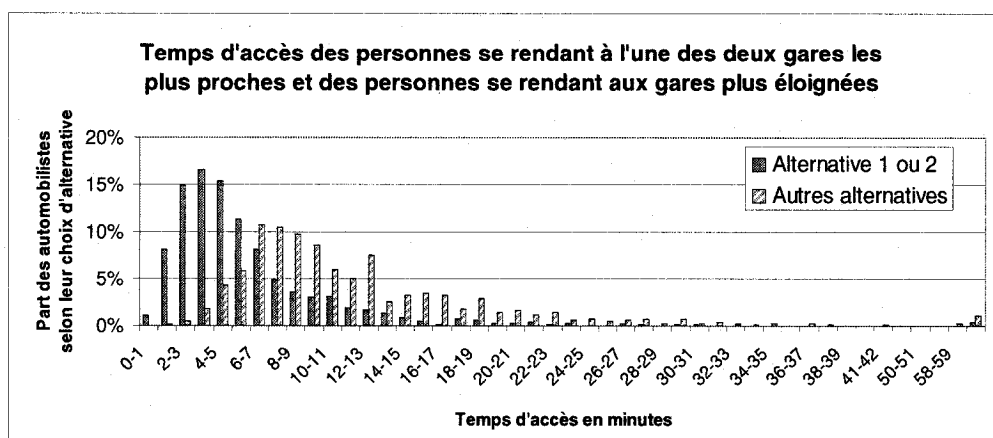


Figure 4-10 : Distribution des temps d'accès en 2005 selon les alternatives choisies

De plus, le choix d'accéder à une gare proche du domicile est plus marqué pour les automobilistes embarquant sur la ligne Deux-Montagnes (82% en 2005) que ceux montant sur la ligne Rigaud (67% en 2005) (Figure 4-9). Les automobilistes de la ligne Rigaud recherchent donc davantage des stations éloignées que les

automobilistes de la ligne Deux-Montagnes. Cela peut être lié au fait que Rigaud a de plus petits stationnements, dont la capacité est atteinte plus rapidement, obligeant les usagers à chercher des stations plus loin. Pourtant, en 2005, les distances d'accès à vol d'oiseau sont en moyenne plus longues de 500 mètres pour les automobilistes de la ligne Deux-Montagnes. (6,25km). Le temps moyen d'accès est inférieur de 30 petites secondes pour la ligne Rigaud et vaut environ 7 minutes et 30 secondes. Les pourcentages cumulés des automobilistes en fonction de leur temps d'accès sont d'ailleurs supérieurs sur la ligne Rigaud à ceux de la ligne Deux-Montagnes pour les faibles temps d'accès (Figure 4-11). 80% des automobilistes des deux lignes ont des temps d'accès inférieurs à 10 minutes. Les automobilistes privilégient donc un temps d'accès à la station de train très court.

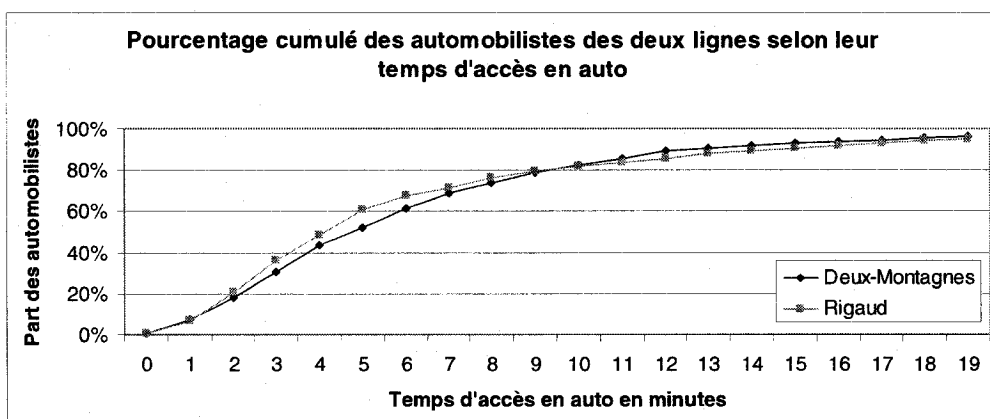


Figure 4-11 : Pourcentage cumulé des automobilistes sur chacune des deux lignes de train en 2005 selon leur temps d'accès en automobile.

Le mode « park-and-ride », tel qu'utilisé sur ces deux lignes de train, peut être caractérisé globalement par un faible temps de trajet en automobile et un important temps de trajet en train. Ainsi, la partie automobile du mode « park-and-ride » est, dans la majorité des cas, considérée comme le mode d'accès au mode train, même si les deux lignes se comportent différemment. Le temps d'accès en automobile ne représente en moyenne en 2005 que le 1/5^{ème} du temps total de voyage (comprenant uniquement le temps en automobile et le temps en train) pour la ligne Rigaud mais le 1/3 pour la ligne Deux-Montagnes (Figure 4-12)

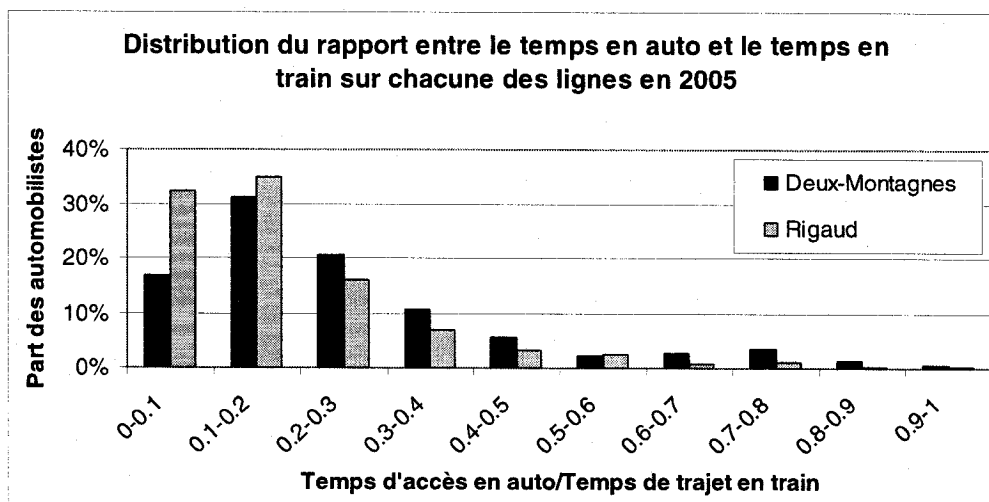


Figure 4-12 : Distribution du rapport entre le temps en auto et le temps en train sur chacune des deux lignes en 2005.

Cependant, la différence s'explique en grande partie par les longueurs des lignes. En effet, la ligne de Deux-Montagnes est presque trois fois moins longue que la ligne Rigaud. Il reste néanmoins que les automobilistes de Deux-Montagnes ne choisissant pas l'une des deux gares les plus proches (« Pas G1-G2 » sur la Figure 4-13) ont en moyenne, en 2005, un trajet en train deux fois moins long que le trajet en voiture. C'est l'inverse pour les automobilistes de Rigaud choisissant des stations éloignées.

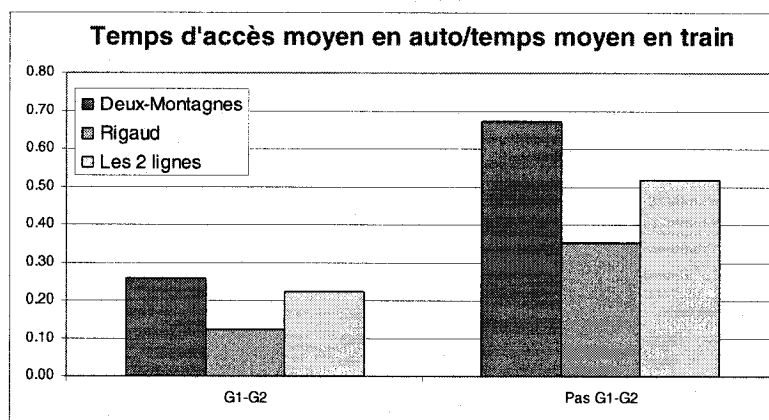


Figure 4-13 : Différence du rapport entre le temps d'accès et temps en train selon la ligne et les alternatives choisies

Ainsi, même si quelques exceptions existent, la grande majorité des automobilistes des deux lignes de train semble privilégier un accès en auto rapide entre leur domicile et la station de train. Il s'agit cependant d'analyser s'il n'existe pas tout de même un effet « ligne » et un effet « gare » dans le choix de l'accès au train, c'est-à-dire si une des deux lignes ou si certaines gares n'ont pas un effet sur le temps d'accès.

4.2.2.2. L'accès à la ligne de train

Les deux lignes de train n'ont pas le même attrait. La ligne de Deux-Montagnes est plus attrayante plus moderne. Or, les automobilistes résidant dans la zone située entre les deux lignes de train ont le choix entre la ligne Deux-Montagnes et la ligne Rigaud. Le tableau 4-6 donne, par année et par choix de ligne, le nombre et le pourcentage de personnes dont les alternatives attribuées sont toutes sur la ligne choisie, toutes sur l'autre ligne, ou encore, partagées entre les deux lignes.

Tableau 4-6 : Choix de la ligne de train en fonction des lignes des cinq alternatives les plus proches du domicile.

	2003			2004			2005		
Total			7 819			8 471			8 776
Choix RI	2289		29%	2446		29%	2585		29%
Alternatives									
RI uniquement	1963	86%	25%	2162	88%	26%	2257	87%	26%
DM uniquement	13	1%	0%	0	0%	0%	0	0%	0%
Les deux lignes	313	14%	4%	283	12%	3%	328	13%	4%
Choix DM	5531		71%	6025		71%	6191		71%
Alternatives									
RI uniquement	92	2%	1%	101	2%	1%	77	1%	1%
DM uniquement	3928	71%	50%	4268	71%	50%	4552	74%	52%
Les deux lignes	1511	27%	19%	1655	27%	20%	1562	25%	18%

Ainsi, dans l'ensemble des automobilistes accédant à l'une des deux lignes de train, 23% d'entre eux (19% des personnes ayant choisi la ligne Deux-Montagnes et 4% la ligne Rigaud) ont, parmi les cinq stations les plus proches de leur domicile, des stations appartenant à la ligne Deux-Montagnes ainsi que des stations appartenant à la ligne Rigaud. Parmi ces 23%, plus des trois quarts ont comme alternative la plus proche de chez eux, une station appartenant à la ligne de Deux-Montagnes. On remarque d'ailleurs que la grande majorité (plus de 80%) de ces 20% choisit la ligne Deux-Montagnes plutôt que la ligne Rigaud. La plupart des personnes qui

habitent plus près de Deux-Montagnes choisissent effectivement de se rendre à une des stations de Deux-Montagnes. En 2005, seulement 4% des automobilistes ayant le choix entre les deux lignes, résident plus proche de la ligne Deux-Montagnes mais choisissent la ligne Rigaud (Tableau 4-7). En revanche, près de 18% des automobilistes ayant le choix entre les deux lignes, résident plus proche de la ligne Rigaud mais choisissent de prendre le train de Deux-Montagnes.

Tableau 4-7 : Part des automobilistes choisissant la ligne de train la plus éloignée de leur domicile parmi l'ensemble des automobilistes ayant le choix entre les deux lignes.

Choix	Alternatives					2003	2004	2005
	1ère	2ème	3ème	4ème	5ème			
Rigaud	DM	DM	DM	DM	RI	0.0%	0.0%	0.0%
	DM	DM	DM	RI		0.0%	0.0%	0.1%
	DM	DM	RI			10.4%	9.6%	2.0%
	DM	RI				1.1%	1.1%	2.0%
	Total DM->RI					11.5%	10.6%	4.1%
Deux-Montagnes	RI	RI	RI	RI	DM	1.9%	0.4%	2.6%
	RI	RI	RI	DM		5.5%	2.0%	6.1%
	RI	RI	DM			2.5%	0.9%	3.0%
	RI	DM				3.9%	2.4%	6.2%
	Total RI->DM					13.7%	5.7%	17.9%

De plus, certaines personnes ne se situant pas dans la zone située entre les deux lignes, et ayant donc cinq alternatives sur la même ligne de train, choisissent finalement l'autre ligne. C'est le cas de 1% des automobilistes, qui résident plus proches de la ligne Rigaud mais choisissent tout de même une gare de la ligne Deux-Montagnes. La ligne Deux-Montagnes a en effet un territoire d'attraction très étiré, s'étendant bien au-delà de la ligne. La zone d'attraction de la ligne Rigaud est au contraire globalement réduite à un corridor autour de la ligne (Figure 4-14).



Figure 4-14: Choix de la ligne en fonction du lieu de domicile (par RTA) pour les automobilistes de 2005.

Les automobilistes choisissent globalement de se rendre à la ligne de train la plus proche de leur domicile. Le lieu de domicile influe donc sur le choix de la ligne, bien que la ligne Deux-Montagnes soit plus recherchée que la ligne Rigaud.

4.2.2.3. Choix de la station de train

Les deux stations les plus proches du domicile sont privilégiées dans le choix des automobilistes. Il est intéressant d'étudier plus en détail ce choix de la gare d'embarquement. Deux visions complémentaires sont donc traitées: une étude par domicile et une étude par gare.

- Étude par domicile

Il s'agit de déterminer des lieux de domicile où il s'impose implicitement aux automobilistes de se rendre à une gare donnée. Pour cela, deux aspects sont étudiés: tout d'abord, le regroupement des domiciles en région de tri

d'acheminement (RTA) afin de constater si certaines RTA sont captives d'une gare particulière ; ensuite, le regroupement des domiciles les plus proches de chaque gare afin de connaître, pour chaque gare, la proportion d'automobilistes les plus proches s'y rendant.

En 2005, les automobilistes des deux lignes de train proviennent de 122 RTA différentes. Pour 40% de ces RTA (soit seulement 2% des automobilistes), les bimodaux d'une même RTA se rendent tous à la même gare. En particulier, les gares de Du Ruisseau et de Roxboro Pierrefonds attirent les automobilistes de plusieurs RTA (Figure 4-15). Les stations de la ligne Rigaud sont des points d'attraction bien moins importants. Seules quelques RTA ont la totalité de leurs automobilistes qui se rendent à une même station. De plus, les automobilistes de 38% de l'ensemble des RTA (soit 25% de l'ensemble des automobilistes) se partagent entre 2 et 4 gares différentes. Le reste des automobilistes, soit presque les trois quarts d'entre eux, se séparent entre 5 et 16 gares différentes. Les bimodaux de type « park-and-ride » n'ont donc pas l'air particulièrement captifs d'une gare bien précise selon la RTA de leur domicile.

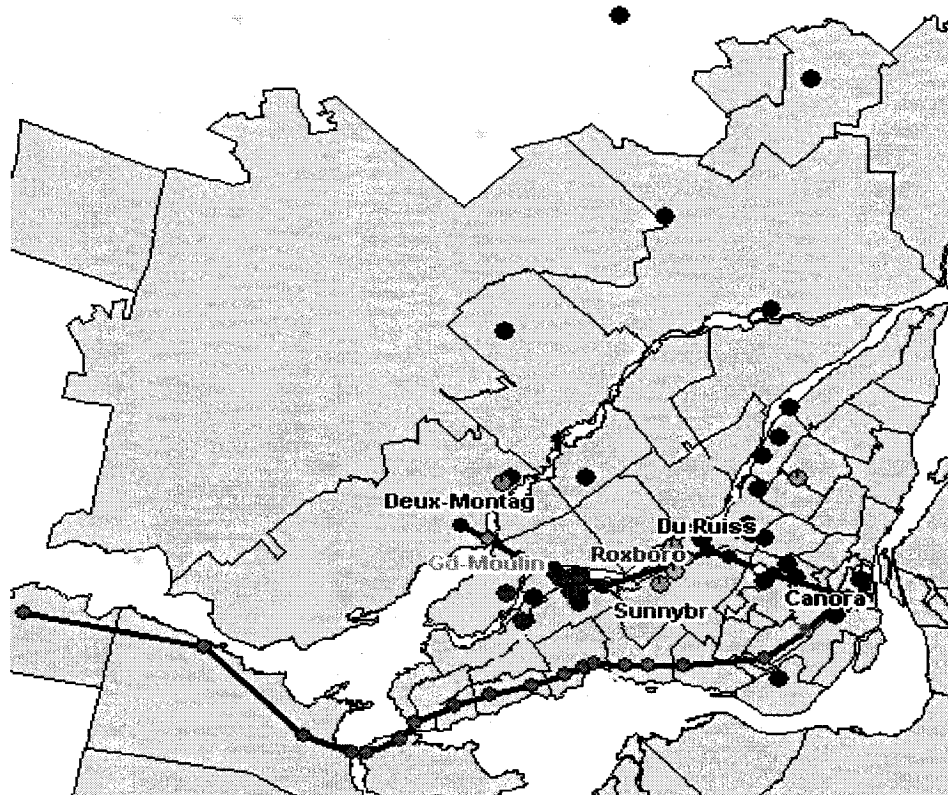


Figure 4-15 : Localisation des RTA dont tous les automobilistes se rendent à une même gare de la ligne de Deux-Montagnes en 2005.

Parmi l'ensemble des automobilistes les plus proches d'une station, la part d'automobilistes se rendant effectivement à cette station varie selon la gare. Des stations telles que Deux-Montagnes, Ste Dorothée, Roxboro-Pierrefonds, Sunnybroke, Du Ruisseau, Baie d'Urfé ou Lachine attirent une plus grande part de « leurs » automobilistes que les autres stations (Figure 4-16 et Figure 4-17).

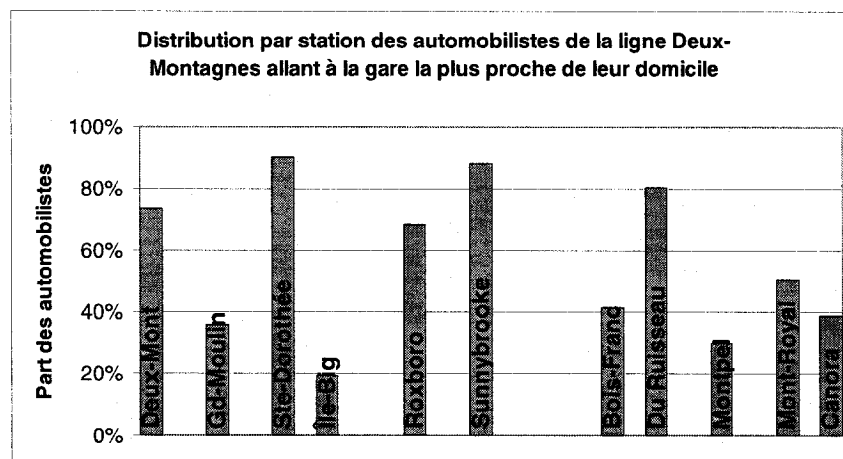


Figure 4-16 : Pour chaque station, part des automobilistes parmi les plus proches de chacune des stations de la ligne Deux-Montagnes, se rendant effectivement à cette station pour embarquer.

Il y a plus de mouvements sur la ligne Rigaud puisque les automobilistes ne choisissent pas systématiquement la gare la plus proche de chez eux.

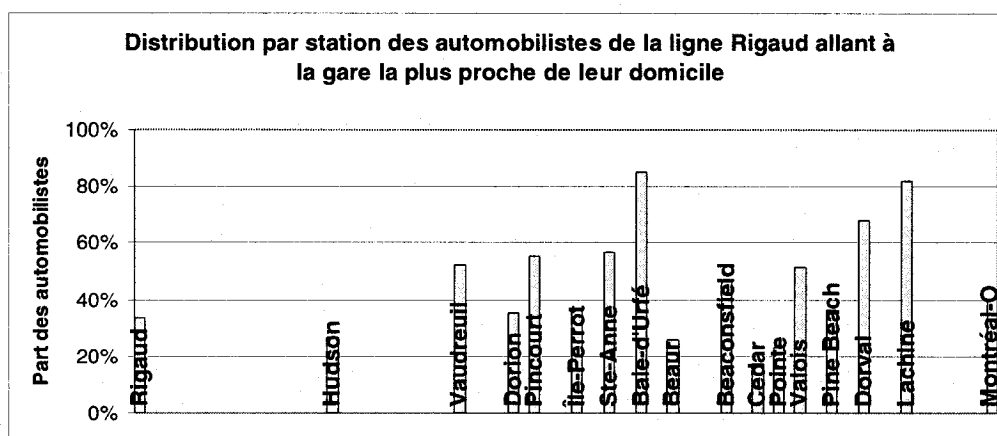


Figure 4-17 : Part des automobilistes les plus proches de chacune des gares de la ligne Rigaud, se rendant effectivement à cette gare pour embarquer.

Cependant, cela ne signifie pas que les sept stations de train citées précédemment ne desservent qu'un territoire local. Mais les automobilistes résidant proche de l'une de ces sept stations, choisissent, pour la plupart, cette station d'embarquement.

- Étude par gare d'embarquement

Selon la ligne à laquelle les gares appartiennent et leur position sur la ligne, la provenance des automobilistes et la distance d'accès ne sont pas les mêmes. Le territoire desservi et l'étendue de l'aire d'attraction diffèrent d'une gare à l'autre.

Concernant le territoire desservi, les deux lignes se comportent très différemment. De par leur position géographique, la ligne Deux-Montagnes et la ligne Rigaud ne sont pas amenées à jouer le même rôle. La ligne Rigaud longe en grande partie la rive sud de l'île de Montréal si bien que toutes les gares de la ligne Rigaud ou presque, desservent le corridor étroit situé de part et d'autre de la ligne de train. Très peu d'automobilistes qui se rendent au train de Rigaud, résident très loin de la ligne. Seules les gares situées à l'extrémité de la ligne et quelques gares particulières attirent des automobilistes de zones géographiques diverses. Les gares de Beaconsfield, Pointe-Claire et un peu Dorval attirent par exemple des automobilistes résidant dans l'ouest de l'île de Montréal, entre les deux lignes de train. Au contraire, les stations de la ligne de Deux-Montagnes desservent un territoire bien plus diversifié. Les stations telles que Deux-Montagnes, Grand-Moulin, Ste-Dorothée, Ile-Bigras, Du Ruisseau et Montpellier desservent essentiellement le nord de la ligne, allant jusque dans les Laurentides. Les stations de Roxboro et Sunnybrooke desservent au contraire le sud de la ligne, c'est-à-dire la partie Est de Laval et de l'île de Montréal. Bois-Franc a la particularité d'attirer les automobilistes résidant de part et d'autre de la ligne.

Certaines gares desservent une clientèle très locale, alors que d'autres attirent des personnes habitant plus loin et sont donc, à caractère plus régional. La ligne de Deux-Montagnes possède une aire d'attraction bien plus importante que celle de la ligne Rigaud. Par conséquent, les automobilistes viennent de beaucoup plus loin, en particulier en provenance du nord. Les stations de Du Ruisseau ou de Ste-Dorothée sont par exemple à caractère régional (Figure 4-26 et Figure 4-27). Par sa localisation en bout de ligne, la gare de Deux-Montagnes attire également des automobilistes venus de loin. Les automobilistes embarquant à Deux-Montagnes choisissent l'alternative la plus proche de leur domicile mais viennent de très loin. Sur la ligne Rigaud, le caractère régional est moins approprié car les distances sont

plus courtes. Les stations dites à caractère « régional » sur la ligne Rigaud ont une aire d'attraction bien moins développée que les stations régionales de la ligne Deux-Montagnes. Cependant la station de Dorval attire tout de même un nombre important d'automobilistes venus de l'Est de l'île de Montréal, voire hors de l'île. De même, les stations de Ste-Anne-de-Bellevue et de Pointe-Claire peuvent être classées comme des stations « régionales » (Figure 4-21 et Figure 4-22). Les stations utilisées essentiellement par une clientèle locale sont bien plus nombreuses, surtout sur la ligne Rigaud (Dorion, Ile-Perrot, Beaurepaire, Cedar-Park). Les stations de Vaudreuil et de Beasconfield sont un peu particulières car elles attirent beaucoup d'individus venus d'endroits variés mais les distances restent assez courtes. Sur la ligne Deux-Montagnes, ce sont essentiellement les stations du milieu de ligne (Ile-Bigras, Roxboro-Pierrefonds, Sunnybrooke, Bois-Franc) qu'on peut qualifier de stations locales. Roxboro conserve donc toujours son caractère local, alors que la station de Ste Dorothée n'a pas une vocation régionale aussi forte que la station de Du Ruisseau (Lavigueur, 1998).

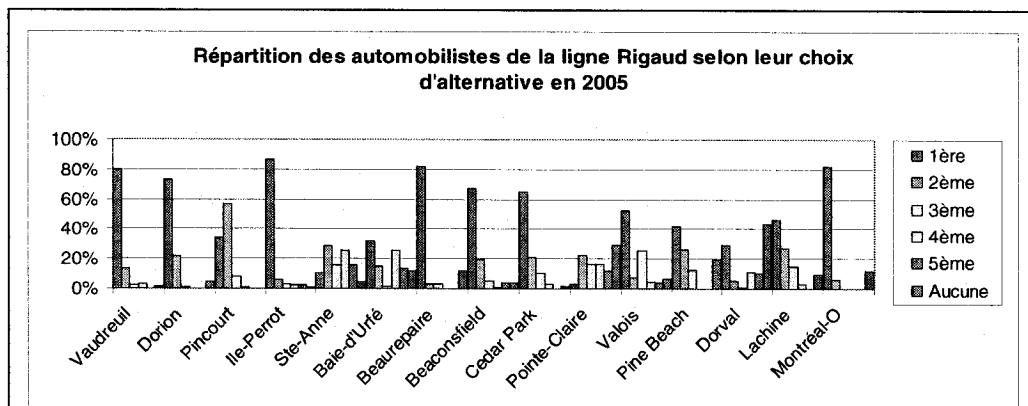


Figure 4-18 : Répartition par gares et par alternative choisie des automobilistes de la ligne Rigaud en 2005

Stations de train essentiellement locales

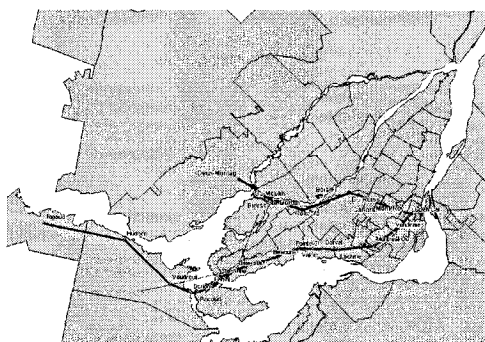


Figure 4-19 : Station de Baie-d'Urfé

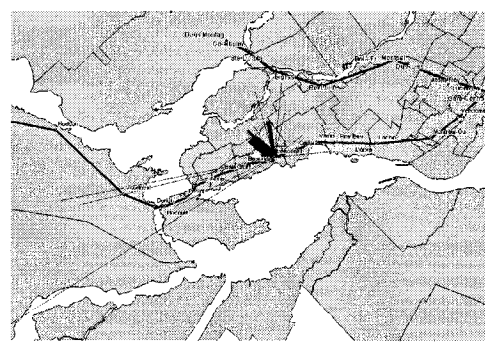


Figure 4-20 : Station de Beaconsfield

Stations de train plus « régionales »

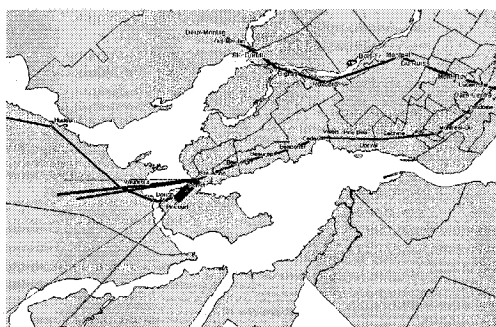


Figure 4-21 : Station de Ste-Anne

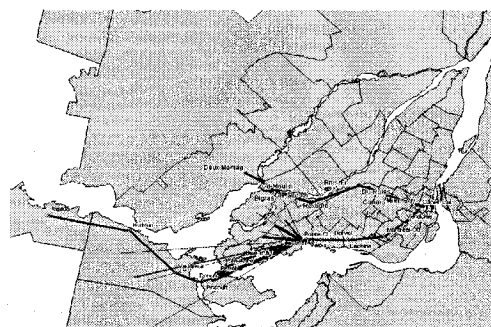


Figure 4-22 : Station de Pointe-Claire

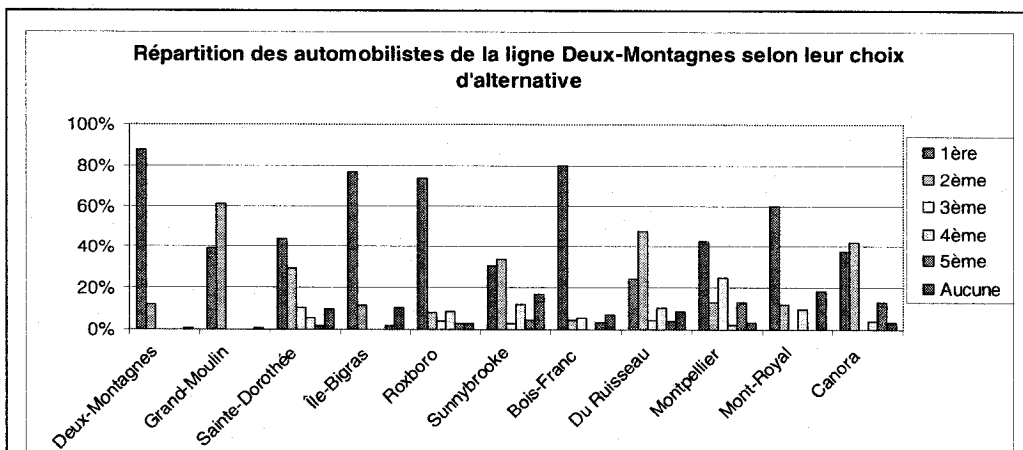


Figure 4-23 : Répartition par gares et par alternative choisie des automobilistes de la ligne Deux-Montagnes en 2005

Station à caractère plus local

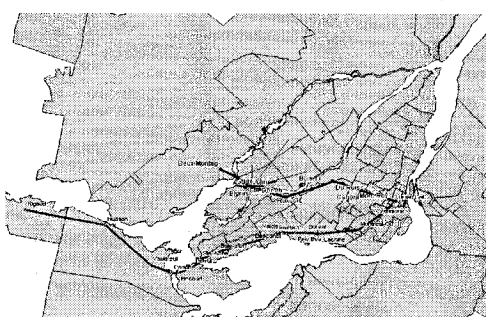


Figure 4-24 : Station de l'Île-Bigras

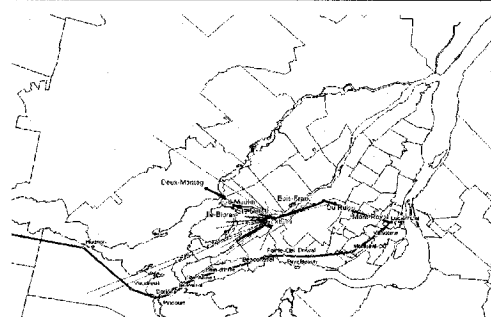


Figure 4-25 : Station de Roxboro-Pierrefonds

Station à caractère régional

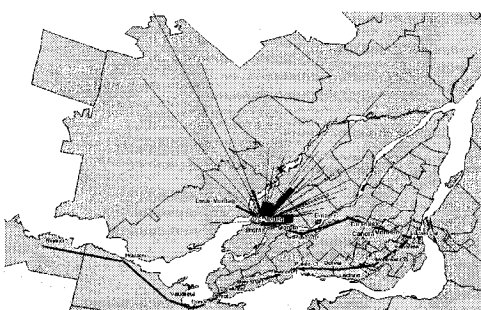


Figure 4-26 : Station de Ste-Dorothée



Figure 4-27 : Station de Du Ruisseau

Le caractère local et/ou régional des stations se retrouve dans l'estimation des temps d'accès des automobilistes depuis leur domicile (Figure 4-28). On constate en effet que des stations comme Deux-Montagnes, Ste Dorothée, Du Ruisseau, Montpellier, Vaudreuil, Ste-Anne-de-Bellevue, Pointe-Claire et Dorval ont les temps d'accès moyens les plus importants.

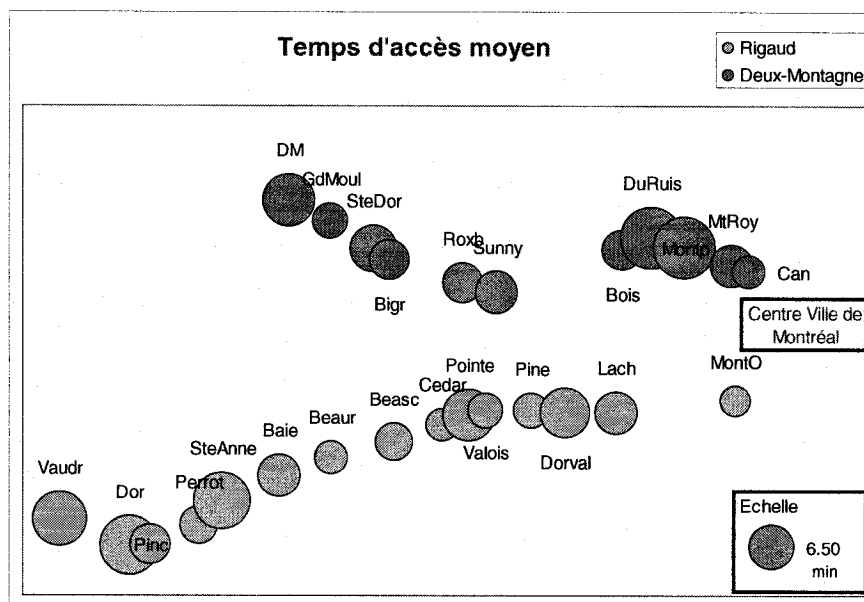


Figure 4-28 : Représentation spatiale des temps d'accès moyen des automobilistes embarquant aux stations des lignes Rigaud et Deux-Montagnes.

Concernant la ligne Deux-Montagnes, où les contrastes semblent plus forts, les distributions des distances d'accès par gare sont très révélatrices du rôle de la gare. Au sein même des stations dites « régionales », on constate des différences marquées.

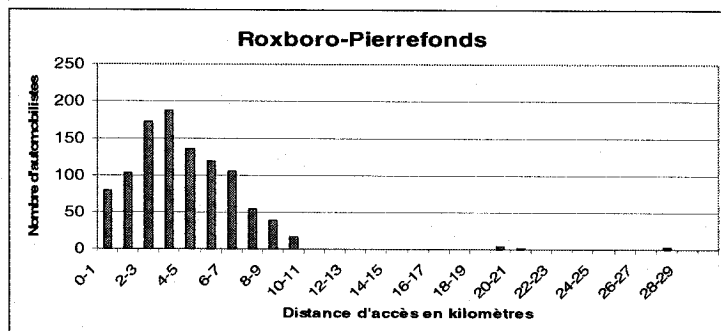


Figure 4-29 : Distribution des distances d'accès pour la station de Roxboro-Pierrefonds

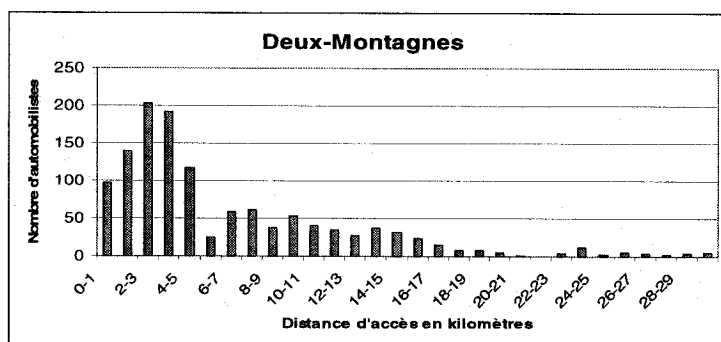


Figure 4-30 : Distribution des distances d'accès pour la station de Deux-Montagnes

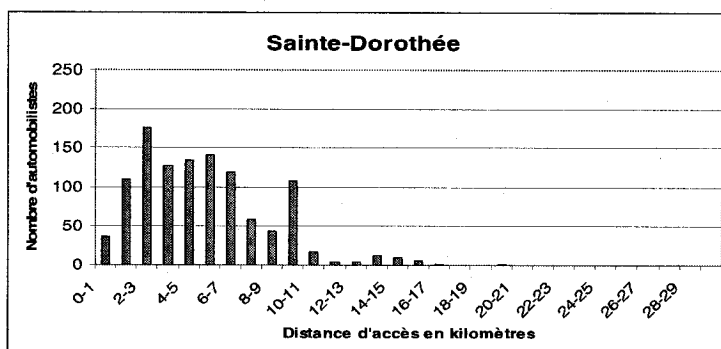


Figure 4-31 : Distribution des distances d'accès pour la station de Ste-Dorothée

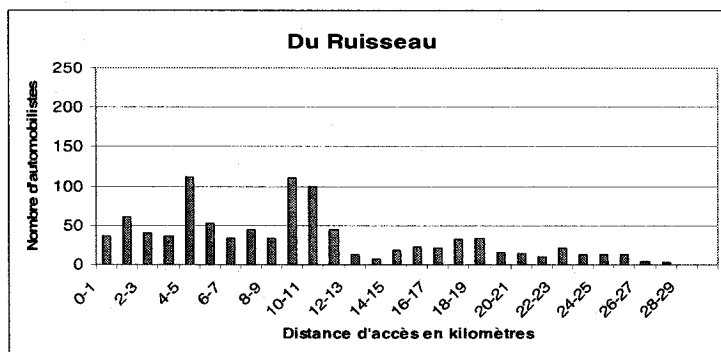


Figure 4-32 : Distribution des distances d'accès pour la station de Du Ruisseau

Les automobilistes choisissent en priorité une station située à proximité de leur domicile. Cependant, la ligne et surtout les gares ont un rôle différent. Il s'agit donc de savoir si certains paramètres liés aux stations n'influenceraient pas également le choix de la gare d'embarquement.

4.2.3. Autres paramètres susceptibles d'influencer le choix de la station

Les automobilistes n'ayant pas choisi l'une des deux stations les plus proches du domicile, ont sans doute des raisons qui guident ce choix. Il s'agit donc d'étudier qu'est-ce qui les pousse à allonger leur temps d'accès : la disponibilité des places, la capacité des stationnements, le taux d'occupation des stationnements, le temps de marche ou encore le tarif du train ?

4.2.3.1. La disponibilité des places dans le train

Les deux lignes de train se comportent différemment en terme de disponibilité des places dans le train. La ligne Rigaud offre un service adapté puisque seulement 15% des automobilistes ne peuvent pas s'asseoir lorsqu'ils embarquent. La ligne Deux-Montagnes est beaucoup plus achalandée et la moitié des automobilistes n'ont pas de places assises lorsqu'ils montent. Il semble que les automobilistes qui choisissent une alternative plus éloignée de leur domicile, ne le fassent pas en vue d'un meilleur confort dans le train, puisque plus les alternatives sont éloignées et plus le train est saturé (Figure 4-33). La capacité est en moyenne dépassée sur Deux-

Montagnes dès la zone 3, et plus précisément, dès la station de Roxboro-Pierrefonds pour 2003 et 2004, et même dès Ste-Dorothée en 2005. L'indisponibilité de places assises pour la majorité des utilisateurs du train de Deux-Montagnes ne semble pas être dissuasive à son utilisation.

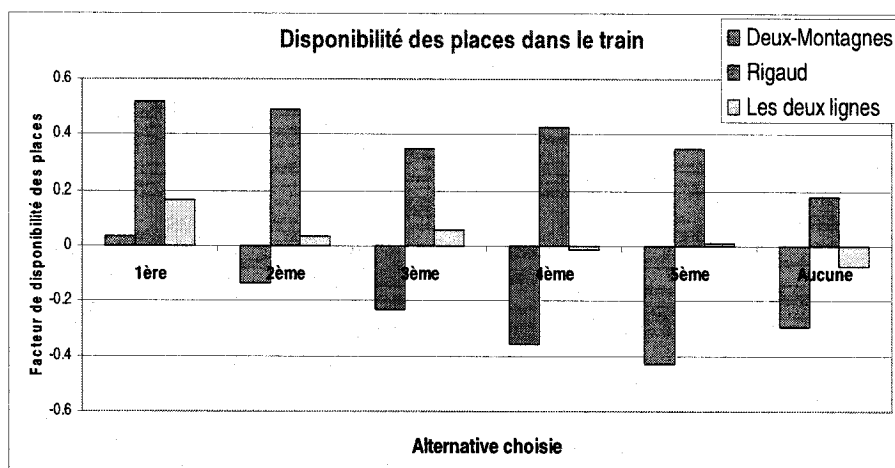


Figure 4-33 : Disponibilité des places dans le train en fonction de l'alternative choisie sur chaque ligne en 2005.

4.2.3.2. La capacité des stationnements incitatifs

Les automobilistes ont le souci de trouver une place de stationnement à la gare d'embarquement. On peut penser que les automobilistes vont donc plutôt rechercher les stationnements à forte capacité. Il est logique de constater que le nombre d'automobilistes embarquant à une station de train augmente linéairement avec la capacité du stationnement de la gare. Le taux d'automobilistes parmi l'ensemble des usagers du train augmente également avec les faibles capacités puis atteint une asymptote, si l'on excepte le cas de Du Ruisseau (Figure 4-34). Ainsi les gares à petits stationnements sont plus fréquentées en moyenne par les personnes accédant au train par un autre mode de transport que l'automobile, ce qui pourrait laisser penser, qu'effectivement, les automobilistes recherchent davantage les gares à stationnement important que les autres utilisateurs du train.

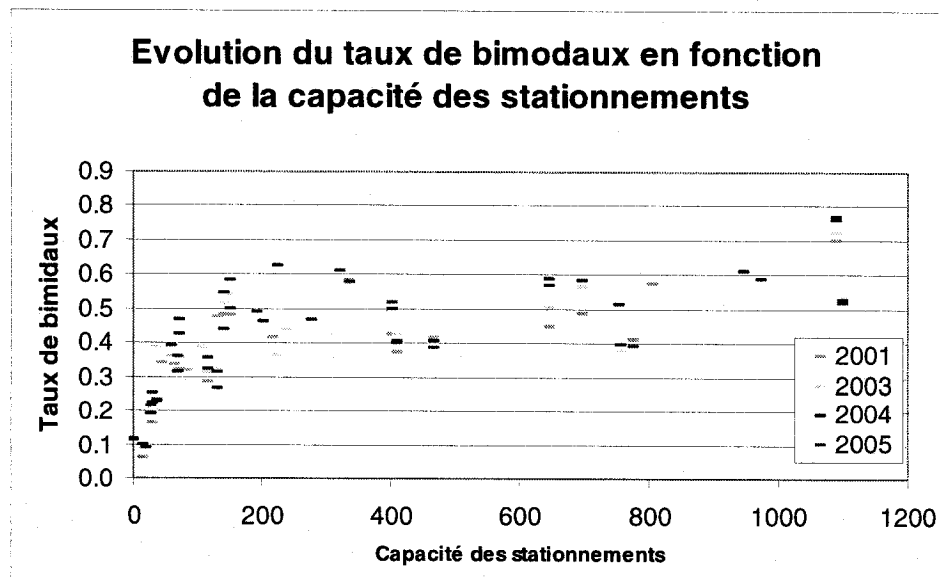


Figure 4-34 : Évolution du taux de bimodaux de 2001 à 2005 en fonction de la capacité des stationnements choisis.

Pourtant, la capacité moyenne du stationnement choisi par les automobilistes, n'augmente pas forcément avec l'éloignement de l'alternative par rapport au domicile (Figure 4-35). Au contraire, pour la ligne Deux-Montagnes, la capacité moyenne des stationnements diminue à mesure que les automobilistes choisissent une alternative éloignée de leur domicile. Sur la ligne Rigaud par contre, la capacité augmente avec l'éloignement de l'alternative.

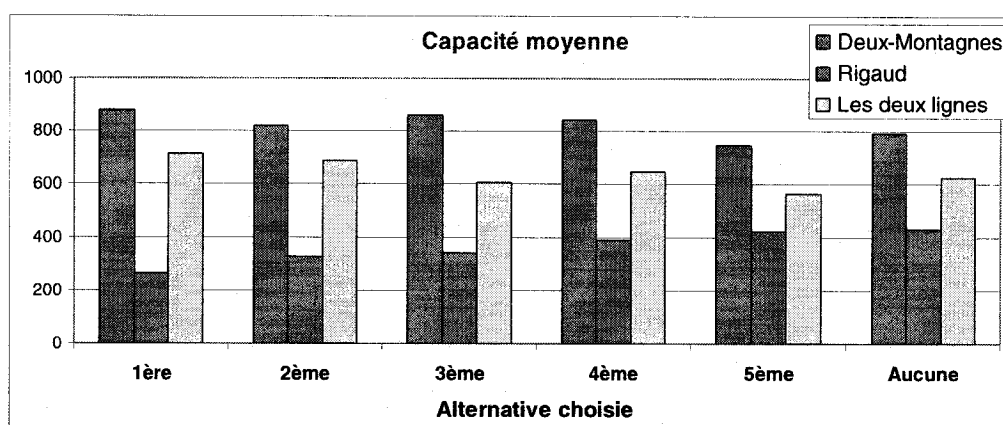


Figure 4-35 : Évolution de la capacité moyenne des stationnements choisis en 2005 en fonction de l'alternative choisie.

Cependant, les stationnements importants ont une aire d'attraction beaucoup plus étendue que les petits stationnements, si bien que, sur Deux-Montagnes, les temps d'accès augmentent avec la capacité des stationnements (Figure 4-36). Les automobilistes accédant aux stationnements à forte capacité viennent de régions éloignées de la ligne de train.

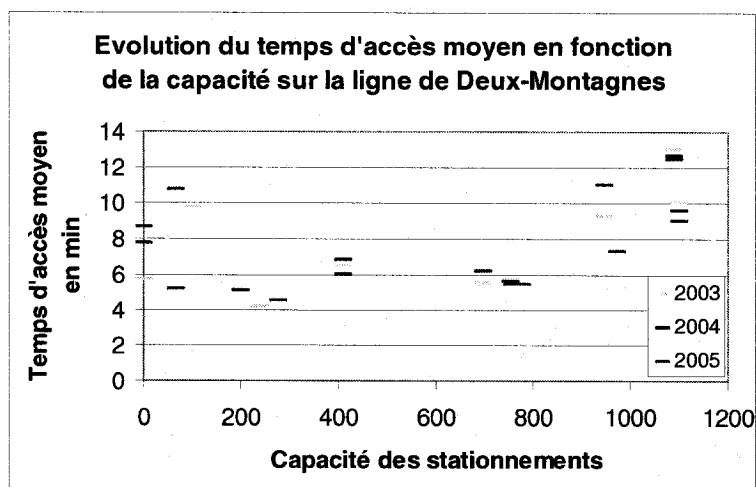


Figure 4-36 : Évolution des temps d'accès entre 2003 et 2005 en fonction de la capacité du stationnement choisi.

Il semble donc que la capacité des stationnements ait un impact mais pas forcément l'impact attendu a priori. En effet, les automobilistes qui ne choisissent pas l'une des deux stations les plus proches de chez eux, ne se rendent pas plus que les autres dans les stations équipées de grands stationnements. En revanche, les grands stationnements attirent des personnes habitant loin de la ligne de train, ce que ne provoquent pas des stationnements à petite capacité.

4.2.3.3. Le taux d'occupation des stationnements incitatifs

Plus encore que la capacité, c'est le taux d'occupation des stationnements qui importe pour trouver une place disponible. Or, en 2005, plus de la moitié des stationnements incitatifs des deux lignes (12 en tout) sont saturés à la fin de l'heure de pointe du matin. Le stationnement de Deux-Montagnes est l'un d'eux (Figure 4-37).

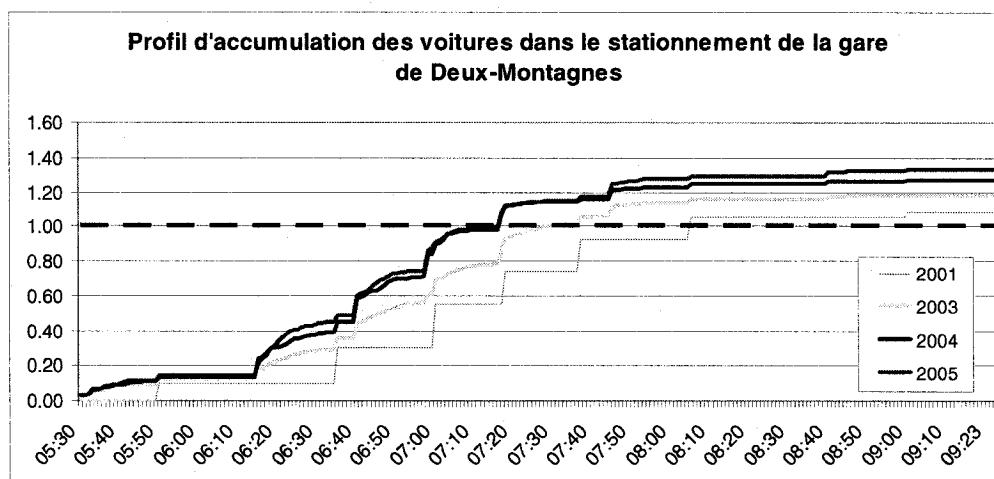


Figure 4-37 : Profils d'accumulation des automobiles dans le stationnement de Deux-Montagnes entre 2001 et 2005.

Le stationnement incitatif de Cedar Park a le taux de saturation le plus élevé (3.4) (Figure 4-38) mais les gros stationnements ont parfois jusqu'à 400 automobilistes de plus que ne permet la capacité de leur stationnement (Figure 4-39). Ainsi, il semble que la limite de capacité ne soit pas un véritable problème pour les automobilistes, que ce soit dans les petits ou dans les gros stationnements. Dans la majorité des cas, soit la limite de capacité est approximative, soit les automobilistes trouvent des places aux alentours de la gare. On peut supposer que les automobilistes sont des habitués et connaissent bien la station choisie. La station de Pointe-Claire est un cas particulier puisque c'est une station à forte capacité sur la ligne Rigaud, et pourtant, sa capacité n'est pas totalement utilisée. Il reste en 2005 plus de 250 places de libre dans le stationnement à la fin de l'heure de pointe du matin (Figure 4-39).

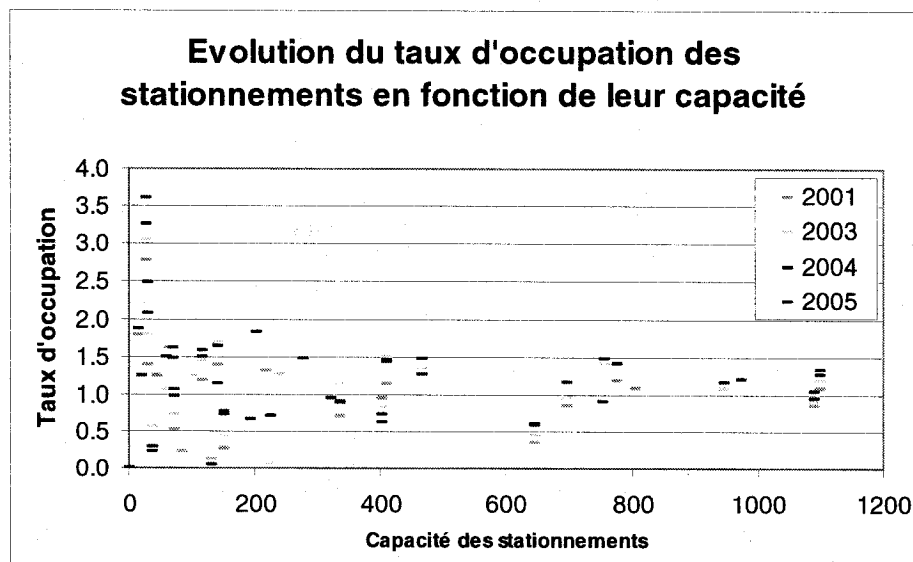


Figure 4-38 : Taux d'occupation maximaux des stationnements incitatifs des deux lignes de train en fonction de la capacité.

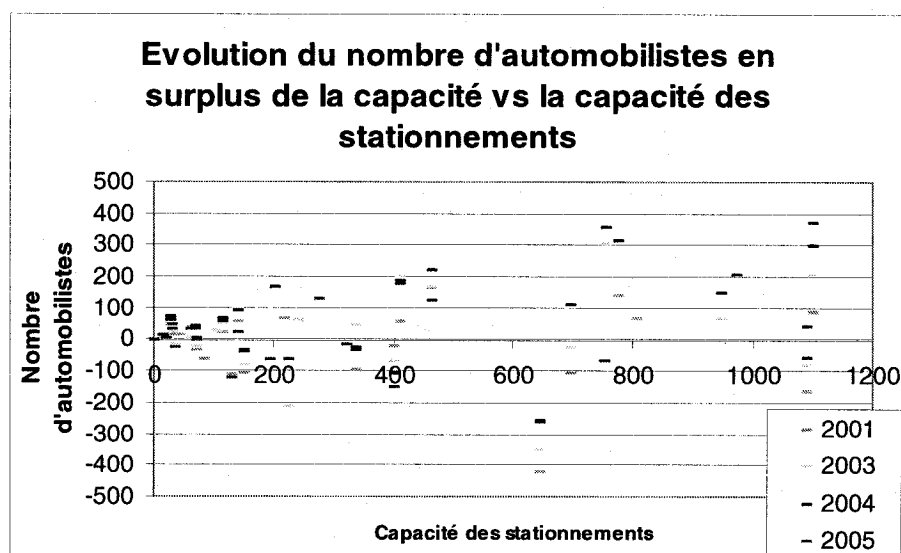


Figure 4-39 : Nombre absolu d'automobilistes en surplus de la capacité des stationnements sur les deux lignes de train en fonction de la capacité.

On note tout de même une baisse du taux d'occupation avec l'éloignement de l'alternative choisie (Figure 4-40). Il semblerait donc que ce facteur soit tout de même pris en compte par certains automobilistes. Cela aurait du sens pour expliquer l'attitude des automobilistes de Rigaud ne choisissant pas l'une des deux alternatives les plus proches de leur domicile. En effet, ces automobilistes partent

plus tard en moyenne que ceux choisissant l'alternative 1 ou 2 (Figure 4-41). On peut donc supposer qu'ils vont plus loin pour trouver des stationnements non saturés et être certains de pouvoir se garer. Ce n'est pas le cas sur la ligne Deux-Montagnes. Il faut dire que tous les stationnements incitatifs ou presque de la ligne Deux-Montagnes sont saturés, par conséquent le choix est moins grand.

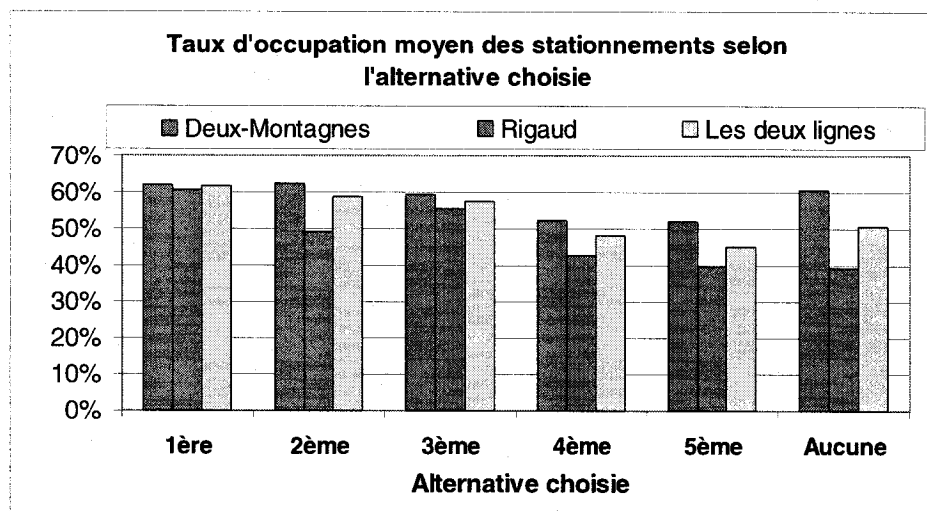


Figure 4-40: Évolution du taux d'occupation moyen sur les deux lignes en fonction de l'alternative choisie

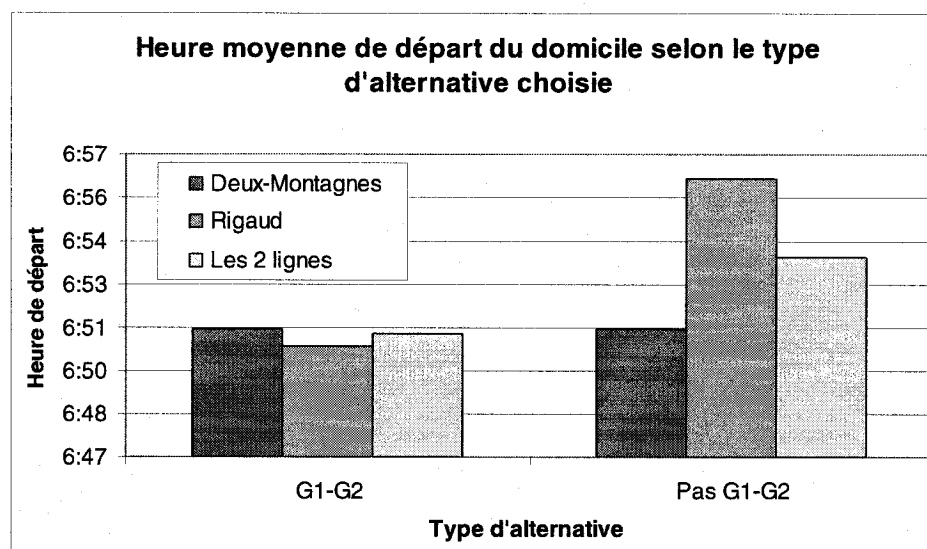


Figure 4-41 : Heure moyenne de départ du domicile selon l'alternative choisie en 2005

4.2.3.4. Le temps de marche moyen

Le temps de marche moyen, étant lié au taux d'occupation et à la forme du stationnement, diminue également avec l'éloignement de l'alternative sur Deux-Montagnes mais pas sur Rigaud (Figure 4-42).

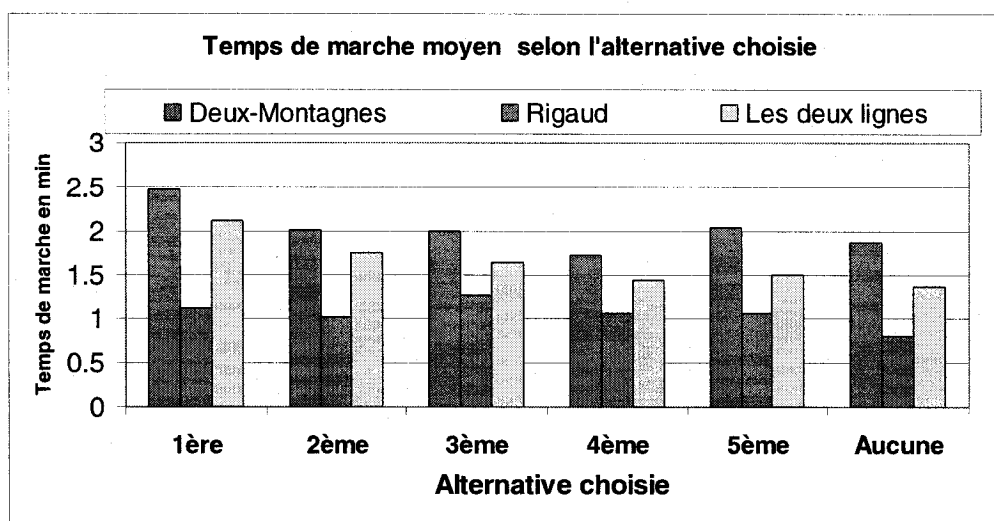


Figure 4-42 : Temps de marche moyen en 2005 sur les deux lignes en fonction de l'alternative choisie.

Le temps de marche moyen est plus élevé de presque une minute sur Deux-Montagnes car les stationnements sont plus importants. Cependant, il reste globalement assez faible (un peu moins de 2 minutes en 2005 pour les deux lignes).

4.2.3.5. Le tarif du train

Il se peut que le tarif importe et que les automobilistes cherchent à embarquer dans une station des zones tarifaires inférieures. En 2005, environ 15% des automobilistes embarquent dans une zone tarifaire inférieure à celle de leur domicile⁷ (Figure 4-43). Cette tendance est bien plus développée sur la ligne de Rigaud que sur celle de Deux-Montagnes (25% versus 11% des automobilistes de

⁷ La zone de domicile a été imputée comme étant la zone de l'alternative la plus proche du domicile. Il était en effet difficile d'estimer la zone du domicile en fonction de l'adresse du domicile. De plus, les temps d'accès étant très courts pour la plupart, les erreurs causées par cette imputation sont minimales.

chaque ligne). Seulement 5% embarquent dans des zones supérieures à celles de leur domicile et cette part diminue au cours des années. Cependant, les automobilistes de la ligne Deux-Montagnes en particulier n'hésitent pas à embarquer dans des zones tarifaires plus chères. Le tarif ne semble donc pas pour ces personnes un paramètre de choix de la station d'embarquement. Cette tendance est en nette régression de 2004 à 2005, mais il serait intéressant d'examiner cette question plus en profondeur pour déterminer les motivations et les raisons de ces automobilistes. Nous n'avons pu le faire dans ce document.

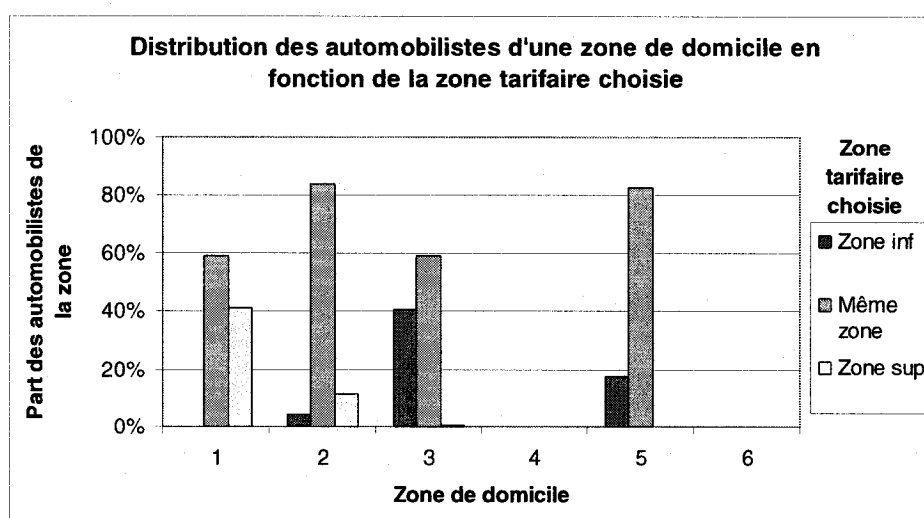


Figure 4-43 : Part des automobilistes par zone de domicile selon la zone tarifaire d'embarquement choisie en 2005.

83% des automobilistes qui choisissent une station située dans une zone inférieure à celle de leur domicile, choisissent une station éloignée du domicile (autrement dit, pas l'une des deux stations les plus proches du domicile). Parmi ces automobilistes, ce sont surtout des personnes résidant dans les zones 3 et plus (Figure 4-44) qui embarquent dans des stations situées dans des zones inférieures à leur domicile. En revanche, parmi les personnes choisissant la 2^{ème} alternative, celles qui recherchent des tarifs inférieurs résident dans les zones 4 et 6 mais très peu dans les zones 3 et 5.

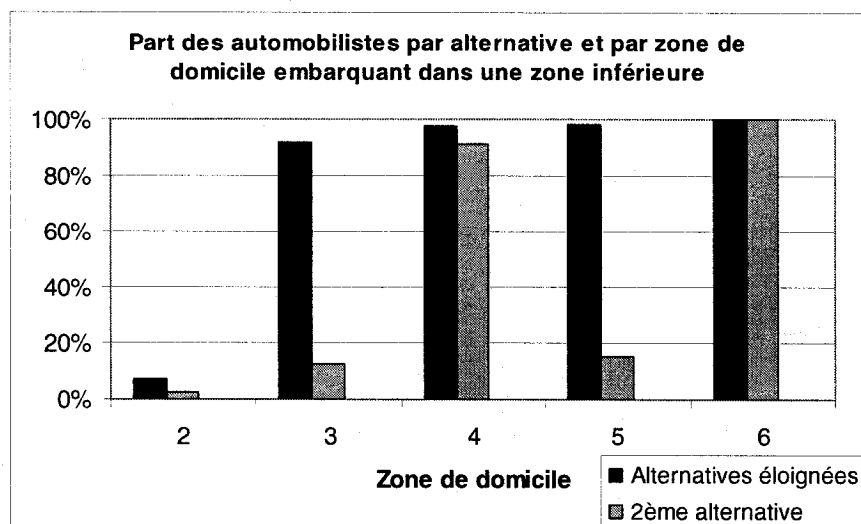


Figure 4-44 : Part des automobilistes choisissant une gare située dans une zone inférieure à celle de leur domicile en fonction de l'alternative choisie (2005)

De plus, la plupart des automobilistes montent dans des stations situées dans les zones tarifaires immédiatement inférieures à leur zone de domicile (en rouge sur la Figure 4-45). La plupart des automobilistes choisissant une station d'une zone tarifaire inférieure ne diminuent leur temps d'accès que de 5 minutes au plus. Une minorité de ces automobilistes recherchent des tarifs vraiment inférieurs et augmentent leur temps d'accès de 10-15 minutes voire 15-20 minutes.

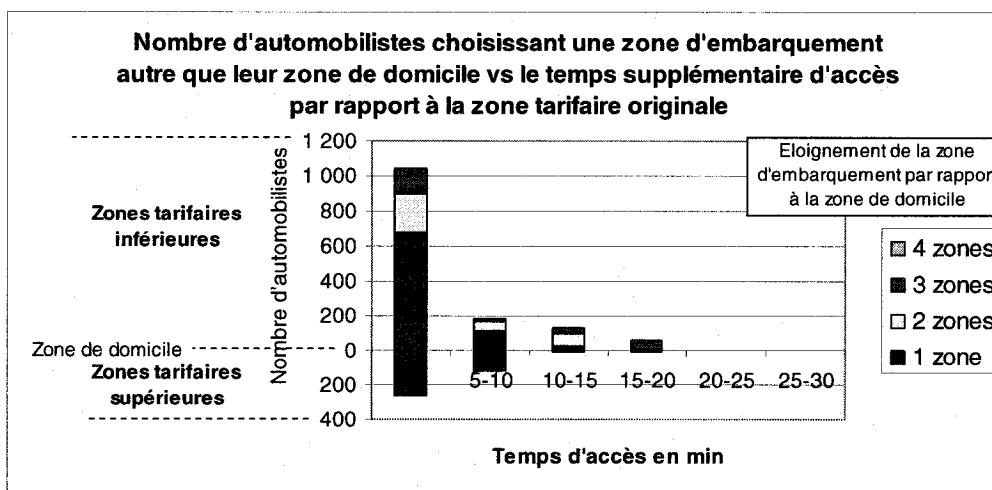


Figure 4-45 : Nombre d'automobilistes en 2005 choisissant une zone d'embarquant autre que leur zone de domicile en fonction du temps supplémentaire d'accès par rapport à la zone tarifaire originale.

De plus, de 2004 à 2005, quelques variations dans les fréquentations des gares de Rigaud peuvent peut-être être imputées au changement tarifaire qui a eu lieu. Par exemple, les gares de Beaconsfield, Baie-d'Urfé ou encore Dorion ont connu une baisse importante de leur clientèle de bimodaux entre 2004 et 2005 alors que la fréquentation était globalement en hausse de 2001 à 2004 (Figure 4-46). Cependant, la fréquentation des gares de Rigaud a tendance à fluctuer d'une année à l'autre. De plus, d'autres gares, malgré leur passage dans la zone tarifaire supérieure, voient tout de même augmenter leur nombre d'automobilistes de 2004 à 2005. C'est le cas de Beaurepaire, Pincourt ou encore Vaudreuil. Il semble globalement que les automobilistes aient gardé leurs habitudes et se rendent, en 2005, toujours à la même gare malgré le changement tarifaire.

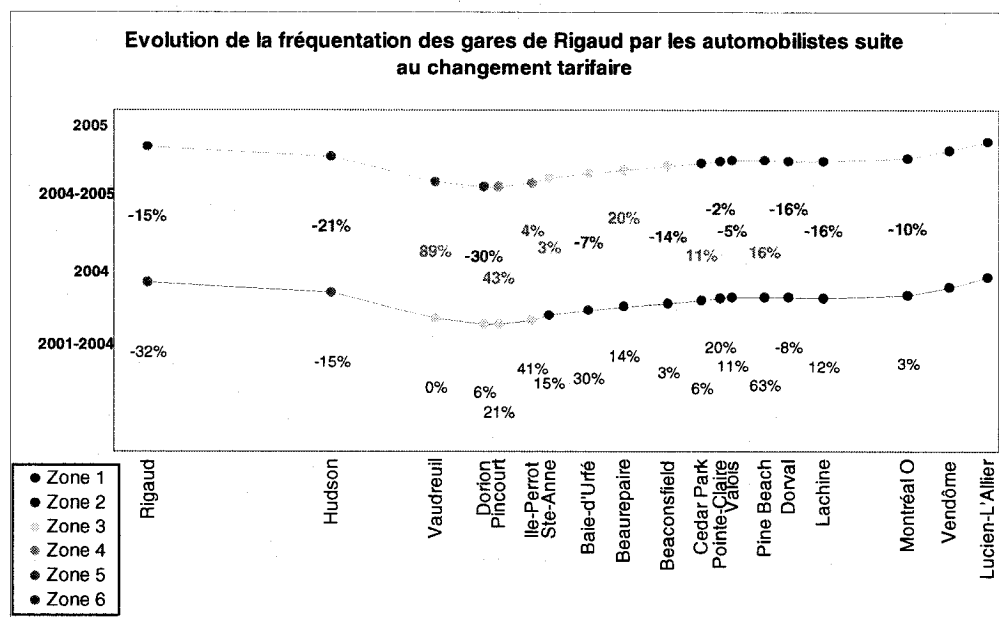


Figure 4-46 : Évolution du nombre de bimodaux de type « park-and-ride » montant à chaque station de Rigaud entre 2004 et 2005.

Chapitre 5. Expérimentations, résultats et discussion

Pour une première expérimentation sur le sujet, il s'agit d'examiner si les données des enquêtes à bord, directes ou induites, sont pertinentes pour modéliser le choix de la station de train. Les expérimentations effectuées dans cette partie constituent des premiers essais sur le sujet. Suite à l'analyse descriptive et aux résultats statistiques de la régression logistique, certaines variables ont été retenues pour expliquer le choix de la station de train. Ces variables sont exposées et les résultats du modèle sont détaillés dans une première partie. Au vu de ces résultats, une discussion sera menée afin d'émettre des pistes de recherche éventuelles pour l'amélioration d'un modèle de choix de la station de train.

5.1. Choix du modèle pour l'ensemble des automobilistes

Il existe plusieurs variables pour décrire le choix de la station de train. Les données des enquêtes à bord permettent d'en obtenir un certain nombre. Pour cette étude, sept variables ont été examinées (Tableau 5-1). Mais il aurait été possible d'en considérer davantage, à l'exemple du temps d'accès à destination, de la capacité résiduelle des stationnements incitatifs ou du temps d'attente.

Tableau 5-1 : Variables retenues pour modéliser le choix de la station d'embarquement

Variables	Explications
TA	Temps d'accès en auto (min)
Ttrain	Temps de trajet en train (min)
Capac	Capacité du stationnement incitatif
Tocc	Taux d'occupation du stationnement
Tmar	Temps de marche à l'intérieur du stationnement
Dispoplass	Disponibilité des places dans le train
Tarif	Tarif du voyage en train

Cependant, certaines de ces variables sont corrélées entre elles (Tableau 5-2). C'est le cas du temps en train, du tarif et de la disponibilité des places, du temps de marche et de la capacité des stationnements, ainsi que, dans une moindre mesure, du taux d'occupation et du temps de marche, du taux d'occupation et de la disponibilité des places.

Tableau 5-2 : Étude de corrélation entre les variables

	TA	TTRAIN	TAUXOCC	CAPAC	TMAR	TARIF	DISPOPLASS	TA/TTRAIN
TA	100%							
TTRAIN	-10%	100%						
TAUXOCC	-11%	17%	100%					
CAPAC	6%	-14%	-8%	100%				
TMAR	1%	-15%	24%	57%	100%			
TARIF	-2%	77%	6%	10%	2%	100%		
DISPOPLASS	-12%	75%	27%	-20%	-6%	57%	100%	
TA/TTRAIN	82%	-41%	-19%	1%	1%	-29%	-32%	100%

Or un modèle ne peut pas être constitué de variables corrélées. Par conséquent, pour choisir le modèle de choix de la station d'embarquement, les variables corrélées ont tout d'abord été séparées. Ensuite, au moins trois variables renvoyant d'une part au temps d'accès (TA ou TA/Ttrain), d'autre part à la caractérisation du stationnement incitatif (Capac, Tocc, Tmar) et enfin au trajet en train (Ttrain, Tarif, Dispoplass) doivent être présentes dans le modèle.

Tableau 5-3 : Résultats statistiques principaux de huit modèles différents de choix de la station d'embarquement.

Modèle	Variables	R ²	Significativité des coefficients	Pb de signe des coeff
1	TA, Tmar, Tarif	0.17	Tous significatifs à moins de 5%	Coeff(Tmar)>0
2	TA/Ttrain, Tmar, Tarif	0.09	Tous significatifs à moins de 5%	Coeff(Tmar)>0
3	TA, Capac, Tarif	0.27	Tous significatifs à moins de 5%	OK
4	TA, Tocc, Tarif	0.15	Tous significatifs à moins de 5%	OK
5	TA, Capac, Tocc, Tarif	0.27	Tous significatifs à moins de 5%	OK
6	TA/Ttrain, Capac, Tocc, Tarif	0.19	Tous significatifs à moins de 5%	OK
7	TA, Capac, Tocc, Ttrain	0.29	Tous significatifs à moins de 5%	OK
8	TA, Capac, Tocc, Dispoplass	0.28	Tous significatifs à moins de 5%	OK
9	TA	0.15	Significatif à moins de 5%	OK

D'après le tableau 5-3, le meilleur modèle semble être le modèle 5. En effet, les quatre variables ont des coefficients significatifs. Les 4 variables ne sont pas corrélées entre elles (contrairement au modèle 8 par exemple). Les signes des coefficients sont cohérents avec les observations. De plus, le taux d'occupation semblait jouer un rôle dans l'analyse descriptive, c'est pourquoi le modèle 5 est préféré au modèle 3. En revanche, la disponibilité des places n'a pas paru importante dans l'analyse et le modèle 8 a donc été écarté.

Le tableau 5-4 présente les résultats statistiques liés aux coefficients des quatre paramètres retenus.

Tableau 5-4 : Résultats statistiques portant sur les coefficients des variables du modèle 5

choix	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
ta	-0.3218539	0.0074271	-43.34	0	-0.3364106 -0.3072971
capac	0.0022217	0.0000442	50.29	0	0.0021351 0.0023083
tauxocc	-0.1662131	0.0362738	-4.58	0	-0.2373084 -0.0951177
tarif	-0.3362253	0.0266766	-12.6	0	-0.3885105 -0.2839402

Les signes des coefficients indiquent alors que :

- Plus le temps d'accès à une station augmente et moins les automobilistes se rendent à la station.
- Plus la capacité des stationnements incitatifs est importante et plus les automobilistes s'y rendent.
- Plus le taux d'occupation d'un stationnement est élevé et moins les automobilistes se rendent à la station.
- Plus le tarif augmente et moins les automobilistes choisissent la station.

Ces tendances sont de plus en accord avec l'analyse faite dans la partie précédente. En particulier, le tarif a paru plus pertinent que le temps de trajet en train. Enfin, les résultats statistiques globaux portant sur le modèle sont bons (Tableau 5-5). En particulier, le R^2 est relativement bon pour une régression logistique (proche de 0.30). Le script du programme est disponible en annexe 4.

Tableau 5-5: Résultats statistiques globaux

Nombre d'obs	31825
LR chi2(4)	7752.69
Prob > chi2	0
Pseudo R2	0.2723
Log likelihood	-10357.655

5.2. Résultat du modèle

La qualité des résultats du modèle peut être jugée d'une part, par le taux de bonnes prédictions du modèle, et d'autre part, par la représentation fidèle de la réalité concernant l'effet des différents paramètres sur le choix de la station.

5.2.1. Taux de bonnes prédictions

Le modèle ainsi décrit, donne environ 55% de bonnes prédictions, c'est-à-dire que pour 55% des automobilistes, la gare estimée est la gare réellement choisie. Il est à noter qu'également 55% des automobilistes choisissent de se rendre à la gare la plus proche et que, par conséquent, modéliser l'accès à la gare la plus proche du domicile pour chaque automobiliste donnerait le même pourcentage de réussite. Cependant, ces deux modèles donnent des résultats différents pour certains automobilistes. Il s'agit donc de regarder plus en détail les résultats du modèle 5 retenu.

Ce modèle prévoit près de 90% d'automobilistes se rendant à l'une des deux stations les plus proches de leur domicile alors que l'enquête en donnait environ 77% (Tableau 5-6). En particulier, le modèle surestime le nombre d'automobilistes choisissant l'alternative 2. Le modèle ne prédit jamais l'accès à une alternative autre que les cinq alternatives les plus proches. Les personnes n'ayant donc pas choisi l'une des cinq stations les plus proches de leur domicile sont donc mal prédites.

Tableau 5-6 : Pourcentage d'automobilistes observé et estimé selon l'alternative choisie

Alternatives	Observé	Estimé
1ère	54.6%	53.4%
2ème	22.7%	35.1%
3ème	5.6%	5.7%
4ème	6.0%	5.2%
5ème	3.3%	0.6%

De façon générale, les probabilités que les automobilistes choisissent l'alternative 1 ou 2 sont beaucoup plus fortes. Il y a seulement 10% des automobilistes qui ont 0% de chance de choisir l'alternative 1 d'après le modèle (Figure 5-1). En revanche, il y a 50% des automobilistes qui ont 0% de probabilité de choisir l'alternative 3, 60% l'alternative 4, 75% l'alternative 5 et 80% une alternative encore plus éloignée.

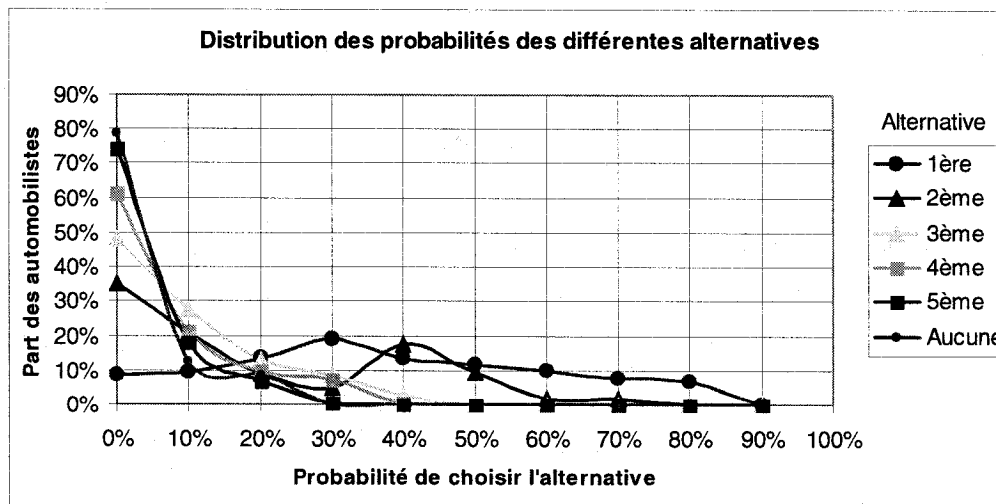


Figure 5-1 : Distribution des probabilités des différentes alternatives pour l'ensemble des automobilistes.

Une majorité des automobilistes choisissant l'une des deux premières alternatives est bien prédite par le modèle. Le modèle est de moins en moins exact à mesure que les alternatives observées sont éloignées. Il en prédit toujours une majorité choisissant une des deux alternatives les plus proches du domicile (Figure 5-2). Les personnes choisissant des alternatives plus éloignées sont donc assez mal prédites. Néanmoins, il reste qu'une majorité des automobilistes mal prédits par le modèle ont choisi l'alternative 1. Ils représentent en effet presque 40% des automobilistes mal prédits.

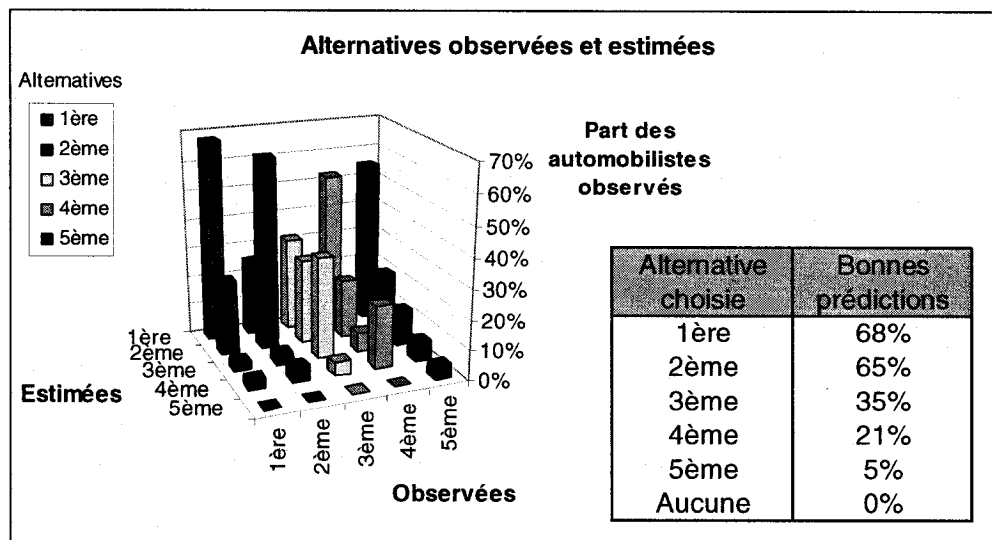


Figure 5-2 : Prédiction des alternatives en fonction des alternatives observées.

5.2.2. Effet des différents paramètres sur le choix de la station

Il est question ici de mesurer la cohérence entre les résultats du modèle et ce qu'on sait de la réalité. Pour cela, on cherche à estimer l'impact ou l'effet qu'ont les différentes composantes du modèle (temps d'accès, capacité des stationnements, taux d'occupation des stationnements et tarif du train) sur le choix de la station de train. Cet effet est mesuré par la valeur de l'utilité ou la valeur absolue de la désutilité de ces paramètres. Pour comparer l'effet de deux variables, les valeurs absolues de leurs (dés)utilités sont comparées. Par exemple, l'accès en automobile a un effet plus important que la capacité des stationnements lorsque la valeur absolue de la désutilité apportée par le temps d'accès est supérieure à l'utilité apportée par la capacité des stationnements. Le tableau 5-7 donne la valeur des utilités (ou désutilités) pour la situation observée d'après les enquêtes et pour la situation modélisée. La valeur absolue de la désutilité du temps d'accès obtenue par le modèle est bien supérieure à la valeur de l'utilité des autres paramètres du trajet estimé. Par conséquent, d'après le modèle, le temps d'accès est l'effet majeur intervenant dans le choix de la station d'embarquement. C'est également ce qu'on a constaté lors de l'analyse descriptive. En revanche, l'utilité de la capacité des stationnements est nettement supérieure pour les trajets modélisés que celle pour les

trajets observés. Il semble que le modèle surestime l'attrait des grands parcs de stationnements. Ceci pourrait expliquer la mauvaise prédiction générale des personnes choisissant les alternatives plus éloignées, puisque ces personnes ne semblaient pas plus particulièrement attirées par les stationnements importants (4.2.3.2). Les valeurs de la désutilité du tarif et du taux d'occupation des stationnements sont comparables pour le trajet observé et pour le trajet estimé.

Tableau 5-7 : Comparaison des valeurs moyennes et des désutilités de chaque variable

	Coefficients	Trajet observé		Trajet estimé	
		Valeur moyenne	Désutilité	Valeur moyenne	Désutilité
Temps d'accès en auto (min)	-0.322	7.71	-2.482	6.96	-2.239
Capacité des stationnements	0.002	685	1.521	815	1.811
Taux d'occupation	-0.166	0.58	-0.097	0.60	-0.100
Tarif (\$ par jour)	-0.336	4.64	-1.560	4.82	-1.622

La valeur moyenne de la capacité des stationnements donnée par le modèle est très élevée. Elle est en particulier supérieure à la capacité maximale sur la ligne Rigaud (qui est de 645 places pour la station de Pointe-Claire). On peut donc se demander si ce modèle représente bien les deux lignes, d'autant plus que l'analyse a montré que les deux lignes n'ont pas des comportements identiques.

5.3. Segmentation par lignes

Le modèle traitant les deux lignes ensemble est assez précis en ce qui concerne le choix global de la ligne. En effet, conformément à ce qui est observé, 70% des automobilistes choisissent la ligne Deux-Montagnes et 30% la ligne Rigaud. Pour 4% des automobilistes tout de même, le modèle prédit le choix d'une des deux lignes alors que c'est l'autre ligne qui a été effectivement choisie (Tableau 5-8). Parmi les automobilistes mal prédits au niveau de la ligne, une majorité embarquent sur la ligne de Deux-Montagnes plutôt que sur la ligne de Rigaud. Cependant, la majorité des automobilistes prenant le train de la ligne Deux-Montagnes sont bien affectés dans leur gare d'embarquement, ce qui n'est pas le cas de la majorité des automobilistes de la ligne Rigaud (57% de mauvaises prédictions sur la ligne Rigaud).

Tableau 5-8 : Matrice des déplacements selon les lignes observées vs déplacements selon les lignes simulées

	Nombre d'automobilistes (%)	Lignes simulées		Total
		DM	RI	
Lignes observées	DM	6017 69%	174 2%	6191
	RI	167 2%	2417 28%	2584
	Total	6183	2591	8775

Le modèle ne prend donc pas bien en compte le choix de la station pour les automobilistes de la ligne Rigaud. L'idée est donc de calibrer le modèle pour chaque ligne prise séparément. La ligne Deux-Montagnes obtient de bons résultats même si, encore une fois, le gain de ce modèle par rapport à un modèle prédisant l'accès de tous les automobilistes à la gare la plus proche n'est pas évident. On constate que le modèle prédit 61% des choix observés alors que 58% des automobilistes de Deux-Montagnes se rendent à la gare la plus proche. Cependant, pour la ligne Rigaud, ce type de modèle n'est absolument pas concluant. Le R^2 est bien trop faible (0.08) et le taux de bonnes prédictions chute à 32%. Un modèle prédisant l'accès à la station la plus proche est beaucoup plus valable puisqu'il donne 48% de bonnes prédictions. Les résultats de ces deux modèles relatifs aux coefficients sont disponibles en annexe 5.

5.4. Discussion

Il s'agit de comprendre pourquoi les résultats du modèle ne sont pas aussi bons que ceux attendus. Une séparation des deux lignes semblent certes s'imposer mais au-delà de cela, qu'est-ce que surestime ou sous-estime le modèle ? Pourquoi 40% des automobilistes choisissant l'alternative 1 sont-ils mal affectés ? Il manque certainement dans ce modèle une ou plusieurs variables, mesurables ou non. La première partie traitera donc des effets des différents paramètres sur l'utilité du choix de la station et en particulier de la surestimation de la capacité des stationnements, tandis que la deuxième partie de la discussion visera à identifier

l'ensemble des automobilistes ayant été mal affectés par ce modèle afin de constater s'ils ont des points en commun qui justifierait leur mauvaise prédiction.

5.4.1. L'importance de la capacité des stationnements surestimée

Le modèle prédit que les automobilistes se rendent exclusivement aux gares ayant les stationnements incitatifs les plus importants. Le modèle est, en ces termes, extrêmement réducteur. Sur la ligne Deux-Montagnes en particulier, tous les automobilistes embarquant se rendent à l'une des quatre gares suivantes : Deux-Montagnes, Sainte-Dorothée, Roxboro-Pierrefonds et Du Ruisseau, soit les quatre gares ayant les stationnements incitatifs les plus importants de la ligne. De même, les stationnements les plus importants sur la ligne Rigaud sont largement les plus fréquentés d'après le modèle.

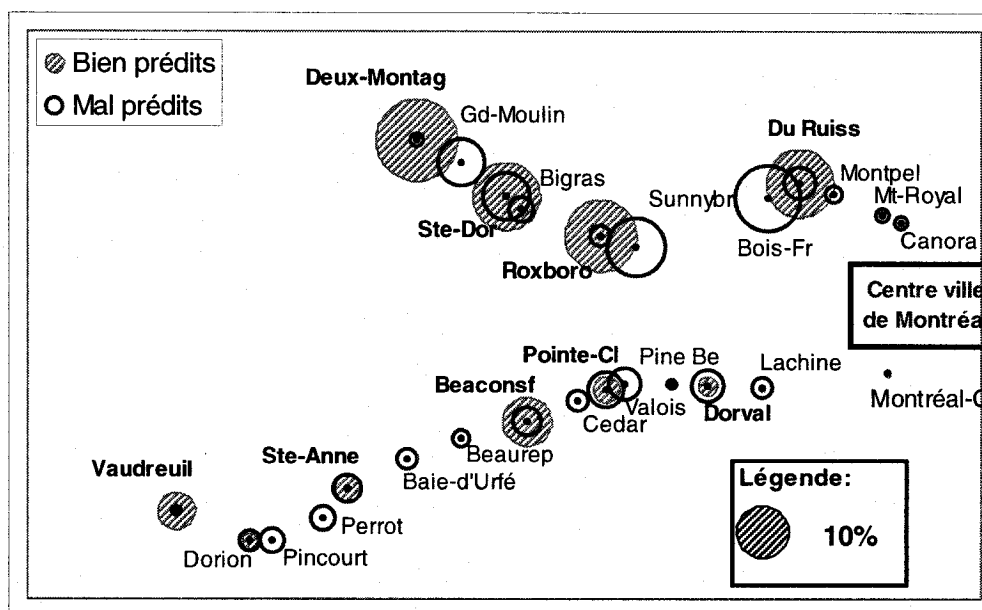


Figure 5-3 : Répartition spatiale en pourcentage de l'ensemble des automobilistes bien prédits et de l'ensemble des automobilistes mal prédits.

Les automobilistes mal affectés ne sont pas forcément envoyés par le modèle dans des stations plus proches du centre ville de Montréal. Environ 16% sont envoyés dans des stations plus proches mais en revanche, presque le double (29%) est

envoyé dans des stations plus éloignées. Les stations peuvent être classées en fonction de la position des stations d'affectation du modèle.

Tableau 5-9 : Classement des gares selon la position des gares d'affectation du modèle

	SITUATION SIMULEE	
	Ligne Rigaud	Ligne Deux-Montagnes
Stations où la majorité des automobilistes a été envoyée dans des gares plus proches du centre ville	Pincourt Île-Perrot Beaurepaire Cedar-Park	Bois-Franc
Stations où la majorité ou la totalité des automobilistes a bien été affectée	Rigaud Hudson Vaudreuil Beaconsfield Montréal-Ouest	Deux-Montagnes Ste-Dorothée Roxboro Du Ruisseau
Stations où la majorité des automobilistes a été envoyée dans des gares plus éloignées du centre ville	Dorion Baie-d'Urfé Pointe-Claire Valois Pine Beach Dorval Lachine	Grand-Moulin Île-Bigras Sunnybrooke Montpellier Mont-Royal Canora
Station mitigée	Ste-Anne	

On constate que les automobilistes de la ligne Deux-Montagnes choisissant l'une des quatre gares du modèle (Deux-Montagnes, Ste-Dorothée, Roxboro-Pirrefonds et Du Ruisseau) sont pratiquement tous bien affectés (respectivement 97%, 70%, 90% et 80% de bonnes prévisions). Ainsi les gares à vocation plus régionale sont bien prises en compte par le modèle. En revanche, les automobilistes embarquant aux sept autres stations de la ligne sont mal modélisés. Bois-Franc et Sunnybrooke sont d'ailleurs les deux gares (les deux lignes comprises) comptant le nombre le plus important d'automobilistes mal modélisés. Sur la ligne Rigaud, le nombre de stations disponibles d'après le modèle est plus important. Mais les automobilistes montant à l'île-Perrot, à Baie-d'Urfé, à Cedar-Park, à Valois ou à Pine Beach, qui sont toutes des stations locales, sont tous envoyés ailleurs. Ceux de Rigaud et de Hudson sont par contre parfaitement reproduits. Pour les autres gares, excepté Vaudreuil et Beaconsfield peut-être, le taux de réussite n'est pas aussi bon que pour les quatre gares de Deux-Montagnes, à l'exemple des gares de Ste-Anne-de-Bellevue (Figure 5-4) ou de Pointe-Claire. Il semblerait que moins la capacité des

stations est importante, moins le modèle reproduit correctement le choix des automobilistes de ces stations. Ainsi, la capacité des stationnements est un facteur surestimé par le modèle. De plus, le modèle ne prend pas en compte les incompatibilités entre la gare et l'heure de départ. En effet, certains automobilistes ayant choisi la gare de Ste-Anne-de-Bellevue, sont envoyés aux gares de Rigaud et de Hudson alors qu'un train seulement passe par ces gares.

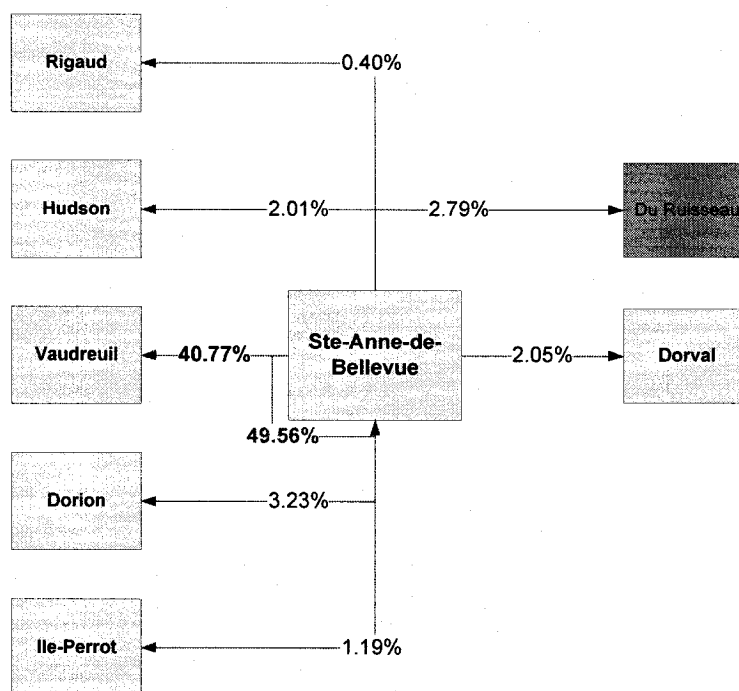


Figure 5-4 : Répartition des affectations du modèle des automobilistes ayant choisi la gare de Ste-Anne-de-Bellevue

Une analyse d'un échantillon de 30 personnes sélectionnées de façon assez homogène parmi les automobilistes mal représentés (annexe 6), permet de confirmer l'importance donnée à la capacité du stationnement par le modèle. Pour ces personnes, l'effet de la capacité dépasse celui du temps d'accès dans le choix estimé, alors que, d'après le choix observé, le temps d'accès devrait être largement prioritaire. En effet, lorsqu'on compare le nombre de cas de l'échantillon où l'effet de la capacité dépasse celui du temps d'accès, on constate une différence importante entre la situation observée et la situation simulée. Le modèle privilégie dans le choix de la station de train la capacité dans 50% des cas.

Tableau 5-10 : Effet des différents paramètres du modèle dans le choix observé et dans le choix estimé

	Importance dans le choix	
	<i>Choix observé</i>	<i>Choix estimé</i>
CAPAC	11.16%	47.95%
TA	88.84%	36.63%
TARIF	0.00%	15.42%

Pour cet échantillon, la différence relative entre les utilités du choix observé et du choix estimé (en prenant toujours les coefficients du modèle) est parfois assez importante, ce qui indique que le modèle est loin de représenter les choix observés d'une bonne partie de ces automobilistes.

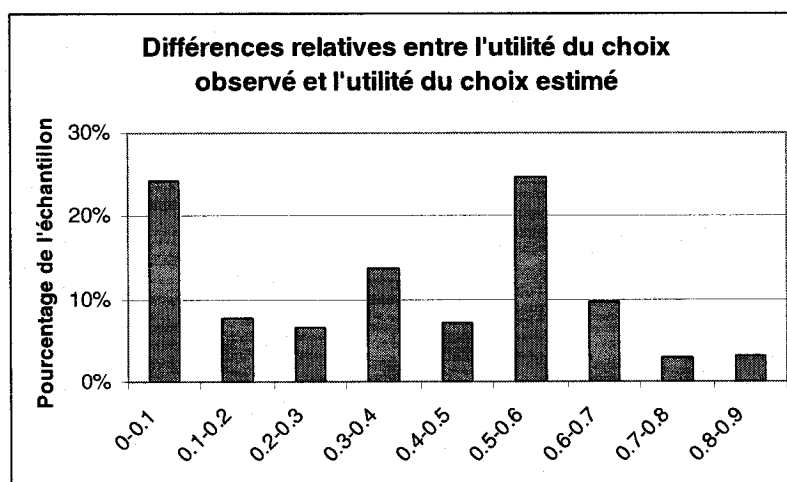


Figure 5-5 : Différence relative entre l'utilité du choix observé et l'utilité du choix estimé pour l'échantillon de 30 personnes retenus.

La capacité des stationnements est donc nettement surestimée. Le modèle affecte d'ailleurs un nombre d'automobilistes supérieur à la capacité du stationnement.

Tableau 5-11 : Dépassement de capacité de certaines stations suite à l'affectation du modèle

Alternative du modèle	Capacité	Nombre d'automobilistes estimés
Rigaud	130	8
Hudson	36	20
Vaudreuil	321	521
Dorion	140	90
Pincourt	193	8
Ste-Anne	336	517
Beaurepaire	30	3
Beaconsfield	465	697
Pointe-Claire	645	542
Dorval	402	127
Lachine	0	14
Montréal-O	20	44
Deux-Montagnes	1100	1824
Ste-Dorothée	973	934
Roxboro	776	1606
Du Ruisseau	1090	1819
Canora	0	1

Bien que le modèle soit calibré sur des données observées, la limite de capacité n'est pas respectée. Faut-il ajouter une contrainte de capacité comme le font certains modèles d'affectation ? Le problème semble consister dans le fait que les personnes n'allant pas aux gares majeures (qui sont globalement les gares retenues par le modèle) ne représentent qu'une minorité (moins de 30%) des automobilistes. Par conséquent, le modèle est calibré essentiellement en fonction des autres automobilistes. C'est pourquoi la capacité prend une place aussi importante. Peut-être faudrait-il alors ajouter un facteur dans la fonction d'utilité qui permette d'augmenter artificiellement l'utilité calculée pour les plus petites stations. L'autre solution serait aussi d'attribuer un poids plus important aux automobilistes se rendant aux petites stations. Au vu des résultats, il est indéniable qu'une variable manque dans l'estimation de ce modèle. Comme cela vient d'être suggéré, ce peut être une variable liée au rôle des gares, mais il existe bien d'autres types de variables susceptibles d'intervenir dans le choix de la station. C'est pourquoi, il paraît intéressant de regarder plus en détail les automobilistes mal prédits et de constater s'il existe des différences remarquables entre eux et les automobilistes bien prédits par le modèle.

5.4.2. Les automobilistes mal prédits

La, ou les, variable(s) qui fait (font) défaut, peut (peuvent) être de différents ordres. Est-ce une variable spatiale, une variable relative aux individus, une variable temporelle ou est-ce un effet non mesurable?

5.4.2.1. Les variables spatiales

La grande majorité des automobilistes résidant en zone 1, 4 et 6 sont mal prédits par le modèle (respectivement 68%, 72% et 58%). Les automobilistes de la zone 2 sont mal prédits à 50%. Ceux des zones 3 et 5 sont en revanche plutôt bien prédits. Une segmentation des données par zone de domicile (à condition que le nombre d'automobilistes soit encore significatif) pourrait peut-être permettre d'obtenir de meilleurs résultats.

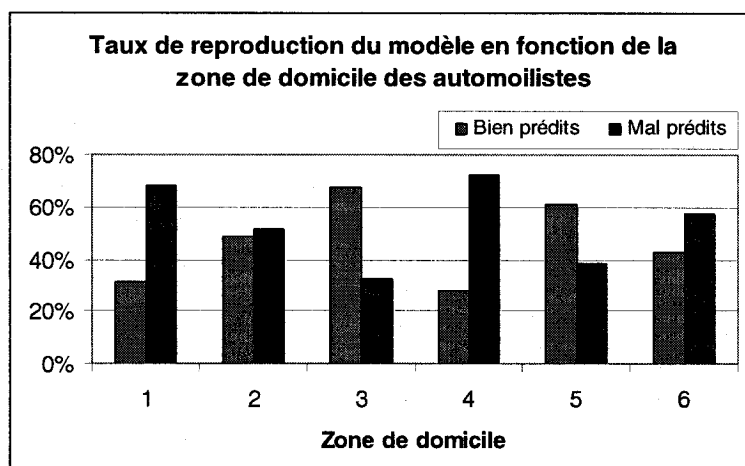


Figure 5-6 : Taux de reproduction et de non-reproduction du modèle par zone de domicile des automobilistes.

5.4.2.2. Les variables relatives aux individus

La valeur des prédictions du modèle ne varie pas avec l'âge et le sexe. On a toujours environ 55% d'automobilistes bien prédits et 45% d'automobilistes mal prédits. Seule la classe des hommes âgés de 35 à 40 ans ont sensiblement le même taux de bonnes et de mauvaises prédictions. Le statut et le nombre d'autos dans le ménage n'influent pas non plus sur l'estimation du modèle.

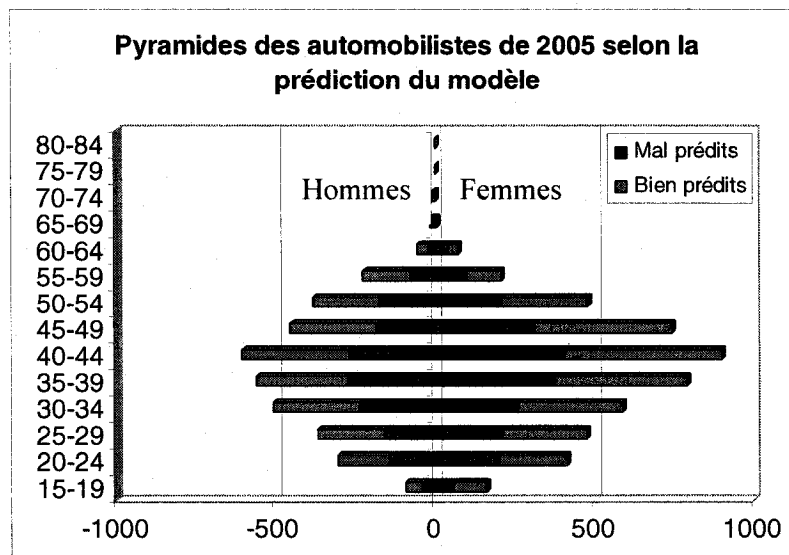


Figure 5-7 : Courbe socio-démographique sexuée et segmentée des automobilistes de 2005 selon la valeur de prédiction du modèle.

Les variables individuelles citées ne sont donc pas les sources d'erreurs du modèle. Cependant, les données disponibles comprennent peu de variables de ce type. Ainsi, la taille du ménage, la situation familiale, la profession ou encore le niveau de revenu pourraient constituer des variables susceptibles d'influencer le choix de la station de train et donc, d'intervenir dans la fonction d'utilité.

5.4.2.3. Les variables temporelles

Les automobilistes mal prédits par le modèle partent plus tard en moyenne de leur domicile (Figure 5-8). Logiquement l'heure de départ de leur train est également plus tardive (Figure 5-9). De façon générale, plus le train part tard et plus le taux de bonnes prédictions est faible. En effet, pour tous les trains partant après 7h30, il y a au moins autant, voire plus, de mauvaises prédictions que de bonnes.

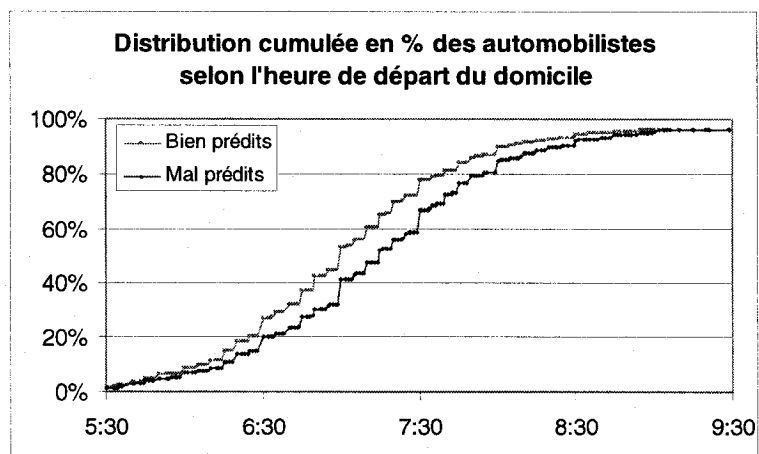


Figure 5-8 : Distribution cumulée en pourcentage des automobilistes de 2005 selon la valeur de prédiction du modèle, en fonction de l'heure de départ du domicile.

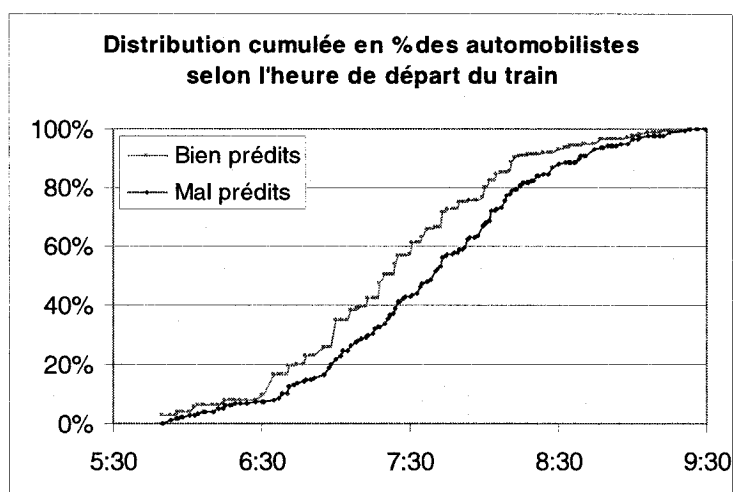


Figure 5-9 : Distribution cumulée en pourcentage des automobilistes de 2005 selon la valeur de prédiction du modèle, en fonction de l'heure de départ du train.

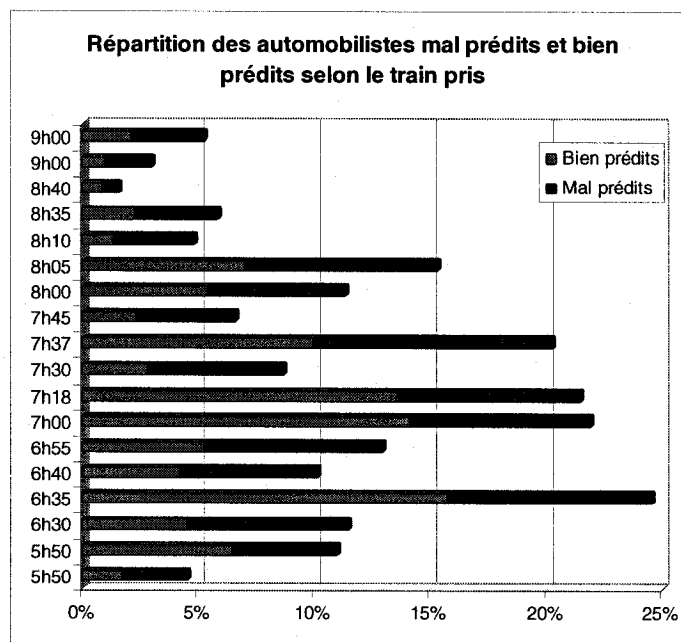


Figure 5-10 : Répartition en pourcentage des automobilistes de 2005 selon la valeur de prédiction du modèle, en fonction du train pris.

Il serait donc utile d'ajouter une variable temporelle dans la fonction d'utilité. En outre, on remarque que les trains les plus achalandés ont les taux de réussite les plus importants. Il pourrait donc être intéressant d'introduire également une variable donnant l'ordre de grandeur du nombre de personnes transportées par train.

Il serait intéressant de mener ces différentes pistes à terme. Cependant, il est également envisageable de remettre en cause les hypothèses faites au début de cette recherche, comme le calcul du temps d'accès ou la non-considération du temps d'attente. On ne tient en effet pas compte d'une offre de service différenciée entre les deux lignes (9 départs pour Deux-Montagnes vs 7 départs pour Rigaud) mais aussi entre les gares d'une même ligne (7 départs pour Ste-Dorothée vs 9 départs pour Du Ruisseau). De plus, des variables supplémentaires auraient pu être ajoutées comme le temps d'accès à destination et la capacité résiduelle des stationnements. Cette dernière variable est d'ailleurs utilisée dans le modèle du MTQ. D'autres variables comme la longueur du trajet totale (séparation entre trajet longue distance et trajet courte distance) pourraient aussi être intéressantes.

Chapitre 6. Conclusion

L'enjeu de cette recherche était de mieux comprendre les critères de choix pour la station de train afin de mieux modéliser les déplacements bimodaux de type « park-and-ride ». Cette recherche atteint finalement deux objectifs et fournit un apport supplémentaire.

Tout d'abord, elle permet de mieux cerner les caractéristiques et les comportements des bimodaux de type « park-and-ride » sur les lignes de train Rigaud-Montréal et Deux-Montagnes-Montréal. Elle confirme que leur nombre a augmenté entre 2001 et 2005. Les bimodaux représentent même maintenant presque la moitié des usagers de la ligne Deux-Montagnes. Elle établit de plus un fait important : les trois quarts des bimodaux se rendent à une des deux stations de train les plus proches de leur domicile et cette tendance s'accroît encore avec les années.

Le deuxième objectif est un objectif de modélisation de ces déplacements. Certes, le modèle obtenu n'est absolument pas satisfaisant, mais il constitue un bon point de départ pour des recherches éventuelles sur le sujet. En effet, plusieurs idées sont soumises suite à l'étude du modèle et des automobilistes mal prédits. Si la méthode semble correcte, le choix des variables peut, lui, être discutable. Les quatre variables choisies sont modulables. Il n'est pas exclu notamment que le produit ou le quotient de deux variables donne de meilleurs résultats. En outre, les mauvaises prédictions peuvent être imputables à l'absence d'une ou de plusieurs variables. Pour mettre en œuvre les différentes pistes émises dans ce document, il pourrait être intéressant de travailler sur les cinq lignes de train de la grande région de Montréal. Cependant, il serait alors préférable de distinguer deux types de lignes : celles semblables à la ligne Deux-Montagnes, construites pour attirer un nombre important de voyageurs (capacité des stationnements très importante, bonne fréquence en heure de pointe du matin, ligne courte et moderne) et celles semblables à la ligne Rigaud (capacité moyenne des stationnements, ligne longue, position géographique assez enclavée).

L'apport supplémentaire de ce travail est la description des caractéristiques de chaque gare en 2005 et, en particulier, de la provenance des automobilistes

embarquant dans chaque gare. Ainsi, ce travail est exploitable dans le cadre d'études portant sur l'implantation ou l'agrandissement d'une station de train en milieu semi-urbain et urbain. Une étude complémentaire à ce travail devra sans-doute s'accompagner du détail sur le rôle local ou régional de chaque station de train.

Le thème de cette recherche suppose a priori le choix du mode « park-and-ride ». Elle n'a donc pas la prétention de modéliser le choix du mode. Elle implique au contraire que la répartition modale ait déjà eu lieu et distingue donc clairement le choix du mode et le choix de la gare. Or, certains modèles existants, comme le modèle de transfert modal du Québec, détermine la gare et le mode en même temps. Pour ce type de modèle, cette recherche peut donc permettre de valider a posteriori le choix de la gare. Pour les modèles séparant le choix du mode et le choix de la gare, une recherche un peu plus approfondie sur ce thème permettrait d'affiner, si besoin est, le choix de la station d'embarquement. Il existe donc pour l'instant plusieurs pistes pour tenter de modéliser les déplacements bimodaux. Les chercheurs exposent différentes méthodes, les gestionnaires de logiciels de modélisation offrent différents modules. Finalement, dans la pratique, lorsque ces déplacements ne sont pas ignorés, la méthode utilisée pour les modéliser est différente d'une ville à l'autre. Cependant, le nombre de déplacements bimodaux augmente d'année en année et, par conséquent, l'attente d'une bonne modélisation devient de plus en plus forte de la part des planificateurs. Il faut donc poursuivre et élargir ce type d'expérimentation pour parvenir à mieux cerner le comportement des bimodaux. Et bien que les comportements observés en Amérique du Nord ne soient sans doute pas directement transférables aux comportements des européens, ces expérimentations peuvent être ajustées au contexte voulu.

BIBLIOGRAPHIE

- AMT (2004). Présentation PowerPoint des faits saillants de l'enquête OD de 2003. Page consultée le 12 mai 2007, tirée de <http://www.cimtu.qc.ca>.
- AMT (2005). *Enquête Origine Destination 2003. La mobilité des personnes dans la région de Montréal*. Le secrétariat à l'enquête Origine Destination.
- AMT (2006). Carte du réseau des lignes de train de banlieue. Page consultée le 15 Novembre 2006, tirée de <http://www.amt.qc.ca>.
- Bielli, M., Boulmakoul, A., & Mouncif, H. (2006). Object modeling and path computation for multimodal travel systems. *European journal of operational research*, Vol. 175, pp. 1705-1730.
- Bonnel, P. (2004). *Prévoir la demande de transport*. Paris : Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées.
- Chapleau, R., Allard, B. (1992). L'ère des systèmes d'information fondés sur une analyse désagrégée pour la prise de décision en transport urbain. Exposé des communications, congrès annuel de l'Association du Transport du Canada, Québec.
- Chapleau, R., Allard, B., Morency, C., & Trépanier, M. (2002). *TRAIN: Théorie de la Relativité Analysée Interactivement... à Nouveau*. Papier présenté à la 37ème conférence de l' Association Québécoise du Transport et des Routes.
- Chapleau, R., & Morency, C. (2002). Étude de la Mobilité en complémentarité et compétitivité (E =MC2): le cas du train à Montréal. *Route & Transports*.
- Faghri, A, Lang., A., Hamad, K., & Henck, H. (2002). Integrated Knowledge-Based Geographic Information System for Determining Optimal Location of Park-and-Ride Facilities. *Journal of Urban Planning and Development*, pp. 18-41.
- Farhan, B., & Murray, A.T. (2006). Siting park-and-ride facilities using a multi-objective spatial optimization model. *Computers & Operations Research*.

- Foote, P.J. (2000). Chicago Transit Authority Weekday Park-and-Ride Users: Choice Market with Ridership Growth Potential. *Transportation Research Record*, 1735, pp. 158-168.
- Groupe Madituc. (1994). *Modèles prévisionnels de demande pour le transport de personnes basés sur une approche désagrégée. Rapport #4, Méthodologie de modélisation de la répartition modale des déplacements*, Rapport de recherche préparé pour le Service des données et modèles des systèmes de transport, MTQ.
- Groupe Madituc. (2002). *Instrumentation des systèmes d'information transport de l'AMT aux fins de soutien aux activités de planification, de financement, d'exploitation et d'information à la clientèle du réseau de transport en commun métropolitain*. Montréal : Ecole Polytechnique de Montréal.
- Hendricks, S., & Outwater, M. (1998). Demand Forecasting Model for Park-and-Ride Lots in King County, Washington. *Transportation Research Record*, 1623, pp. 80-87.
- Horner, M.W., & Groves, S. (2006). Network flow-based strategies for identifying rail park-and-ride facility locations. *Socio-Economic Planning Sciences*.
- Hull, E. (1998). Application of a Park-and-Ride Forecasting Procedure in the Greater Vancouver Transportation Model. *Papier présenté à la 13ème conférence annuelle internationale des utilisateurs de EMME/2*. Houston, Texas.
- Kuby, M., Barranda, A., & Upchurch, C. (2004). Factors influencing light-rail station boardings in the United States. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 38(Issue 3), pp. 223-247.
- Lam, W., Holyoak, N., & Lo, H.P. (2001). How park-and-ride schemes can be successful in Eastern Asia. *Journal of Urban Planning and Development*, Vol. 127, pp. 63-78.
- Lavigueur, P. (1998). *Modélisation de l'intermodalité pour les déplacements de personnes sur le territoire de la grande région de Montréal* (Projet de recherche R-003, Groupe MADITUC): Ecole Polytechnique de Montréal, Ministère des transports

- Li, Z.C., Lam, W.H.K., Wong, S.C., Zhu, D.L., & Huang, H.J. (2006). Modeling Park-and-Ride Services in a Multimodal Transport Network with Elastic Demand [Electronic Version]. *CD-ROM de la réunion annuelle au TRB 2007*.
- Lichère, V. (1999). *La modélisation des déplacements intermodaux*. Lyon : Ministère de l'équipement, du transport et du logement & la SEMALY.
- Lozano, A., & Storchi, G. (2001). Shortest viable path algorithm in multimodal networks. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 35(3)*, pp. 225-241.
- Miller, E.J. (2001). The Greater Toronto Area travel demand modelling system Version 2.0 Volume I: Model Overview.
- Modesti, P., & Sciomachen, A. (1997). A utility measure for finding multiobjective shortest paths in urban multimodal transportation networks. *European Journal of operational research, 111*, pp. 495-508.
- MTQ (2003). Modèle régional de transfert modal, Version 2, Région de Montréal. Présentation d'André Babin et de Martin Noël en février 2007 au MTQ.
- Noël, E.C. (1988). Park-and-ride: Alive, Well, and Expanding in the United States. *Journal of Urban Planning and Development, Vol.114 (No.1)*, pp.2-13.
- Noël, M. (1986). *Modèle incrémental à seuils de répartition modale*. M.Sc.A. inédit. Ecole Polytechnique de Montréal, Montréal, Québec, Canada.
- Noël, M., & Chapleau, R. (1987). Modification d'un réseau de transport collectif et répartition modale. *Papier présenté au 22ème congrès de l'AQTR*.
- Parkhurst, G. (2000). Influence of bus-based park and ride facilities on users' car traffic. *Transport policy, Vol. 7*, pp. 159-172.
- Parkhurst, G. (1995). Park and ride: could it lead to an increase in car traffic?. *Transport Policy, Vol. 2*, pp. 15-23.
- Shirgaokar, M., & Deakin, E. (2005). Study of Park-and-Ride Facilities and Their Use in the San Francisco Bay Area of California. *Transportation Research Record, 1927*, pp. 46-54.
- Spiess, H. (1993). Computing Activity Chain Based Trip Distribution Models. *Papier présenté à l'EMME/2 Support Center, Aegerten, Suisse*.

- Spiess, H. (1996). Choice Model with Explicit Capacities. *Papier présenté à l'EMME/2 Support Center, Aegerten, Suisse.*
- Thompson, R.G., & Bonsall, P. (1997). Drivers' response to parking guidance and information systems. *Transport Reviews.*
- Trépanier, M., Morency, C., & Gossmann, I.. (2006). Park & Ride User Path Problem: Findings from On-Board Surveys Conférence WCTR. *Papier présenté à la conférence WCTR de 2007, San Francisco.*
- Tsang, F., Shalaby, A.S., & Miller, E.J. (2004). Improved modelling of Park-and-Ride Transfer Time: Capturing the Winthin-day Dynamics. *Journal of Advanced Transportation.*
- Wang, J.Y.T., Lindsey, R., & Yang, H. (2003). Modelling Park-and-Ride service in a linear monocentric city. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.5*, pp 1377-1392.
- Wang, J.Y.T., Yang, H., & Lindsey, R. (2004). Locating and pricing park-and-ride facilities in a linear monocentric city with deterministic mode choice. *Transportation Research Part B, 38(8)*, pp. 709-731.
- Ziliaskopoulos, A., & Wardell, W. (2000). An intermodal optimum path algorithm for multimodal networks with dynamic arc travel times and switching delays. *European Journal of Operational Research, Vol. 125*, pp. 486-502.

ANNEXES

Annexe 1: Questionnaire à bord du train de banlieue de Deux-Montagnes-Montréal en 2005.

TRAIN DE BANLIEUE MONTRÉAL / DEUX-MONTAGNES **ENQUÊTE À BORD**
Septembre 2005 

Dans le but de mieux vous servir, l'Agence métropolitaine de transport a besoin de connaître les caractéristiques du déplacement que vous effectuez présentement. Toutes les informations demeureront confidentielles.

INFORMATIONS GÉNÉRALES

1. J'habite à _____ (Municipalité) _____ (Code postal) _____ (Arrondissement ou intersection le plus près)

2. Age _____ ans 3. Sexe ☐ Homme ☐ Femme 4. Statut ☐ Travailleur ☐ Étudiant ☐ Autre

5. Possédez-vous une voiture ? ☐ oui ☐ non 6. Nombre de voitures dans votre ménage _____

DÉPLACEMENT ACTUEL

7. À quelle gare êtes-vous monté(e) le matin ? 8. À quelle gare allez-vous descendre ce matin ? 9. Quel titre de transport avez-vous utilisé ce matin ?

	Carte TRAIN				Carte TRAM				Carnet de 6 tickets-TRAIN ou de 6 tickets-TRAM		Tickets-TRAIN ou tickets-TRAM	
	ordinaire	interm.	réduit	ordinaire	interm.	réduit	ordinaire	réduit	ordinaire	réduit	ordinaire	réduit
Deux-Montagnes	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Grand-Martin	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sainte-Dorothée	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Le-Sigra	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Rouville-Pierre-Val	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sennelybrook	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Bois-Franc	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Du-Ruisseau	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Mont-Royal	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Centre	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Gare Centrale	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

ORIGINE DU DÉPLACEMENT ACTUEL 10. Je suis parti(e) à _____ h _____ min du ☐ Domicile ☐ Travail ☐ Lieu d'études ☐ Autre (S.V.P. précisez : _____)

DESTINATION DU DÉPLACEMENT ACTUEL 11. Ma destination finale est ☐ Domicile ☐ Travail ☐ Lieu d'études ☐ Autre (S.V.P. précisez : _____)

12. Avant de monter dans ce train, j'ai utilisé : ☐ auto (conducteur) ☐ auto (passager) ☐ vélo ☐ marche ☐ taxi ☐ autobus, métro, train (complémentaire) ☐ Autre _____

13. Après être descendu(e) de ce train, j'utiliserai : ☐ auto (conducteur) ☐ auto (passager) ☐ vélo ☐ marche ☐ taxi ☐ autobus, métro, train (complémentaire) ☐ Autre _____

14. Ce soir, reviendrez-vous en train ? ☐ oui ☐ non

15. En général, combien de déplacements faites-vous en train ? Nombre d'allers _____ Retours _____

16. Utilisez-vous le train Montréal / Deux-Montagnes depuis : ☐ Plus d'un an ☐ Moins d'un an Si moins d'un an, précisez le nombre de mois _____

SATISFACTION

17. Quelle serait pour vous, l'heure idéale ? D'arriver le matin à votre gare de destination : _____ et de départ du train le soir : _____

18. Veuillez encadrer le chiffre correspondant à votre niveau de satisfaction pour chacun des points suivants :

	Insatisfait					Satisfait				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Service en général										
Progrès des gares										
Progrès des trains										
Sécurité sur les quai										
Sécurité des stationnements										
Accessibilité à la gare										
Service téléphonique à la clientèle										
Contrôle de la sécurité à bord des trains										
Courtoisie des inspecteurs										
Correspondance avec l'autobus le matin										
Correspondance avec l'autobus le soir										
Promotion : La TRAM vous emmène partout										

19. Dans le futur, envisagez-vous de continuer à utiliser le train de banlieue pour effectuer le type de déplacement que vous effectuez présentement ? ☐ certainement ☐ probablement ☐ probablement pas ☐ certainement pas

20. Recommanderiez-vous l'utilisation du train de banlieue à un parent, un ami ou un collègue ? ☐ certainement ☐ probablement ☐ probablement pas ☐ certainement pas

AUTRES

21. Avez-vous accès à Internet ? ☐ oui ☐ non Si oui : Sachez-vous être avisé(e) par courriel des changements apportés aux services de transport en région de la région de Montréal ? ☐ oui ☐ non votre courriel est : _____

22. Commentaires : _____

Pour nous faire part d'autres commentaires ou pour connaître les résultats de cette enquête, vous pouvez consulter la section "Programme d'enquêtes et sondages" du site web de l'AMT à l'adresse suivante : www.amt.qc.ca/enquetes

COUPON DE PARTICIPATION AU TIRAGE DU 3 OCTOBRE 2005

Pour vous inscrire à votre collaboration, l'AMT procède au tirage de 10 cartes gagnantes. TRAM pour les clients de la ligne de train de banlieue Montréal / Deux-Montagnes qui auront rempli et remis leur questionnaire. La liste des gagnants sera affichée au Service à la clientèle de l'AMT.

NOTE : _____

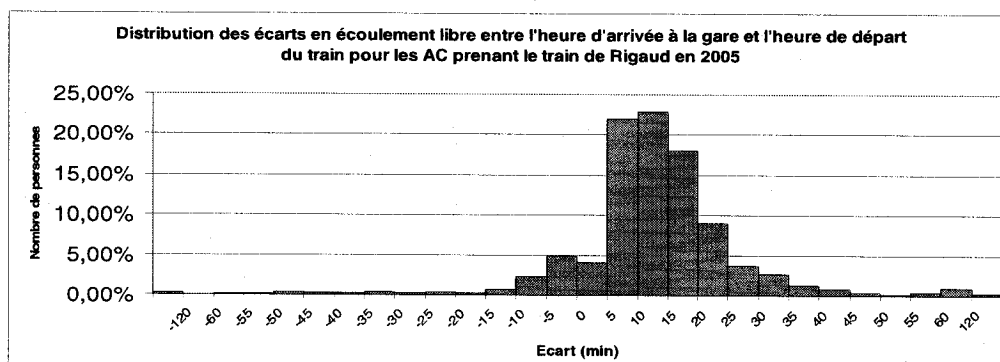
Pour information : www.amt.qc.ca ou (514) 237-TRAM ou 1 (888) 792-TRAM

Annexe 2: Distribution des écarts entre l'heure d'arrivée à la gare et l'heure de départ du train.

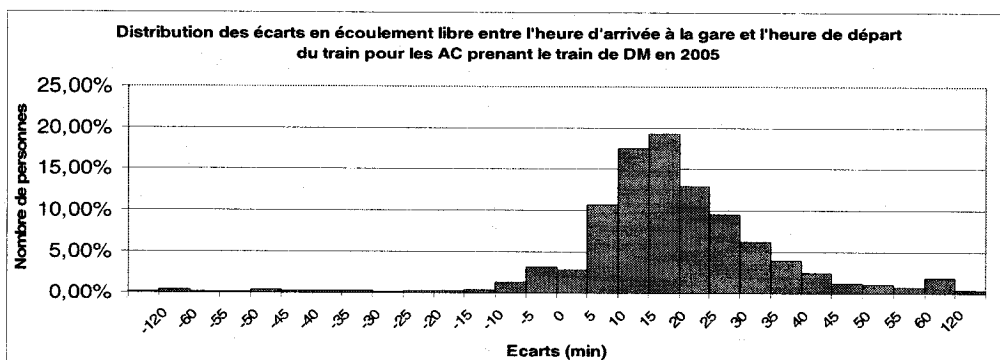
Les distributions des écarts entre l'heure d'arrivée à la gare et l'heure de départ du train sont représentées pour les temps routiers estimés en congestion et en écoulement libre. Les données utilisées pour déterminer ces distributions sont les données des enquêtes à bord des trains de Rigaud et de Deux-Montagnes de 2005. Nous avons procédé par tranche de 5 minutes de temps pour les écarts compris entre -1h et +1h. Pour les écarts s'élevant au-delà de ces limites, véhicules qui ont entre 1h et 2h d'avance sur leur train (respectivement ceux qui ont entre 1h et 2h de retard) et les véhicules qui ont plus de 2h d'avance sur leur train (respectivement plus de 2h de retard) sont regroupés.

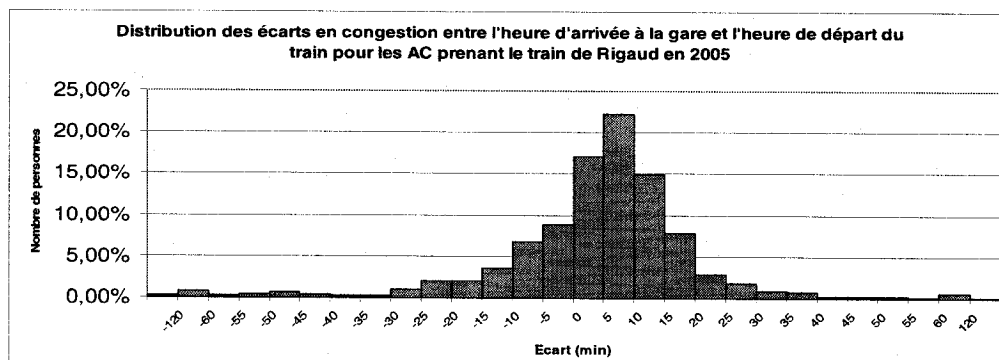
Deux phénomènes logiques sont constatés sur les 2 lignes:

- ➔ Le nombre de personnes arrivant après leur train est inférieur lorsqu'on considère le trafic en écoulement libre plutôt qu'en congestion
- ➔ L'attente entre l'heure d'arrivée à la gare et l'heure de train est en moyenne plus importante en écoulement libre qu'en congestion (de l'ordre de 5 min de plus)

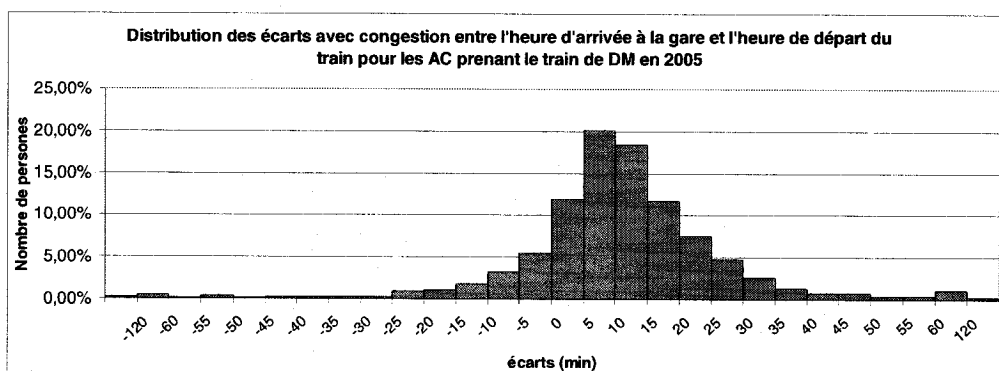


**En
écoulement
libre**





**En
congestion**



Annexe 3 : Évolution des zones tarifaires de 2001 à 2005 pour les stations de la ligne Rigaud.

Zones	1	2	3	4	5	6
Avant 2005	Dorval Lachine Montréal-Ouest Vendôme Lucien-L'allier	Sainte-Anne-de-Bellevue Baie-d'Urfé Beaurepaire Beaconsfield Cedar Park Pointe-Claire Valois Pine Beach	Vaudreuil Dorion Pincourt/Terrasse-Ile-Perrot		Rigaud Hudson	
2005	Lachine Montréal-Ouest Vendôme Lucien-L'allier	Cedar Park Pointe-Claire Valois Pine Beach Dorval	Sainte-Anne-de-Bellevue Baie-d'Urfé Beaurepaire Beaconsfield	Pincourt/Terrasse-Vaudreuil Ile-Perrot	Vaudreuil Dorion	Rigaud Hudson

Annexe 4 : Script du programme lancé sous STATA pour effectuer la régression logistique.

```

*****Modèle
de choix d'un itinéraire pour les bimodaux
*****
*****
clear
set more off
capture log close
log using Z:\Mémoire\Traitementdonnées\Modèle\Result5.log, replace

set memory 256m
set matsize 500

* Lecture de la base de données
use Z:\Mémoire\Traitementdonnées\Modèle\donnees2005.dta

* Description de la base de donnees
des

* regression clogit
clogit choix ta capac tauxocc tarif2 [iweight=fexp], group(ipere)

bysort nb_ligne: clogit choix ta tauxocc capac tarif2 [iweight=fexp], group(ipere)

*predict pcl

* Sauvegarder les donnees
label data data
des, s
exit, clear
log close

```

Annexe 5 : Résultats des modèles estimés pour chacune des deux lignes

- La ligne Deux-Montagnes

Tableau A5-1 : Valeur et significativité des coefficients obtenus par le modèle 5 appliqué uniquement à la ligne de Deux-Montagnes.

choix	Coef.	Std. Err.	z	P> z	Intervalle de confiance à 95%	
ta	-0.405	0.0099	-40.86	0.000	-0.4241073	-0.3852784
capac	0.002	0.0000	43.82	0.000	0.0020668	0.0022603
tauxocc	-0.155	0.0553	-2.8	0.005	-0.2631153	-0.0464607
tarif	-0.339	0.0322	-10.53	0.000	-0.402541	-0.2761889

Tableau A5-2 : Valeurs moyennes et désutilités/utilité des coefficients selon le choix observé et le choix estimé par le modèle pour la ligne de Deux-Montagnes.

	Coefficients	Trajet observé		Trajet estimé	
		Valeur moyenne	Désutilité	Valeur moyenne	Désutilité
Temps d'accès en auto (min)	-0.405	7.833	-3.170	7.404	-2.996
Capacité des stationnements	0.002	854	1.848	995	2.153
Taux d'occupation	-0.155	0.609	-0.094	0.650	-0.101
Tarif (\$ par jour)	-0.339	4.752	-1.613	4.814	-1.634

- La ligne Rigaud

Tableau A5-3 : Valeur et significativité des coefficients obtenus par le modèle 5 appliqué uniquement à la ligne de Rigaud.

choix	Coef.	Std. Err.	z	P> z	Intervalle de confiance à 95%	
ta	-0.168	0.0127	-13.25	0.000	-0.1930549	-0.1433114
capac	0.002	0.0001	16.58	0.000	0.0017198	0.002181
tauxocc	-0.249	0.0538	-4.63	0.000	-0.3544202	-0.1434779
tarif	-0.369	0.0541	-6.81	0.000	-0.4746145	-0.2624341

Tableau A5-4 : Valeurs moyennes et désutilités/utilité des coefficients selon le choix observé et le choix estimé par le modèle pour la ligne de Rigaud.

	Coefficients	Trajet observé		Trajet estimé	
		Valeur moyenne	Désutilité	Valeur moyenne	Désutilité
Temps d'accès en auto (min)	-0.168	7.447	-1.252	5.993	-1.008
Capacité des stationnements	0.002	320	0.625	428	0.834
Taux d'occupation	-0.249	0.526	-0.131	0.495	-0.123
Tarif (\$ par jour)	-0.369	4.714	-1.737	4.846	-1.786

Annexe 6 : Description sommaire de l'échantillon de 30 personnes retenues pour la discussion

L'échantillon est constitué pour moitié d'automobilistes de Deux-Montagnes et d'automobilistes de Rigaud. Avec la pondération, on obtient 52% d'automobilistes de Deux-Montagnes et donc 48% de Rigaud. On obtient 51% de femmes, ce qui est quelque peu inférieur aux statistiques habituelles mais ce qui assure tout de même une majorité de femmes dans l'échantillon. Les âges sont également bien représentés.

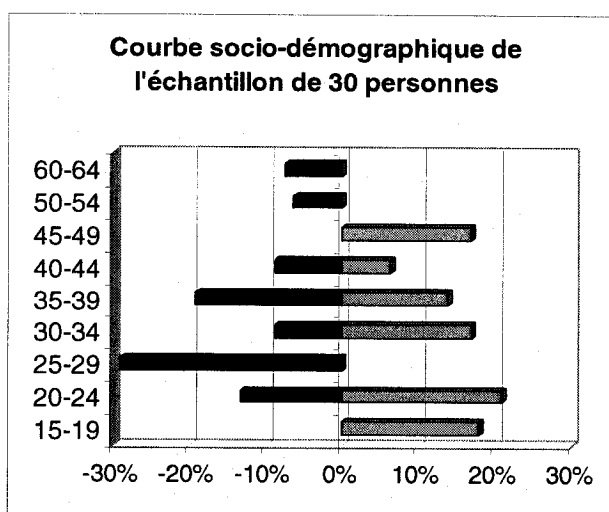


Figure A6-1 : Courbe socio-démographique des 30 personnes de l'échantillon sélectionné.

45% de ces personnes ont choisi la première alternative, ce qui représente un peu plus que la moyenne des personnes mal prédites par le modèle mais ce qui est acceptable.

Alternative choisie	%
1ère	44.76%
2ème	13.03%
3ème	15.69%
4ème	9.31%
5ème	2.64%
Aucune	14.57%

Figure A6-2 : Répartition en pourcentage des individus pondérés de l'échantillon en fonction de l'alternative observée.

Les stations ayant une majorité d'automobilistes de cet échantillon (donc des automobilistes mal prédits) sont Dorval, Grand-Moulin, Bois-Franc et Sunnybrooke. Ces 30 automobilistes sont affectés dans huit stations différentes, en majorité dans les stations de Du Ruisseau, de Roxboro-Pierrefonds, de Deux-Montagnes et de Ste-Anne-de-Bellevue.

Gare de montée observée	Gare de montée estimée	%
Dorion	Vaudreuil	2.68%
Île-Perrot	Sainte-Anne-de-Bellevue	5.04%
Sainte-Anne-de-Bellevue	Vaudreuil	2.64%
Baie-d'Urfé	Sainte-Anne-de-Bellevue	3.05%
Beaconsfield	Sainte-Anne-de-Bellevue	3.52%
	Pointe-Claire	3.52%
Cedar park	Pointe-Claire	2.96%
Pointe-Claire	Beaconsfield	6.06%
Valois	Pointe-Claire	6.70%
Dorval	Sainte-Anne-de-Bellevue	3.63%
	Roxboro-Pierrefonds	3.79%
	Vaudreuil	3.63%
Grand-Moulin	Deux-Montagnes	12.79%
Sainte-Dorothée	Du Ruisseau	6.67%
Île-Bigras	Sainte-Dorothée	2.92%
Sunnybrooke	Roxboro-Pierrefonds	14.63%
Bois-Franc	Du Ruisseau	12.74%
Du Ruisseau	Deux-Montagnes	3.01%

Figure A6-3 : Gares d'affectation estimée par le modèle selon les gares de montée observée et distribution en pourcentage des individus de l'échantillon en fonction des gares de montée observée et estimée associées.

Annexe 7 : Comparaison des temps d'accès obtenus d'algorithmes différents.

Les temps d'accès pour le choix qui a effectivement été fait en 2005, ont été estimés de trois manières différentes : en écoulement libre, sous congestion sous l'hypothèse des « polygones » de congestion, et sous le logiciel EMME/2 en heure de pointe du matin. Les deux premières méthodes font appel à des outils de calcul ad hoc s'appuyant sur une même définition du réseau routier. Cette compatibilité n'est toutefois pas assurée avec le routier codifié dans EMME/2. De plus, ce logiciel s'appuie sur un découpage zonal du territoire contrairement à l'autre procédé qui traite les informations de façon désagrégée. Les trois simulations donnent des temps différents. Les temps d'accès en écoulement libre sont ceux qui donnent les meilleurs résultats pour la cohérence entre l'heure de départ déclarée du domicile et l'heure de départ du train. C'est pourquoi ils ont été retenus pour cette étude. En effet, les temps d'accès en écoulement libre sont inférieurs aux temps estimés avec EMME/2 (Figure A7-1) ainsi que ceux estimés en congestion.

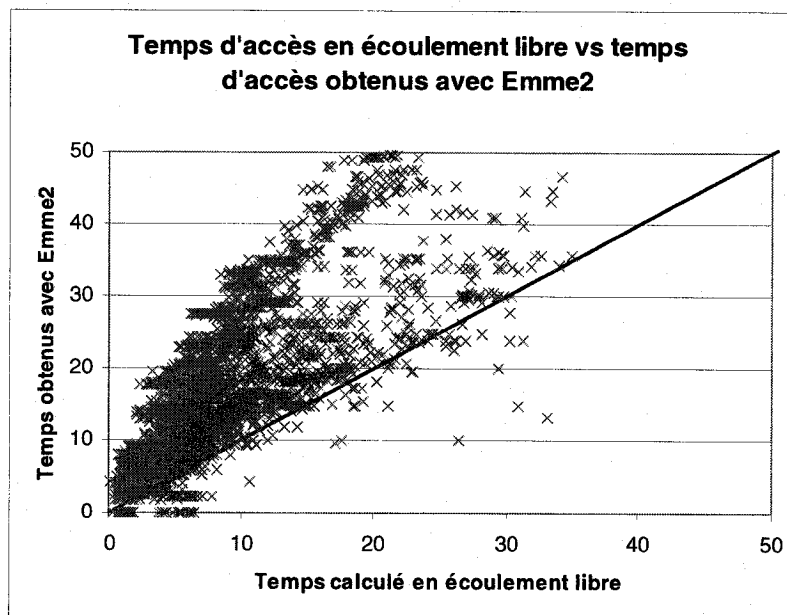


Figure A7-1 : Distribution des temps d'accès en écoulement libre versus les temps d'accès obtenus avec EMME/2.

La distribution des temps d'accès estimés sous EMME/2 en fonction des temps estimés sous congestion ne donne pas un résultat aussi clair pour les temps d'accès sous congestion inférieurs à 50 minutes (Figure A7-2).

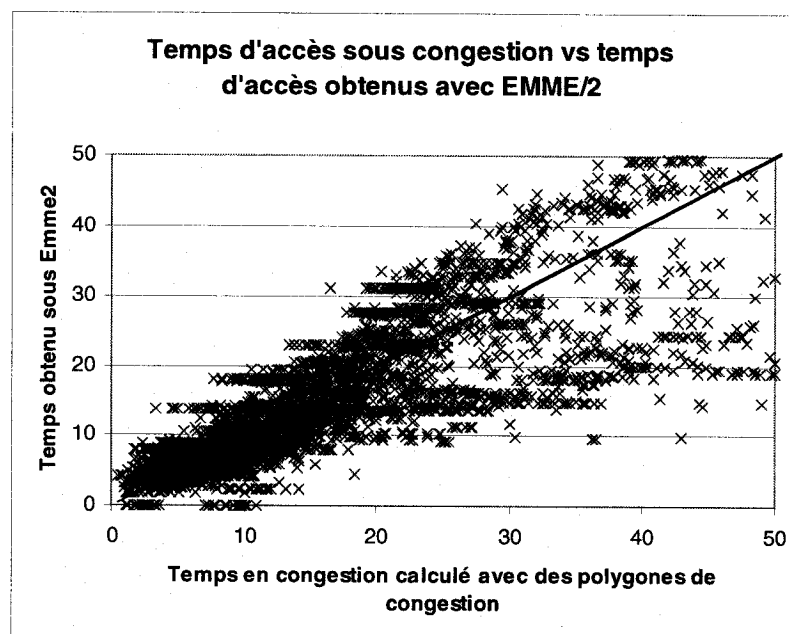
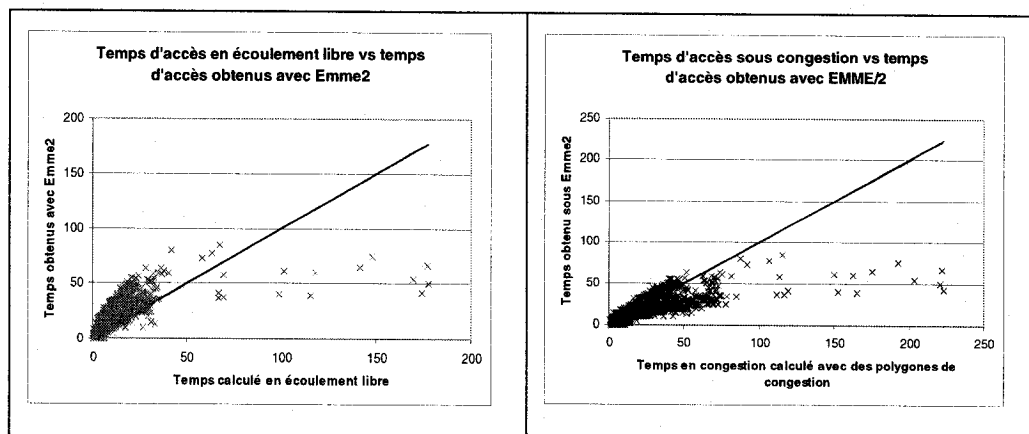


Figure A7-2 : Distribution des temps d'accès sous congestion sous l'hypothèse des « polygones de congestion » versus les temps d'accès obtenus avec EMME/2.

Les temps d'accès supérieurs à 1h30 sont éliminés lors de l'estimation sous EMME/2. Cependant, cet effet peut être dû à l'agrégation zonale faite par EMME/2. Les zones sont en effet beaucoup plus grandes en campagne et l'identification du domicile au centroïde de la zone peut affecter la qualité des résultats.



Une observation par gare de la valeur des ratios entre temps obtenus sous EMME et temps en écoulement libre d'une part, et temps obtenu sous EMME et temps en congestion d'autre part, permet de constater que le premier ratio varie beaucoup entre les gares alors que le deuxième varie peu autour de 1.

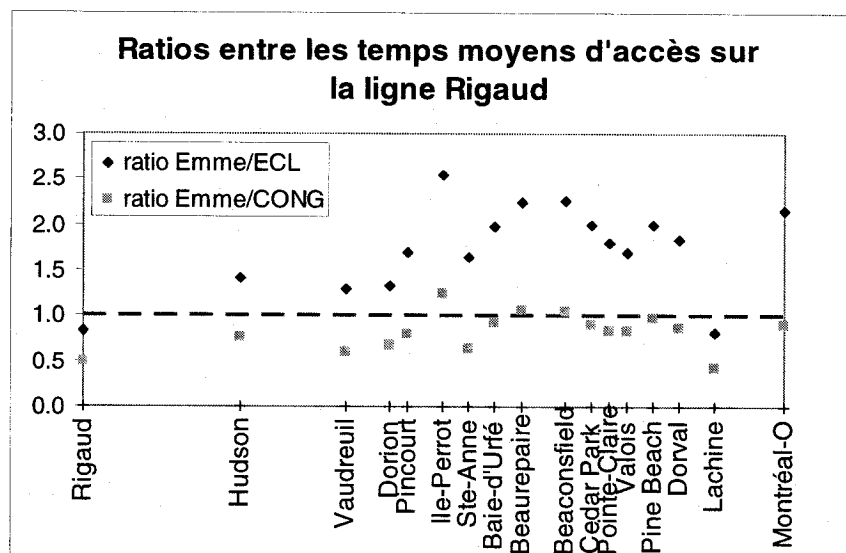


Figure A7-3 : Valeur des ratios des temps moyens d'accès pour les gares de la ligne de Rigaud.

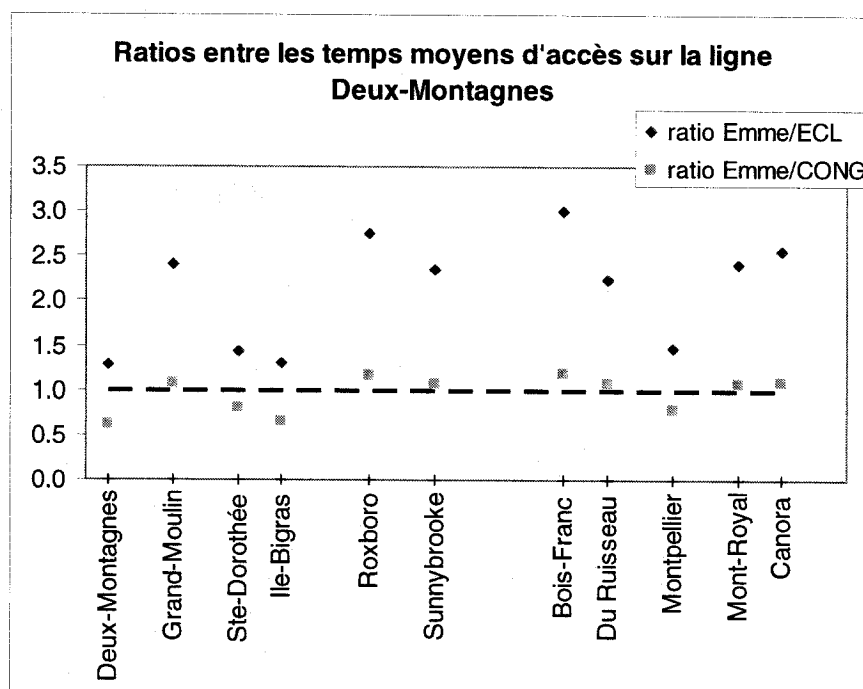


Figure A7-4 : Valeur des ratios des temps moyens d'accès pour les gares de la ligne de Deux-Montagnes.

Logiquement, les stations pour lesquelles le ratio des temps estimés sous EMME sur ceux estimés sous congestion est supérieur à 1 sont aussi les stations qui ont le ratio des temps estimés sous EMME sur ceux estimés en écoulement libre le plus important. Sur Rigaud, ce sont les stations de Beasconfield, Beaurepaire et de l'Ile-Perrot, et sur Deux-Montagnes, Grand-Moulin, Roxboro, Sunnybrooke, Bois-Franc. Il est a priori difficile de trouver une corrélation entre ces gares. Certaines ont de fortes capacités de stationnement et un accès par voie rapide, d'autres non. Une explication de ces différences peut résider dans le fait que la codification du réseau routier n'est pas identique sur les deux logiciels utilisés, ou encore que la calibration des fonctions délai soit différente. Cependant, les temps EMME/2 sont proches de ceux calculés sous congestion et donnent donc également un nombre important de personnes arrivant après leur train.