

Titre: Méthodologie de caractérisation du vélopartage et d'estimation du
Title: marché potentiel du vélo à Montréal

Auteur: François Godefroy
Author:

Date: 2011

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Godefroy, F. (2011). Méthodologie de caractérisation du vélopartage et
d'estimation du marché potentiel du vélo à Montréal [Mémoire de maîtrise, École
Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/523/>

Document en libre accès dans PolyPublie

Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/523/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Catherine Morency
Advisors:

Programme: Génie civil
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

**MÉTHODOLOGIE DE CARACTÉRISATION DU VÉLOPARTAGE ET
D'ESTIMATION DU MARCHÉ POTENTIEL DU VÉLO À MONTRÉAL**

FRANÇOIS GODEFROY

DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

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

JANVIER 2011

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

MÉTHODOLOGIE DE CARACTÉRISATION DU VÉLOPARTAGE ET D'ESTIMATION DU
MARCHÉ POTENTIEL DU VÉLO À MONTRÉAL

Présenté par : GODEFROY François

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

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

M. SAUNIER Nicolas, Ph.D., président

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

M. TRÉPANIER Martin, Ph.D., membre

REMERCIEMENTS

En premier lieu, l'auteur tient à remercier tout particulièrement la professeure Catherine Morency pour son soutien tant financier que pour ses conseils techniques et méthodologiques qu'elle a su lui communiquer tout au long de ce travail de recherche. Il remercie également la professeure de lui avoir offert la possibilité de travailler sur des projets variés en parallèle à cette étude, rendant cette expérience d'autant plus formatrice.

L'auteur remercie également le personnel de la section transport et notamment le corps professoral qui lui a permis d'acquérir les connaissances théoriques fondamentales ainsi que la maîtrise des outils indispensables pour évoluer dans le domaine des transports.

L'auteur remercie aussi le personnel de la société BIXI et tout particulièrement son président, M. Alain Ayotte ainsi que le directeur des opérations, M. Jean Turcot, d'avoir accepté de donner accès à l'École Polytechnique de Montréal aux données opérationnelles de leur système de vélopartage. Grâce à ces données et à l'intérêt qu'ils portent à la recherche sur le vélopartage, ils ont permis la réalisation de ce mémoire.

De même, l'auteur souhaite remercier le personnel de l'association Vélo Québec et plus particulièrement, son directeur technique, Marc Jolicoeur, ainsi que la chargée de projet, France Dumesnil, de lui avoir permis de travailler sur le projet de « l'état du vélo au Québec en 2010 ». Cette expérience fut particulièrement formatrice pour l'auteur.

L'auteur adresse toute sa gratitude à Nicolas, François, Julien, Antoine, Louiselle, Abdoulaye, Mohsen et Farhana pour leur soutien tant moral que technique tout au long de la réalisation de ce travail et pour l'ambiance dans le laboratoire qui fut très appréciée.

Enfin, l'auteur souhaite remercier très sincèrement sa compagne, Julie Larochelle-Audet, pour son soutien moral inébranlable au cours de la réalisation de ce mémoire.

RÉSUMÉ

Pour répondre aux besoins croissants de mobilité des individus, les systèmes de transport urbain se complexifient, impliquant le développement de nouveaux modes de transport. Depuis plusieurs années, les différents paliers gouvernementaux et agences de transport œuvrant dans la région de Montréal ont mis un accent tout particulier pour développer les transports dits alternatifs. Ces investissements ont permis, entre autres, le développement de l'autopartage, l'expansion du réseau cyclable de la ville et des infrastructures associées à l'usage du vélo, et, plus récemment, le déploiement du premier système de vélopartage à grande échelle d'Amérique du Nord : le système BIXI. S'inscrivant dans les modes alternatifs actifs, le concept du vélopartage consiste à mettre des vélos à la disposition des individus afin qu'ils opèrent leurs déplacements sans utiliser l'automobile.

Au terme de la seconde année d'exploitation, les statistiques de fréquentation de ce système (plus de 3 millions de déplacements et plus de 30 000 membres pour l'année 2010) prouvent que le vélopartage offre une alternative crédible aux usagers et justifient l'importance de débuter la recherche sur ce nouveau mode de transport urbain encore méconnu. En effet, contrairement à de nombreux modes de transport, le vélopartage est généralement développé par des entreprises du secteur privé. De ce fait, malgré le succès de ce nouveau mode de transport urbain, très peu d'études ont porté sur les données opérationnelles des exploitants. Ce mémoire a la particularité de proposer une première méthode d'analyse du vélopartage en s'appuyant sur un échantillon de trois mois (juillet-septembre 2009) de données opérationnelles, fourni par la société BIXI.

Cette étude s'articule autour de deux axes de recherche principaux : l'analyse de l'état du vélo sur l'île de Montréal et la caractérisation du système de vélopartage BIXI. Le premier axe de recherche a pour objectif de présenter l'état du vélo sur l'île de Montréal avant l'implantation du vélopartage. Grâce aux données de la dernière enquête Origine-Destination, tenue entre septembre et décembre 2008 dans la Grande Région de Montréal (6 mois avant l'implantation du programme BIXI) et impliquant le questionnement de près de 5 % de la population, il est possible d'analyser le portrait des cyclistes ainsi que les comportements de mobilité induit par l'usage de ce mode. En outre, une méthodologie spécifique sera proposée permettant d'évaluer le potentiel de développement du vélo sur l'île de Montréal. Le second axe de recherche vise à présenter une première méthodologie d'analyse des systèmes de vélopartage. Dans cette

recherche, le vélopartage a été abordé comme un système de transport orienté-objet et composé de trois éléments distincts : les stations, les usagers et les vélos. Des indicateurs ont alors été développés pour mesurer et suivre l'évolution de ces différents objets au cours du temps. Une attention toute particulière a été mise sur les stations, élément au cœur du fonctionnement des systèmes de vélopartage.

Plus précisément, il ressort du premier axe de recherche que la population cycliste représente près de 1,8 % des personnes résidant sur l'île de Montréal. Ces personnes réalisent quotidiennement près de 76 990 déplacements, soit 2,0 % de l'ensemble des déplacements journaliers de la population de l'île de Montréal. 65,0 % des cyclistes sont des hommes malgré qu'ils ne représentent que 48,1 % des résidents et près de 63,8 % des cyclistes sont des travailleurs contre 45,2 % dans la population de l'île. Les cyclistes se distinguent également du reste de la population par une motorisation moins élevée (en moyenne 0,78 véhicule par ménage dans les foyers avec au moins une personne cycliste, contre 0,96 véhicule par ménage pour les résidents de l'île) et un âge plus jeune que la moyenne (36,7 ans contre 39,4 ans pour tous les résidents de l'île).

L'analyse du potentiel du vélo sur l'île de Montréal permet d'établir, dans un premier temps, l'influence de divers facteurs sur l'usage de la bicyclette. Parmi les faits saillants, il apparaît que les hommes ont 1,99 fois plus de chance d'effectuer un déplacement en vélo que les femmes; les personnes résidant dans un ménage non motorisé ont 2,35 fois plus de chance d'accomplir un déplacement cycliste que les ménages motorisés; les personnes se déplaçant un jour sans pluie ont 1,46 fois plus de chance de se déplacer en vélo que les jours où il pleut; et les personnes résidant à plus de 15 km du centre-ville ont 0,29 fois moins de chance de se déplacer en vélo que les personnes résidant à moins de 5 km.

Dans un second temps, l'analyse du potentiel du vélo permet d'évaluer les volumes de déplacements en automobile qui pourraient être réalisés en vélo. En respectant le critère de distance franchissable selon les cohortes d'âge et les genres, il apparaît que près de 61,2 % des déplacements en automobile (dont 62,8 % des déplacements en automobiles des hommes et 59,4 % des déplacements en automobiles des femmes) pourraient être réalisés en vélo. Par la suite, l'utilisation des critères plus restrictifs comme la considération de l'ensemble de la chaîne de déplacement des individus ainsi que les motifs de déplacements permet d'estimer que 18,2 % des

déplacements en automobile de l'ensemble des résidents de l'île de Montréal pourraient être accomplis en vélo.

Le second axe de recherche concerne l'analyse des 640 014 transactions réalisées par les abonnés (67,8 % des transactions) et usagers occasionnels (32,2 % des transactions) du système de vélopartage BIXI. Dans un premier temps, chacun des objets du système est caractérisé par une série d'indicateurs simples, permettant de mesurer les volumes d'activités et de suivre l'évolution des objets dans le temps. Parallèlement, plusieurs aspects sont abordés comme l'analyse de l'accessibilité aux stations, les profils sociodémographiques des abonnés, les choix des stations en fonction du type de clientèle ainsi que toutes les caractéristiques des déplacements (distances, durées, localisation, heures de déplacement...).

Dans un second temps, une série de cinq indicateurs de performance caractérise les stations du réseau. Le taux de balance permet de mesurer l'équilibre d'une station au niveau des opérations d'emprunts et de dépôts. Les taux d'indisponibilité d'emprunts et de dépôts précisent le temps passé par une station dans des états critiques pendant lesquels les usagers ne peuvent profiter de l'ensemble du potentiel d'une station. Les taux de transferts d'emprunts et de dépôts fournissent une information sur l'ampleur des mouvements réalisés par le personnel technique de BIXI par rapport aux déplacements effectués par les usagers. L'indicateur de variations des taux de remplissage des stations permet de repérer les stations les plus sensibles aux mouvements pendulaires des déplacements. Finalement, le taux d'opérations par point d'ancrage est l'indicateur permettant de comparer la performance opérationnelle des stations, tout en faisant abstraction des capacités et temps de service différents des stations du réseau.

Finalement, dans la dernière partie, une segmentation des stations en 5 segments est proposée selon les similitudes dans les états d'indisponibilité d'emprunts et de dépôts des stations. Cette segmentation est un premier pas dans l'élaboration de solutions pour améliorer les opérations de redistribution des vélos sur le réseau en regroupant les stations problématiques. À la suite de cette segmentation, un modèle de régression linéaire multiple est présenté afin d'identifier l'influence de certains facteurs sur l'utilisation du système. Parmi les faits saillants, il apparaît que la présence d'étudiants à proximité des stations, l'augmentation du nombre de points d'ancrage sur les stations, la proximité des stations de stations de métro et l'absence de pluie sont des éléments ayant un rôle majeur dans les niveaux d'activité des stations.

ABSTRACT

To cater to an increasingly mobile population, urban transport systems have adapted by evolving new modes of transportation. For several years, investments made by transport agencies and governments in the Montreal area have facilitated the development of car-sharing, the expansion of the cycle network, and more recently the deployment of the first large-scale bike-sharing system in North America (called *BIXI*). Bike-sharing is an active alternative transport mode whereby members of the public are empowered to perform their commuting trips by making temporary use of bicycles deployed throughout the city.

At the end of the second year of operation, usage statistics of the BIXI bike-sharing system (more than 3 million rides and more than 30 000 members by 2010's end) show that bike-sharing programs offer a viable alternative for users and justify the research into this new urban mode of transportation. Indeed, unlike many other transportation modes, bike-sharing is usually developed by the private sector, resulting in few studies sharing operational data. This thesis is unique in offering a first bike-sharing analysis method based on a sample of three consecutive months (July-September 2009), using operational data supplied by the BIXI company.

This study has two areas of focus: the state of cycling on the Montreal Island, and the BIXI bike-sharing system. The first part of the research aims to depict the state of cycling before the implementation of BIXI. Using data from the last Origin-Destination survey conducted between September and December 2008 in the Greater Montreal Area (6 months before implementation of the BIXI program) and involving the surveying of approximately 5 % of the island population, it is possible to apprehend the state of cycling and the mobility patterns induced by cycling. In addition, a specific methodology is proposed to evaluate the potential of cycling on the Montreal Island.

The second part of the research aims to present a first methodology in order to analyze bike-sharing systems. Here, bike-sharing has been modelled abstractly as a transport system composed of three distinct elements: stations, users and bikes. This study proposes a set of indicators aimed at objectively describing the state of the main objects of the system spatially and temporally. Particular attention is paid to stations, due to their status as a key element in the bike-sharing system.

More specifically, it appears from the first part of the research that the population of cyclists represents about 1.8 % of residents on the Montreal Island. These people make nearly 76,990 daily trips, 2.0 % of total commuting trips. 65.0 % of cyclists are male even though they represent only 48.1 % of residents and nearly 63.8 % of cyclists are workers while being only 45.2 % of the island population. Another distinction between cyclists and non-cyclists is a lower level of motorization for cyclists (average 0.78 vehicles per household in households with at least one cyclist versus 0.96 vehicles per household in the general population) and a younger age than the average population age (36.7 years versus 39.4 years).

The first part of the analysis of cycling potential on the Montreal Island shows the influence of various factors on bike use. Among the highlights, it appears that men are 1.99 times more likely to make a trip by bicycle than women; persons living in a non-motorized household are 2.35 times more likely to perform a trip by bike than motorized households; people commuting during a sunny day are 1.46 times more likely to travel by bike versus rainy days; and people living more than 15 miles from downtown are 0.29 times less likely to travel by bike compared to people living within 5 km.

The second part of the analysis aims to evaluate the volumes of car trips that could be made by bike. Respecting the criterion of range distance according to age cohorts and genders, it appears that about 61.2 % of car trips (including 62.8 % of men car trips and 59.4 % of women car trips) could be made by bike. Subsequently, more restrictive criteria have been used (consideration of trip chains, grounds trip), and it appears that 18.2 % of all residents' car trips could be made by bike.

The second part of the research concerns the analysis of 640,014 BIXI transactions made by members (67.8 % of transactions) and occasional users (32.2 % transactions) between the 1st july and 30th september 2009. A set of indicators is firstly proposed for each object in order to measure volumes and to follow objects over space and time. Several aspects are subsequently discussed such as stations accessibility, member profile, station choice depending on client types, as well as all trips characteristics (distance ride, ride time, travel hours...).

A further set of five performance indicators is developed to characterize the stations. A balancing factor is proposed to measure the balance of the station at the operational level (borrowings and deposits). The unavailability borrowings and deposits rate indicate the station spent time in

critical conditions (during which time users can not use the full potential of a station). Transfer borrowings and deposits rates provide information on the transfer movements made by the technical staff compared to movements by users. The variation of filling ratio of stations is developed in order to identify the stations most sensitive to commuting travel. Finally, the operations per anchor point rate enable us to compare the operating performance of the stations, while ignoring capacity and service time for different network stations.

Finally, in the last section, a division of the stations into five segments is proposed based on similarities in the unavailability borrowings and deposits rate. This segmentation is a first step in developing solutions to improve the redistribution of the bikes in the network by grouping station with the same patterns of unavailability. Following this division, a multiple linear regression model is presented to identify the influence of factors on the station activity level. Among the highlights, it appears that the presence of students at proximity to nearby stations, the number of anchor points, the stations' proximity to subway stations and the lack of rain are key factors for understanding the activity levels of the system.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	III
RÉSUMÉ.....	IV
ABSTRACT.....	VII
TABLE DES MATIÈRES	X
LISTE DES TABLEAUX.....	XVI
LISTE DES FIGURES.....	XVIII
LISTE DES ANNEXES.....	XXVI
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Problématique de recherche	2
1.2 Objectifs du projet de recherche.....	3
1.3 Structure du document	4
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE	5
2.1 Transport durable et transport actif	5
2.1.1 Les bienfaits du transport actif	7
2.1.2 Portrait de l'état du vélo dans le monde	12
2.2 Facteurs influençant l'usage de la bicyclette.....	13
2.2.1 Influence des infrastructures cyclables	14
2.2.2 Influence de la météorologie	16
2.2.3 Influence des autres facteurs	18
2.3 Estimation du potentiel du vélo.....	21
2.4 Le vélopartage	23
2.4.1 Définition du vélopartage.....	23
2.4.2 Historique du vélopartage	24

2.4.3	Le XXI ^{ème} siècle, un marché en plein essor	29
2.4.4	Principes d'utilisation du vélopartage	33
2.4.5	Les composants du vélopartage.....	33
2.4.6	Les principaux coûts d'exploitation des programme de vélopartage	36
2.4.7	Les différents types d'organismes de vélopartage	36
2.4.8	La place du vélopartage dans les transports urbains	37
2.4.9	Bilan des profils utilisateurs du vélopartage	38
2.4.10	Les conclusions de la recherche sur le vélopartage.....	39
2.4.11	Le programme BIXI de Montréal.....	41
2.5	Résumé	41
	CHAPITRE 3 SYSTÈME D'INFORMATION DE L'ÉTUDE	42
3.1	Principes de l'étude	42
3.2	Enquête Origine-Destination.....	44
3.2.1	Approche totalement désagrégée	44
3.2.2	Historique des enquêtes Origine-Destination à Montréal	45
3.2.3	La table de données de l'enquête Origine-Destination	46
3.2.4	Échantillon de données et territoire d'étude.....	47
3.3	Tables de données des conditions météorologiques.....	48
3.4	Le système d'information BIXI	49
3.4.1	Définition des objets de l'étude.....	49
3.4.2	Système orienté-objet du vélopartage	51
3.4.3	Les tables de données de l'opérateur BIXI	53
3.4.4	Échantillons de données et tables de données dérivées.....	57
3.4.5	Interactions entre les tables de données	58

3.4.6 Résumé	60
CHAPITRE 4 PORTRAIT DU VÉLO SUR L'ÎLE DE MONTREAL PAR L'ENQUÊTE ORIGINE-DESTINATION DE 2008	61
4.1 Méthodologie d'analyse	61
4.2 Présentation du contexte montréalais	62
4.2.1 Profils sociodémographiques des résidents de l'île de Montréal	63
4.2.2 Motorisation des ménages et répartition modale des déplacements	67
4.3 Caractéristiques des déplacements cyclistes	71
4.3.1 Pseudo-distance de parcours	71
4.3.2 Motifs et heures de déplacements	74
4.3.3 Localisation spatiale des déplacements cyclistes	77
4.4 Limites de l'enquête Origine-Destination pour l'évaluer le vélo	85
4.5 Résumé	88
CHAPITRE 5 ÉVALUATION DU POTENTIEL DU VÉLO	89
5.1 Démarche globale pour l'estimation du potentiel du vélo	89
5.2 Modélisation des déplacements en vélo	90
5.2.1 Définition du modèle	90
5.2.2 Définition des variables	91
5.2.3 Échantillon de données	93
5.2.4 Résultats du modèle	94
5.3 Évaluation du potentiel du vélo	97
5.3.1 Méthodologie d'estimation du potentiel du vélo	98
5.3.2 Échantillon de données	98
5.3.3 Critères de transferts modaux	98
5.3.4 Résultats du transfert modal	101

5.4	Résumé	104
CHAPITRE 6 MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE DU VÉLOPARTAGE		105
6.1	Démarche générale d'analyse.....	105
6.2	Définition générale des ensembles et indicateurs	107
6.2.1	Les ensembles du système.....	107
6.2.2	Définitions des unités spatiales et temporelles.....	109
6.2.3	Définitions des indicateurs	111
6.3	Résumé	122
CHAPITRE 7 ANALYSE DESCRIPTIVE DU SYSTÈME DE VÉLOPARTAGE BIXI		123
7.1	Croissances et évolutions des principaux objets	123
7.2	Caractéristiques et évolution des usagers	126
7.2.1	Nombre d'usagers-jour dans le système.....	126
7.2.2	Profils sociodémographiques et répartition spatiale des abonnés	128
7.2.3	Comportements de mobilités des différents types d'usagers	131
7.3	Caractéristiques et évolutions des stations	137
7.3.1	Nombre et localisation spatiale des stations.....	138
7.3.2	Capacités des stations	139
7.3.3	Volume d'utilisation des stations	142
7.3.4	Taux de remplissage des stations	146
7.3.5	Les stations et leurs usagers	149
7.4	Caractéristiques et évolutions des vélos	168
7.4.1	Volume et fréquence d'utilisation	168
7.4.2	Temps roulé, temps stationné et taux d'utilisation des vélos	171
7.4.3	Pseudo-distances de parcours et durées d'utilisation des vélos	173

7.4.4	Nombre et durée des transferts	174
7.4.5	Exemple de suivi de vélos dans le temps	177
7.5	Caractéristiques et évolutions des déplacements	178
7.5.1	Évolution temporelle des déplacements	178
7.5.2	Pseudo-Distance de parcours	186
7.5.3	Durées des déplacements	188
7.5.4	Vitesses virtuelles de déplacements	190
7.5.5	Profil de charge du réseau	194
7.6	Résumé	196
CHAPITRE 8 CARACTÉRISATION DES STATIONS DU SYSTÈME DE VÉLOPARTAGE BIXI.....		197
8.1	Taux de balance des stations	197
8.2	Taux d'indisponibilité d'emprunts et de dépôts	202
8.3	Taux de transferts	208
8.4	Variations des taux de remplissage	215
8.5	Taux d'opérations par point d'ancrage.....	217
8.6	Résumé	220
CHAPITRE 9 SEGMENTATION DES STATIONS ET MODÉLISATION DE L'ACTIVITÉ DANS LE SYSTÈME.....		222
9.1	Segmentation des stations	222
9.1.1	Méthode de segmentation.....	222
9.1.2	Échantillon de données.....	223
9.1.3	Résultats de la segmentation	224
9.2	Modélisation de l'activité des stations	229
9.2.1	Définition du modèle.....	230

9.2.2	Définition des variables et échantillon de données	230
9.2.3	Résultats du modèle	231
9.3	Résumé	233
CHAPITRE 10 CONCLUSION		234
10.1	Contributions	234
10.2	Limitations	236
10.3	Perspectives	239
BIBLIOGRAPHIE		241
ANNEXES		256

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 : Résumé de l'action de l'activité physique sur la santé (Cavill, Kahlmeier, & Racioppi, 2006)	8
Tableau 2-2 : Répartition modale en fonction du mode par rapport aux déplacements pour motif travail (%) (Dobrovolny, 2009).....	13
Tableau 3-1 : Description des champs de la table de données de conditions météorologiques	48
Tableau 3-2 : Description des champs de la table de données des transactions.....	54
Tableau 3-3 : Description des champs de la table de données des états des stations.....	55
Tableau 3-4 : Description des champs dérivés de la table de données de l'état des stations.....	56
Tableau 3-5 : Description des champs de la table de données des transferts.....	57
Tableau 4-1 : Description de la population résidant sur l'île de Montréal d'après l'enquête Origine-Destination de 2008.....	66
Tableau 4-2 : Profils sociodémographiques des personnes des secteurs à proximité de la zone de déploiement BIXI.....	67
Tableau 4-3 : Répartition modale des déplacements des résidents vivant à proximité de la zone de déploiement du programme BIXI	70
Tableau 4-4: Pseudo-distances moyennes parcourues par déplacement et fréquence de déplacements en fonction des cohortes d'âge et des genres	72
Tableau 4-5: Motifs de déplacement des cyclistes en fonction des genres	75
Tableau 4-6 : Résumé des déplacements cyclistes produits et attirés pour chacun des 14 secteurs à proximité de la zone de déploiement BIXI (tous motifs).....	78
Tableau 4-7 : Synthèse des deux affectations des déplacements cyclistes sur le réseau routier....	81
Tableau 4-8: Types de liens utilisés en fonction des deux affectations sur le réseau montréalais.	83
Tableau 5-1: Description des variables du modèle LOGIT	91
Tableau 5-2 : Listes des variables corrélées pour l'évaluation du potentiel du vélo	94

Tableau 5-3 : Résultats obtenus du logiciel STATA à partir du modèle LOGIT pour l'explication des déplacements en vélo	96
Tableau 5-4 : Résumé des distances seuils calculées par cohortes d'âge et par genre	99
Tableau 5-5 : Résultats de l'évaluation du potentiel du vélo en n'incluant que les distances seuils	102
Tableau 6-1 : Notation des grandeurs du système de vélopartage	107
Tableau 7-1 : Bilan des indicateurs sur les objets du système le 30 septembre 2009	124
Tableau 7-2: Comparaison des profils des la population de Montréal et des abonnés BIXI	128
Tableau 7-3 : Indicateurs des volumes de transactions entre juillet et septembre 2009	131
Tableau 7-4 : Caractéristiques de l'accessibilité aux stations du système BIXI	154
Tableau 7-5 : Distribution des déplacements en fonction des jours de la semaine	180
Tableau 7-6 : Description et comparaison des pseudo-distances parcourues par les usagers BIXI et les cyclistes de l'enquête OD 2008	186
Tableau 9-1 : Exemple d'enregistrements de la table de données de l'état des stations	223
Tableau 9-2 : Description des 5 segments obtenus par l'algorithme des k-moyennes	224
Tableau 9-3: Caractéristique de la répartition des stations au sein des segments	227
Tableau 9-4 : Description des variables incluses dans le modèle de régression multiple	231
Tableau 9-5 : Variables corrélées dans le modèle de régression linéaire multiple	231
Tableau 9-6 : Résultats du modèle de régression linéaire multiple	232
Tableau 10-1: Distribution des programmes de vélopartage entre les pays (Shaheen, et al., 2010)	258
Tableau 10-2 : Résultats de l'évaluation du potentiel du vélo par cohorte d'âge	269
Tableau 10-3 : Résultats de l'évaluation du potentiel du vélo en incluant tous les critères	269
Tableau 10-4: Stations à l'origine de déplacements de plus de 45 km/h.....	270

LISTE DES FIGURES

Figure 2-1 : Courbe d'évolution des taux d'obésité et de déplacements actifs en fonction des pays (Basset, et al., 2008)	8
Figure 2-2 : Pourcentage de personnes victimes de nuisances sonores au Pays-Bas (Hurtley & Dagmar, 2009)	9
Figure 2-3 : Espace requis pour se déplacer suivant les différents modes de transport (Dekoster & Schollaert, 1999)	10
Figure 2-4 : Consommation énergétique des différents modes de transport par passager-kilomètre (IDAE, (2007)	11
Figure 2-5 : Comparaison des expositions des individus suivant le mode de transport (Gris Orange Consultant, 2009)	11
Figure 2-6 : Répartition modale de la bicyclette par rapport à l'ensemble des déplacements pour motif travail (Pucher & Buehler, 2008)	12
Figure 2-7 : Estimation de l'évolution du nombre de bicyclettes en libre service entre 1968 et 2010	30
Figure 2-8 : Distribution des programmes de vélopartage et du nombre de vélos en service en Europe (Midgley, 2009)	31
Figure 2-9 : Schéma de l'architecture d'un système de vélopartage	33
Figure 2-10 : Les différents types d'organismes de vélopartage (De Maio, 2009)	37
Figure 2-11 : Positionnement « anticipé » du vélopartage parmi les modes de transport urbain (Britton, 2000)	38
Figure 3-1 : Schéma de principe de l'étude du vélo dans la grande région de Montréal	43
Figure 3-2 : Découpage des déplacements dans les enquêtes totalement désagrégées (Chapleau & Morency, 2002)	45
Figure 3-3 : Description des territoires d'enquête Origine-Destination dans la grande région de Montréal (AMT, 2009a; Morency, 2007)	46

Figure 3-4 : Sommaire des informations recueillies lors d'une enquête Origine-Destination (Morency, 2004).....	47
Figure 3-5 : Interaction entre les trois composants du vélopartage adaptée de (Martin, 2007).....	52
Figure 3-6 : Modèle orienté-objet du système de vélopartage BIXI (Morency, Trepanier, & Godefroy, 2011)	53
Figure 3-7: Description des interactions entre les tables de données.....	59
Figure 3-8 : Carte conceptuelle de l'organisation du système de vélopartage	60
Figure 4-1 : 14 secteurs municipaux situés à proximité de la zone de déploiement de BIXI	62
Figure 4-2 : Territoire d'étude de l'enquête Origine-Destination de 2008	63
Figure 4-3 : Cartes de la densité de population et de la densité de cyclistes suivant les secteurs municipaux d'après l'enquête Origine-Destination 2008	64
Figure 4-4 : Démographie des résidents et des cyclistes de l'île de Montréal d'après l'enquête Origine-Destination de 2008	65
Figure 4-5 : Cartes du nombre moyen de véhicules par ménage et de la part modale du vélo pour les différents secteurs de l'île de Montréal.....	68
Figure 4-6 : Répartition modale des déplacements des résidents de l'île lors d'un jour moyen de semaine (tous motifs)	69
Figure 4-7 : Distribution des distances en fonction des pseudo-distances de déplacements	73
Figure 4-8 : Répartition modale des déplacements en fonction de la pseudo-distance parcourue.	74
Figure 4-9 : Distribution des déplacements cyclistes en fonction de l'heure de la journée.....	75
Figure 4-10 : Distribution des déplacements en fonction des heures et des motifs de déplacement	76
Figure 4-11 : Distributions cumulées des déplacements en fonction des pseudo-distances parcourues	76
Figure 4-12 : Déplacements cyclistes produits et attirés par secteur de recensements de l'île issue de l'enquête Origine-Destination de 2008	79

Figure 4-13 : Distribution des déplacements en fonction de l'allongement de distance entre les deux affectations	82
Figure 4-14: Résultats de l'affectation sur le réseau routier (gauche) et sur le réseau avec les pistes cyclables (droite)	83
Figure 4-15 : Comparaison de l'affectation des déplacements pour le secteur du Mont-Royal	84
Figure 4-16 : Évolution de la part modale pour le vélo au cours de la période d'enquête.....	86
Figure 4-17 : Évolution des parts modales des modes en fonction des semaines d'enquête	87
Figure 5-1 : Méthodologie d'estimation du potentiel du vélo d'après les données de l'enquête OD	89
Figure 5-2 : Méthodologie d'estimation des volumes de déplacements transférables	98
Figure 5-3 : Processus séquentiel d'estimation du potentiel du vélo	103
Figure 5-4 : Répartition spatiale des domiciles des personnes ayant accompli des déplacements en automobile convertibles en vélo.....	103
Figure 6-1 : Démarche générale de caractérisation du système de vélopartage BIXI	106
Figure 7-1 : Évolution du nombre d'abonnés, usagers occasionnels, stations et vélos.....	125
Figure 7-2 : Évolution des ratios d'abonnés par vélo, de vélos par station et de points d'ancrage par station	126
Figure 7-3 : Évolution du nombre de transactions, du nombre d'usagers actifs et du nombre de vélos actifs.....	127
Figure 7-4 : Comparaison des démographies des résidents de Montréal, des cyclistes de Montréal et des abonnés BIXI	129
Figure 7-5 : Comparaison des densités de cyclistes et d'abonnés selon les secteurs municipaux	130
Figure 7-6 : Proportion des déplacements en fonction de la proportion des abonnés et usagers occasionnels	132
Figure 7-7 : Évolution de la fréquence de déplacement par usager entre juillet et septembre 2009	134

Figure 7-8 : Distribution des fréquences de transactions entre les différents types d'usagers.....	134
Figure 7-9 : Évolution de la proportion de personnes réalisant 3 transactions et plus.....	135
Figure 7-10 : Distribution des transactions des abonnés en fonction des cohortes d'âge	136
Figure 7-11 : Classification des types de déplacements entre juillet et septembre 2009	137
Figure 7-12 : Évolution du nombre de stations en service et actives entre juillet et septembre 2009	138
Figure 7-13 : Évolution des territoires de déploiement entre juillet et septembre 2009	139
Figure 7-14 : Distribution des stations en fonction des capacités entre juillet et septembre 2009	140
Figure 7-15: Évolution des capacités des stations entre juillet et septembre 2009	140
Figure 7-16 : Croissance des capacités des stations du réseau BIXI entre juillet et septembre 2009	142
Figure 7-17: Évolution des capacités de 5 stations du réseau entre juillet et septembre 2009	142
Figure 7-18: Répartition spatiale des opérations d'emprunts et de dépôts entre les stations de juillet à septembre 2009	143
Figure 7-19 : Distribution des stations en fonction du nombre d'opérations entre juillet et septembre 2009	144
Figure 7-20 : Distribution des stations en fonction du nombre d'opérations accomplies.....	144
Figure 7-21 : Évolution des niveaux d'activités de trois stations entre juillet et septembre 2009	145
Figure 7-22 : Comparaison de l'activité des stations en fonction du nombre d'heures de service	146
Figure 7-23: Répartition spatiale des stations en fonction du taux moyen de remplissage	147
Figure 7-24 : Évolution des niveaux de remplissage de trois stations sur une journée.....	148
Figure 7-25 : Évolution du nombre d'abonnés par station, du nombre d'abonnés par point d'ancre et de la capacité moyenne des stations	150
Figure 7-26 : Distribution des stations en fonction du nombre moyen d'usagers-station.....	150

Figure 7-27 : Évolution de nombre d'usagers-station pour la station 9 entre juillet et septembre 2009	151
Figure 7-28 : Visualisation du nombre moyen d'usagers-station entre juillet et septembre 2009	152
Figure 7-29 : Visualisation de l'accessibilité aux stations BIXI en fonction du temps de marche	153
Figure 7-30: Croissance de la couverture du territoire, du bassin de population et du nombre d'abonnés en fonction du temps d'accès au système	154
Figure 7-31 : Évolution de la distance moyenne entre les domiciles des abonnés et les stations les plus proches	155
Figure 7-32 : Distribution des stations en fonction de la proportion d'abonnés-station.....	156
Figure 7-33 : Visualisation des stations en fonction du pourcentage d'abonnés-station.....	156
Figure 7-34 : Distribution des abonnés en fonction du nombre de stations différentes visitées..	157
Figure 7-35 : Évolution de la proportion d'opérations accomplies sur les stations les plus proches	158
Figure 7-36: Dispersion des abonnés autour de 4 stations pour la journée du 10 juillet 2009 ...	161
Figure 7-37 : Visualisation des stations en fonction du nombre d'abonnés résidant à moins de 500 m	162
Figure 7-38 : Régression linéaire du nombre d'opérations d'emprunt en PPAM en fonction du nombre d'abonnés à moins de 500 m	163
Figure 7-39 : Visualisation des stations en fonction du nombre d'abonnés dont la station est la plus proche de leurs domiciles	164
Figure 7-40 : Distribution des abonnés-station en fonction du nombre de jours entre l'abonnement au système et l'implantation de la station	166
Figure 7-41 : Analyses des niveaux d'abonnement de 9 stations suite à leur déploiement	167
Figure 7-42 : Nombre de vélos-jour disponibles et de vélos-jour actifs entre juillet et septembre 2009	169

Figure 7-43 : Distribution des vélos en fonction du nombre de transactions.....	169
Figure 7-44 : Proportion de l'utilisation des vélos en fonction de la proportion de transactions	170
Figure 7-45 : Distribution des vélos en fonction du nombre de stations visitées et du nombre d'usagers différents transportés.....	171
Figure 7-46 : Distribution des vélos en fonction de leur durée de service.....	172
Figure 7-47: Évolution du temps total de service, du temps de stationnement et du temps de roulement entre juillet et septembre 2009	173
Figure 7-48 : Évolution du nombre de transferts par vélo entre juillet et septembre 2009.....	175
Figure 7-49 : Proportion de transferts en fonction de la proportion de stations.....	176
Figure 7-50 : Exemple de suivi de 4 vélos pendant trois jours consécutifs	177
Figure 7-51 : Distribution des transactions entre juillet et septembre 2009.....	179
Figure 7-52 : Répartition spatiale des stations en fonction de la proportion de transactions accomplies lors de la semaine et de la fin de semaine	181
Figure 7-53 : Distribution du nombre de transactions en fonction de l'heure d'emprunt.....	182
Figure 7-54 : Répartition des transactions entre les clientèles en fonction de l'heure d'emprunt	183
Figure 7-55 : Distribution des déplacements suivant les heures et les jours de la semaine	183
Figure 7-56 : Évolution des taux de remplissage des stations lors de la journée du 30 septembre 2009	185
Figure 7-57 : Évolution des distances moyennes parcourues par les différents types d'usagers .	187
Figure 7-58 : Distribution des pseudo-distances de déplacements en fonction des types d'usagers	188
Figure 7-59 : Évolution des durées moyennes de déplacements en fonction des types d'usagers	189
Figure 7-60 : Distribution des durées de déplacements en fonction des types d'usagers.....	190
Figure 7-61 : Évolution de la proportion d'usagers en fonction de la durée de déplacement.....	190
Figure 7-62 : Distribution des vitesses virtuelles de déplacement selon les types d'usagers	191

Figure 7-63 : Distribution des déplacements en fonction des paires OD normalisés sur 500 m	193
Figure 7-64: Itinéraires BIXI (carte de gauche) et résultats de l'affectation des itinéraires sur le réseau routier	195
Figure 7-65 : Résultats de l'affectation des déplacements cyclistes sur le réseau routier de Montréal	195
Figure 8-1 : Évolution du taux de balance pour l'ensemble du réseau entre juillet et septembre 2009	199
Figure 8-2 : Répartition spatiale des stations en fonction du taux de balance	200
Figure 8-3 : Variation des taux de balance de trois stations entre juillet et septembre 2009	201
Figure 8-4 : Déficits des types de transactions des stations lors de la journée du 30 septembre 2009	201
Figure 8-5 : Évolution de la proportion du nombre de stations-heure vides	203
Figure 8-6 : Évolution de la proportion du nombre de stations-heure pleines	204
Figure 8-7 : Répartition spatiale des stations en fonction des taux moyens d'indisponibilité	206
Figure 8-8 : Évolution des taux d'indisponibilité d'emprunts et de dépôts pour les stations 4 et 57	207
Figure 8-9 : Distribution des taux moyens d'indisponibilité d'emprunts et de dépôts au cours de la journée	208
Figure 8-10 : Évolution du taux de transferts de chargement entre juillet et septembre 2009	210
Figure 8-11 : Évolution du taux de transferts de déchargement entre juillet et septembre 2009	211
Figure 8-12 : Évolution des taux de transferts de chargement et déchargement pour les stations 49 et 75 entre juillet et septembre 2009	212
Figure 8-13 : Répartition spatiale des stations en fonction des taux moyens de transferts de chargement et de déchargement	213
Figure 8-14 : Évolution du nombre de vélos disponibles avec et sans les transferts sur la station 68	214

Figure 8-15 : Évolution du nombre de vélos disponibles avec et sans les transferts sur la station 41	214
Figure 8-16: Répartition spatial des stations en fonction de l'écart-type des taux de remplissage	216
Figure 8-17 : Évolution des écarts-types des taux de remplissage des stations 35 et 59 entre juillet et septembre 2009	217
Figure 8-18 : Évolution du taux d'opérations par point d'ancrage entre juillet et septembre 2009	219
Figure 8-19 : Analyse des taux d'opérations par points d'ancrage de trois stations de capacité identique	220
Figure 8-20 : Schéma récapitulatif des indicateurs de performance des stations.....	221
Figure 9-1 : Évolution des valeurs moyennes des centres des segments en fonction de l'heure..	226
Figure 9-2 : Localisation spatiale des stations des 5 segments	227
Figure 9-3 : Répartition des stations dans les segments en fonction des jours de la semaine.....	228
Figure 9-4 : Évolution des distributions des segments entre juillet et septembre 2009	228
Figure 9-5 : Évolution des taux d'indisponibilité de dépôts et d'emprunts en fonction des segments	229
Figure 10-1: Consommation énergétique par passager-kilomètre suivant les modes de transport (Instituto para la diversificacion y Ahorro de la Energia IDAE, 2007)	256
Figure 10-2 : Arbre décisionnel d'estimation du potentiel de déplacements transférables (Massot & Armoogum, 2002)	257
Figure 10-3 : Localisation des pays possédant au moins un programme de vélopartage	258
Figure 10-4 : Différents types de plateformes : intégrée ou déposée sur la chaussée	261
Figure 10-5 : Exemples de borne transactionnelle (BIXI et Vélib')	262
Figure 10-6 : Exemple d'un point d'ancrage de la station BIXI	262
Figure 10-7 : Trois types de vélos : DB Bahn (Berlin), BIXI (Montréal), Vélib' (Paris).....	263

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 – Consommation d'énergie des modes de transport par passager-kilomètre.....	256
ANNEXE 2 – Arbre décisionnel d'estimation du potentiel de déplacements transférables.....	257
ANNEXE 3 – Programme de vélopartage dans le monde	258
ANNEXE 4 – Principes d'utilisation du vélopartage.....	259
ANNEXE 5 – Composants des systèmes de vélopartage	261
ANNEXE 6 – Les principaux coûts de déploiement des programmes de vélopartage	264
ANNEXE 7 – Les différents types d'organisme de vélopartage	266
ANNEXE 8 – Évaluation du potentiel du vélo	269
ANNEXE 9 – Stations problématiques pour le calcul des vitesses	270

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

De façon générale, la croissance de la population engendre une croissance des besoins de mobilité. Alors que le développement frénétique de l'automobile a été encouragé pendant plusieurs décennies, les problèmes liés à son utilisation excessive remettent aujourd'hui en question les actions entreprises et les politiques établies jusqu'à présent. En effet, les impacts de l'automobile sur la pollution (atmosphérique, visuelle et sonore), sur la santé (problèmes d'obésité, maladies cardiovasculaires, maladies liées à la sédentarité, etc.) et sur la hausse massive de consommation d'énergie fossile ont fait l'objet de très nombreuses études. Outre ces impacts, l'augmentation des besoins de mobilité provoque une surutilisation des réseaux routiers et de certaines lignes de transport collectif, accentue les problèmes de stationnement et de congestion routière et réduit la convivialité de l'environnement urbain. Tous ces éléments obligent désormais les planificateurs à repenser les systèmes de transport et promouvoir des alternatives.

La grande région de Montréal n'échappe pas à ces comportements généraux. Les enquêtes Origine-Destination, réalisées périodiquement (5 ans), rendent compte de ces évolutions grâce à l'enregistrement des comportements de mobilité de près de 5 % de la population. Ainsi, l'analyse de ces enquêtes révèle que l'étalement urbain continue de prendre de l'ampleur dans toute la région. En effet, la croissance globale de la population de la grande région de Montréal s'établissait à 5 % entre 2003 et 2008 (AMT, 2009a). Cependant, l'île a connu une augmentation de 2,3 % de sa population en 5 ans tandis que les régions plus éloignées ont crû de plus de 11,1 % pour la couronne Sud et de 9,8 % pour la couronne Nord (AMT, 2009a). En plus de cette croissance de la population, la motorisation des ménages tend à se poursuivre. La croissance du parc automobile est de 2,1 % annuellement depuis 2003 et le nombre d'automobiles est évalué à plus de 1 789 000, soit une hausse globale de 10,5 % du nombre de véhicules en 5 ans (AMT, 2009a). Par conséquent, la motorisation de la grande région de Montréal s'intensifie puisque la croissance du parc automobile (10,5 %) est supérieure à la croissance de la population (5 %).

Ces constats, à Montréal comme ailleurs, ont encouragés le développement d'alternatives de transport, s'inscrivant dans des politiques générales de transport durable. Ainsi, pour contrer cette recrudescence de l'utilisation de l'automobile, les gouvernements et agences de transport accentuent, depuis une dizaine d'années, le développement de projets de transports alternatifs

comme le transport collectif, l'autopartage et les transports actifs : la marche, le vélo et le vélopartage. Avec l'émergence des technologies informationnelles, les derniers systèmes de vélopartage sont suffisamment robustes pour être proposés comme des alternatives crédibles de transport. La flexibilité et la rapidité de déplacement du vélo, jumelées à l'absence de contrainte liée à la possession d'un vélo positionnent le vélopartage au croisement de la marche, du transport collectif et des déplacements en automobiles.

Plus précisément dans le cadre de Montréal, les efforts déployés pour limiter l'usage de l'automobile commencent à porter leur fruit puisque pour la première fois depuis près de 30 ans, le nombre de déplacements réalisés en automobile a diminué de 1,3 % entre 2003 et 2008, et ce, malgré l'intensification de la motorisation (AMT, 2009b). En cinq ans, les déplacements en période de pointe du matin en transport collectif ont subi une hausse de près de 15,0 %, alors que les déplacements réalisés en période de pointe du matin par transport actif ont augmenté de 10,2 %. En outre, dans le but d'améliorer l'organisation des transports, la ville de Montréal s'est dotée en 2008 d'un plan de transport (Ville de Montréal, 2010c). Ainsi, pour l'exercice 2009-2010, près de 153 millions de dollars ont été investis dans plusieurs projets, dont le programme de vélopartage BIXI, déployé en avril 2009 dans les rues de la métropole (Ville de Montréal, 2010a). De plus, en 2011, la ville de Montréal prévoit un investissement de près de 23,8 millions de dollars pour accroître les infrastructures cyclables de la ville (Ville de Montréal, 2010b).

1.1 Problématique de recherche

Malgré les efforts mis en œuvre pour favoriser les modes alternatifs comme le vélo et le vélopartage, très peu d'études ont analysé minutieusement ces modes de transport dans la région de Montréal. Les dernières études publiées s'attardent à décrire les distances de déplacements des modes actifs (El-Geneidy, Yasmin, & Jacob, 2010), à proposer une méthodologie pour choisir la position des pistes cyclables (El-Geneidy & Larsen, 2009) ainsi qu'à analyser certains facteurs ayant une influence sur l'usage du vélo (Larsen & El-Geneidy, 2010). Néanmoins, l'ensemble de ces travaux repose sur des données datant de 2003 ou encore sur des sondages de petits échantillons de la population. Or, les investissements très soutenus réalisés ces cinq dernières années, afin d'étendre le réseau cyclable et de développer l'usage du vélo dans la ville par exemple, et les changements majeurs opérés dans l'offre de transports collectifs peuvent limiter certaines conclusions de ces études. En outre, aucune étude n'a tenté d'estimer le potentiel du

vélo et de définir une méthodologie permettant de mesurer l'évolution du marché de ce mode de transport. Une telle méthodologie s'avèrera être un outil essentiel pour prévoir les effets des investissements et déterminer les zones dans lesquelles les besoins sont les plus importants. De plus, très certainement en raison de sa nouveauté, aucune recherche n'a été menée sur le système de vélopartage dans le contexte montréalais. Ce mode de transport, qui vient tout juste d'achever sa seconde année d'exploitation, a obtenu une croissance de 300 % en termes de déplacements accomplis entre 2009 et 2010 (BIXI Montréal, 2010), ce qui démontre l'importance de débuter dès maintenant les recherches sur ce nouveau mode de transport à Montréal. Finalement, il importe de mentionner que dans la majorité des programmes de vélopartage déployés à grande échelle, les coûts des opérations de redistribution des vélos sur le réseau génèrent des frais d'exploitation majeurs à tel point qu'ils peuvent nuire au développement des systèmes, comme l'a souligné le responsable du programme Vélib' de Paris, Remi Pheulpin (BBC News, 2009). La recherche sur ce nouveau mode de transport pourrait alors aider les opérateurs à élaborer des solutions pour réduire ces dépenses et permettrait sans nul doute l'amélioration de l'offre de service et, par le fait même, l'augmentation des parts de marché de ce nouveau mode de transport.

1.2 Objectifs du projet de recherche

L'objectif principal de ce travail de recherche est de mieux comprendre l'usage du vélo sur l'île de Montréal. Afin d'y parvenir, ce projet de recherche appréciera ce sujet selon trois approches : le portrait des cyclistes de l'île, l'estimation du potentiel du vélo et la caractérisation du vélopartage. Plusieurs objectifs et hypothèses spécifiques sont associés à chacune de celles-ci :

- Portrait du vélo dans le contexte montréalais: analyser les profils typiques des cyclistes; caractériser les déplacements réalisés quotidiennement lors d'un jour moyen de semaine d'automne; déterminer les zones favorables au développement du vélo et les points chauds du réseau en termes de déplacements cyclistes.
- Estimation du potentiel du vélo : évaluer les facteurs influençant les déplacements en vélo avec les données de l'enquête Origine-Destination de 2008; déterminer les volumes de déplacements automobiles potentiellement réalisables en vélo.
- Caractérisation du vélopartage : définir une méthodologie d'analyse de ces systèmes; détecter les problèmes inhérents à l'analyse d'un tel système; expliciter des indicateurs

pour caractériser les trois principaux objets (stations, usagers et vélos) et mesurer leur évolution dans le temps; déterminer des indicateurs de performance des stations permettant de différencier les stations, de comparer leur activité et de localiser les stations problématiques d'un point de vue opérationnel.

1.3 Structure du document

Ce document retrace l'ensemble des expérimentations réalisées au cours de ce travail de recherche et se divise en huit parties. Suite au chapitre précisant le cadre de l'étude, le second chapitre est une revue de littérature présentant le contexte général du développement du vélo, les études ayant porté sur l'estimation du potentiel du vélo ainsi que les principales études et définitions concernant le vélopartage. Le troisième chapitre décrit le système d'information de l'étude ainsi que l'ensemble des données exploitées lors de ces recherches. Dans le quatrième chapitre, le portrait des cyclistes de l'île de Montréal est décrit. Le cinquième chapitre complète le portrait des cyclistes montréalais, en proposant une méthodologie d'estimation du potentiel du vélo sur l'île de Montréal. Ces deux chapitres précisent donc le contexte d'implantation du système de vélopartage BIXI. Ensuite, le sixième chapitre présente la méthodologie d'analyse du système de vélopartage et propose une définition théorique des indicateurs calculés dans la suite de l'étude. L'analyse descriptive des trois objets composant le système est détaillée dans le septième chapitre. Par la suite, le huitième chapitre propose une série de cinq indicateurs de performance pour caractériser les stations du réseau. Finalement, dans le dernier chapitre, une segmentation des stations est établie et un modèle explicatif de l'activité des stations au cours de la période d'étude est construit.

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

Ce chapitre propose une revue de littérature technique et scientifique définissant l'ensemble des concepts nécessaires à la compréhension des analyses proposées dans ce mémoire. Par ailleurs, bien que ce mémoire soit principalement consacré à la caractérisation du programme de vélopartage BIXI de Montréal, cette revue de littérature présente de manière plus large l'ensemble du contexte d'étude, à savoir l'état de la recherche sur le vélo.

Ainsi, ce chapitre se découpe en quatre sections distinctes. La section 2.1 présente le concept et le bilan du transport durable, dans laquelle sont inclus plus particulièrement les déplacements en mode actif. Dans cette section, il sera aussi présenté brièvement le portrait du vélo dans le monde afin d'illustrer les disparités qu'il existe à travers les différents pays et notamment le cas du Canada. Ensuite, la section 2.2 permet d'identifier les barrières influençant l'usage de la bicyclette dans un milieu urbain. Dans la section 2.3, l'objectif est de présenter les méthodologies développées par divers chercheurs pour estimer le potentiel du vélo. Finalement, la section 2.4 présente le nouveau mode de transport urbain dont il est question dans ce mémoire, à savoir le vélopartage.

2.1 Transport durable et transport actif

Le concept de développement durable a été mentionné pour la première fois par la Commission Brundtland, tenue en 1987 et réunissant 21 membres représentant la diversité des pays de la planète, dans leur rapport baptisé « Notre avenir à tous » (Transport Canada, 2010). La création de ce concept est le fruit du développement économique effréné du XX^{ème} siècle et repose sur une série de facteurs sociaux, économiques et environnementaux. Concernant les transports, que ce soit la qualité de l'air, les changements climatiques, la pollution des sols et des eaux, ou encore l'expansion des villes et l'organisation du territoire, tous ces facteurs font dorénavant partie des problématiques du développement économique mondial et ont abouti à la création du concept de transport durable.

Il n'existe aucune définition officielle du transport durable. Une des définitions les plus complète est énoncé par The Centre for the Sustainable Transportation (2002) :

« *Un système de transport durable est un système :*

- *qui permet aux individus et aux sociétés de satisfaire leurs principaux besoins d'accès d'une manière sécuritaire et compatible avec la santé des humains et des écosystèmes avec équité entre les générations.*
- *dont le coût est raisonnable, qui fonctionne efficacement, qui offre un choix de moyen de transport et qui appuie une économie dynamique.*
- *qui limite les émissions et les déchets de manière à ce que ceux-ci ne dépassent pas la capacité que possède la planète de les absorber, minimise la consommation des ressources non renouvelables, limite la consommation des ressources renouvelables dans le respect des principes de développement durable; réutilise et recycle ses composantes et minimise l'usage des terres et le bruit ».*

L'un des enjeux les plus importants ayant entraîné la création du concept de transport durable concerne l'essor de l'automobile. En effet, l'augmentation de la mobilité des individus jumelée au développement soutenu des pays émergents provoque un accroissement considérable du nombre d'automobiles sur les réseaux à travers le monde. Les impacts de cette augmentation de la motorisation sur l'environnement et le bien-être ont été documentés dès 1977 (Altshuler & Rosenbloom, 1977). Plus récemment, de nombreuses études publiées à travers le monde sur les impacts des modes de transport motorisés concernent des facteurs sociaux, comme l'impact des différents polluants sur la santé, les problèmes indirects liés à l'automobile, la sédentarité et le manque d'activité physique, ou encore les risques sur la sécurité impliqués par ces modes de transport. Quelques études sur la situation particulière du Canada illustrent bien ce phénomène. Par exemple, au Canada, en 2004, près de 25 % des gaz à effet de serre (GES) émis dans l'atmosphère provenaient du secteur des transports, les deux tiers étant directement imputables aux zones urbaines (Transport Canada, 2006). Une autre étude indique qu'en 2002 les coûts de congestion dans les principales zones urbaines du Canada s'établissaient entre 2,3 et 3,7 milliards de dollars annuellement, près de 90 % de ces coûts étant issus du temps perdu par les automobilistes, suivi de la valeur de l'énergie consommée dans la congestion (7 %) et enfin des gaz à effet de serre produits (3 %) (Delcan, iTRANS, & ADEC, 2006). Parallèlement, concernant les impacts sur la santé, une étude portant sur l'année 2001 estime que les dépenses résultant du manque d'activité physique, étaient de l'ordre de 5,3 milliards de dollars, ce qui représentait près de 2,6 % des coûts totaux de santé au Canada (Katzmarzyk, Gledhill, & Shephard, 2004). De même, les coûts issus des problèmes d'obésité étaient évalués à 4,3 milliards de dollars pour la

même période, atteignant 2,2 % de l'ensemble des coûts de santé au Canada (Katzmarzyk, et al., 2004).

Le transport actif se voit alors comme une alternative pour contrer cette recrudescence de déplacements motorisés et leurs impacts sur la planète et les sociétés. D'après Transport Canada (2010), le terme transport actif définit les modes de transport qui n'émettent pas, ou très peu, de polluants atmosphériques. Nous pouvons penser, à titre d'exemples, à la bicyclette, la marche, la course à pied, le patin à roulettes, la planche à roulettes ou encore les fauteuils roulants (Bergeron & Cragg, 2009). Plus récemment, d'autres modes de transports actifs ont été développés comme le vélopartage dont il est question dans ce mémoire.

2.1.1 Les bienfaits du transport actif

En tant qu'alternatives aux modes motorisés, les transports actifs procurent à leurs utilisateurs ainsi qu'à l'ensemble de la collectivité, un certain nombre de bénéfices. Les trois principaux bienfaits, largement documentés dans la littérature, sont : la santé, la réduction de pollution et la diminution de consommation énergétique. Néanmoins, plusieurs autres aspects pourraient être mentionnés, telles la réduction des dépenses en infrastructure, la réduction des coûts de congestion ou encore l'amélioration de l'environnement urbain. Toutefois, nous nous attarderons dans cette section à présenter uniquement les trois principaux bienfaits cités précédemment.

2.1.1.1 Santé

Pratiquement toutes les études s'intéressant au lien entre l'activité physique et la santé, mettent en avant l'hypothèse selon laquelle le manque d'activité physique a des conséquences néfastes sur la santé physique et psychologique des individus. Ainsi, dans leur étude, Bauman et al. (2008) indiquent que l'inactivité physique serait le cinquième facteur le plus important de risque de maladie grave (après le tabac, le cholestérol, l'hypertension artérielle et l'obésité). En outre, une étude portant sur l'analyse pendant plusieurs années des taux de décès d'une cohorte de 2 881 femmes et 5 668 hommes a montré que les personnes se déplaçant quotidiennement en bicyclette pour se rendre à leur lieu de travail ont un taux de décès 40 % inférieur à ceux dont les déplacements sont effectués en automobile (Andersen, Schnohr, Schroll, & Hein, 2000).

Dans un autre ordre d'idées, Basset et al. (2008) ont tenté d'expliquer une relation entre les déplacements actifs et les taux d'obésité (avec un indice de masse corporelle $IMC \geq 30 \text{ kg/m}^2$).

En comparant les distances parcourues annuellement par les Américains avec celles des Européens, ils se sont aperçus que les Américains, dont le taux d'obésité est le plus élevé dans leur échantillon, parcourent en moyenne 140 km à pied et 40 km à vélo par an, contre en moyenne 382 km à pied et 188 km en vélo pour Européens. Ils ont représenté ces tendances dans un graphique montrant les différents niveaux d'obésité et de déplacements actifs (Figure 2-1). Malgré qu'il n'y ait pas de preuve scientifiquement explicite, il est possible de noter une relation inversement proportionnelle entre les deux variables, ce qui supposerait que les transports actifs peuvent être un des facteurs limitant la progression des taux d'obésité.

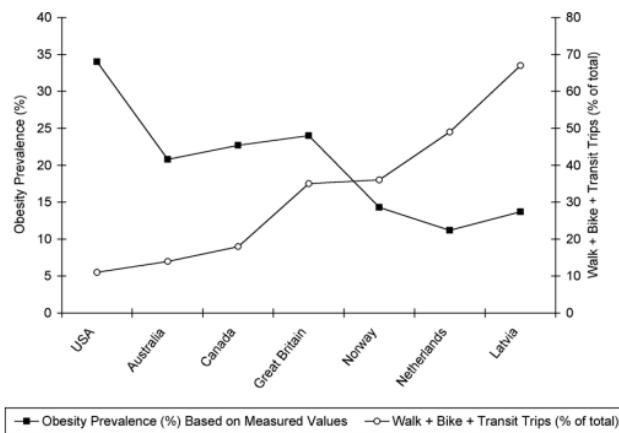


Figure 2-1 : Courbe d'évolution des taux d'obésité et de déplacements actifs en fonction des pays (Basset, et al., 2008)

Table 2. Summary of the health effects associated with physical activity

Condition	Effect
Heart disease	Reduced risk
Stroke	Reduced risk
Overweight and obesity	Reduced risk
Type 2 diabetes	Reduced risk
Colon cancer	Reduced risk
Breast cancer	Reduced risk
Musculoskeletal health	Improvement
Falls in older people	Reduced risk
Psychological well-being	Improvement
Depression	Reduced risk

Tableau 2-1 : Résumé de l'action de l'activité physique sur la santé (Cavill, Kahlmeier, & Racioppi, 2006)

Finalement, dans une autre recherche, Cavill et al. (2006) proposent un tableau récapitulant les effets positifs de l'activité physique sur la santé (Tableau 2-1). Leurs conclusions, résumées dans ce tableau, ont également été validées par les travaux de nombreux chercheurs tels (Basset, et al., 2008; Bauman, et al., 2008; Hamer & Chida, 2008; Matthews, Jurj, & Shu, 2007; Roberts, Owen, Lumb, & MacDougall, 1996; Shephard, 2008).

2.1.1.2 Pollution

Les déplacements accomplis avec un mode motorisé impliquent principalement trois types de pollution : sonore, visuelle et atmosphérique. Depuis près de trente ans, l'examen de ces diverses pollutions a été très largement documenté dans la littérature.

2.1.1.2.1 Pollution sonore

Tout d'abord, en ce qui a trait à la pollution sonore, il ressort que près de 65 % des Européens seraient exposés à des nuisances sonores (équivalent à 55-65 dBLA_{eq} sur des périodes de 24h) pouvant mener à des troubles du sommeil (Dora & Phillips, 2000). Ces nuisances sonores dont une large partie provient du secteur des transports, sont aussi susceptibles d'occasionner des dérèglements sur la santé comme des troubles de l'attention, de l'hyperactivité, des défaillances de pression sanguine ou encore des migraines. Dans un même ordre d'idées, une enquête menée aux Pays-Bas par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMC) montre que plus de 25 % des personnes enquêtées seraient dérangées par des bruits excessifs dont 13 % proviendrait des transports motorisés (Hurtley & Dagmar, 2009).

Par ailleurs, une étude nationale américaine lancée par la *Federal Highway Administration* estime que les coûts de santé résultant des nuisances sonores excessives provenant des automobiles étaient de 22 milliards de dollars américains en 1990 (Komanoff & Roelofs, 1993). Ainsi, à l'inverse des déplacements motorisés, les transports actifs ne génèrent aucune pollution sonore.

Par conséquent, ces modes de transports sont une voie non négligeable dans la réduction des dépenses de santé et l'amélioration des conditions de vie dans les zones urbaines.

2.1.1.2.2 Pollution visuelle

La pollution visuelle résultant des déplacements motorisés provient essentiellement des infrastructures mises en place pour faciliter la circulation. La fin du XXème siècle a vu l'explosion de la construction de routes, autoroutes, ponts, viaducs et tunnels toujours plus imposants ayant comme conséquence la production d'une pollution visuelle considérable dans la plupart des pays à travers le monde. En outre, telle que l'a révélé une étude belge portant sur l'espace requis par les individus pour se déplacer selon le mode de transport choisi, pour une

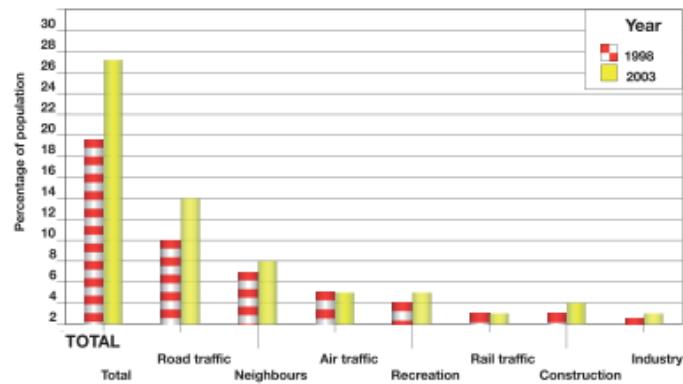


Figure 2-2 : Pourcentage de personnes victimes de nuisances sonores au Pays-Bas (Hurtley & Dagmar, 2009)

même période d'une heure, 2 000 automobiles peuvent circuler sur une voie de 3,5 mètres de large, contre 14 000 cyclistes ou 19 000 piétons (Dekoster & Schollaert, 1999). Il ne fait alors aucun doute que les transports actifs sont un moyen facile de réduire la pollution visuelle puisque les infrastructures requises pour ces modes de transports sont largement moins imposantes que pour les modes motorisés.

Finalement, le dernier aspect de la pollution visuelle concerne les places de stationnement. La multiplication des automobiles privées implique la création de nouveaux espaces de stationnement. Or, une étude a montré qu'à Lyon, une place de stationnement pour automobile est utilisée en moyenne par six individus par jour alors qu'un même espace utilisé pour le stationnement de bicyclettes

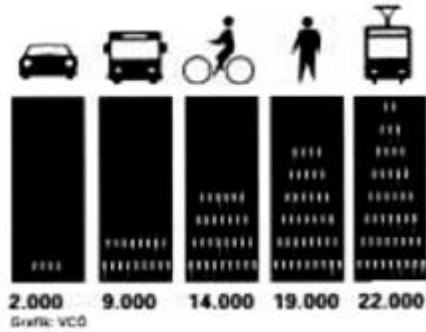


Figure 2-3 : Espace requis pour se déplacer suivant les différents modes de transport (Dekoster & Schollaert, 1999)

est utilisé par une quinzaine de personnes par jour (Bührmann, Rupprecht Consult Forschung, & Beratung GmbH, 2007). Le développement des transports actifs permet alors de réduire la création d'espaces de stationnement et par conséquent de diminuer la pollution visuelle.

2.1.1.2.3 Pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique est le facteur le plus étudié parmi les types de pollution générée par les modes de transport motorisés. Les émissions de gaz à effets de serre sont d'ailleurs devenues l'un des principaux indicateurs surveillés par les différentes agences environnementales. Comme il a été mentionné précédemment, le secteur des transports au Canada est responsable d'une grande partie de ces émissions (25 % des émissions des GES) (Transport Canada, 2006). Cependant, les modes de transport n'émettent pas tous la même quantité de produits polluants comme le CO₂. Par exemple, en analysant le rapport gramme de CO₂/passager-kilomètre, les transports actifs apparaissent comme étant les moins polluants alors que les voitures individuelles occupent la dernière position parmi les plus polluants, derrière les déplacements en avion (Instituto para la diversificacion y Ahorro de la Energia IDAE, 2007)(Figure 2-4).

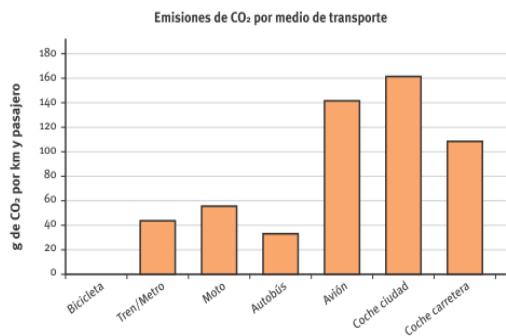


Figure 2-4 : Consommation énergétique des différents modes de transport par passager-kilomètre (IDAE, 2007)

Par ailleurs, une étude montre que la pollution atmosphérique est responsable en Europe de 40 000 à 120 000 décès chaque année (Dora & Phillips, 2000). De ce point vue, il est intéressant de souligner que contrairement aux idées reçues, ce sont les automobilistes qui sont les plus exposés aux principaux agents polluants (Gris Orange Consultant, 2009)(Figure 2-5). En effet, un automobiliste respirera trois fois plus de monoxyde de carbone et deux fois plus de dioxyde d'azote qu'un cycliste. Donc, les transports actifs, en tant que modes de transport non polluants, ouvrent une voie à la réduction de la pollution atmosphérique et également à la réduction des problèmes de santé, puisque les individus actifs sont moins exposés aux agents polluants que les conducteurs.

Pour terminer, il est important de considérer que la réduction de la pollution atmosphérique fait l'objet de nouveaux règlements dans plusieurs pays de l'OCDE. À titre d'exemple, les États-Unis ont adopté entre 1990 et 2010 plusieurs projets comme le *Intermodal Surface Transportation Efficiency Act* (ISTEA), le *Clean Air Act Amendment* (CAA) et enfin le *Transportation Equity Act 21* (TEA-21) pour obliger les états à prendre des mesures pour augmenter le nombre de déplacements en modes actifs (Noël & Lee-Gosselin, 2002).

2.1.1.2.4 Réduction de la consommation en énergie fossile

Il ne fait aucun doute que le développement des transports actifs permettrait une réduction de la consommation énergétique. Pour l'année 2004, à lui seul, le secteur des transports était responsable de 58 % de la consommation mondiale annuelle de pétrole, pour un total de 14,9 milliards de barils (Gilbert & Perl, 2010). Au Canada, l'évolution de la consommation de pétrole

Polluant	Exposition des cyclistes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Exposition des automobilistes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Monoxyde de carbone (CO)	2 670	6 730
Dioxyde d'azote (NO_2)	156	277
Benzène	23	138
Toluène	72	373
Xylène	46	193

Figure 2-5 : Comparaison des expositions des individus suivant le mode de transport (Gris Orange Consultant, 2009)

révèle que le secteur des transports se situe au second rang des domaines consommant le plus de pétrole, juste après l'industrie (International Energy Agency (IEA), 2010).

Enfin, l'analyse de la consommation des différents modes de transports montre que l'automobile reste l'un des modes les plus consommateurs, à l'inverse des modes actifs qui ont un bilan énergétique beaucoup plus favorable (voir en annexe 1 Figure 10-1). Ainsi, comme l'a démontré une étude américaine menée dans le début des années 1990, une légère augmentation des déplacements actifs, entre 0,4 % et 1,4 %, engendrerait une réduction de consommation de 10 à 37 millions de barils de pétrole annuellement (Komanoff & Roelofs, 1993). Devant de telles données, il est facile d'affirmer que le développement de ces modes de transport engendrerait une diminution de la consommation mondiale de pétrole.

2.1.2 Portrait de l'état du vélo dans le monde

Les taux d'utilisation de la bicyclette comme moyen de transport sont très inégaux entre les pays. Alors que les pays industrialisés ont de moins en moins recours au vélo au profit de l'automobile, la part modale que représente la bicyclette dans les pays en développement, et notamment en Asie, est encore très importante (Allaire, 2007). Pour ce qui est des pays industrialisés, une grande disparité apparaît également suivant les zones géographiques. Plusieurs pays européens, dont les Pays-Bas, l'Allemagne ou encore le Danemark, ont mis en place diverses initiatives politiques afin d'enrayer l'engouement de la population envers l'automobile.

Ainsi, les Pays-Bas, avec près de 27 % de déplacements accomplis en bicyclette pour se rendre au travail, le Danemark avec 18 % et la Suède avec 11 %, font figure de meneurs en ce qui a trait au développement de ce mode de transport (Pucher & Buehler, 2008)(Figure 2-6). D'après la Figure 2-6, le Canada se situe dans les pays ayant les plus faibles répartitions modales de la bicyclette pour les déplacements au travail. Encore une fois, la diversité de population et de climat au

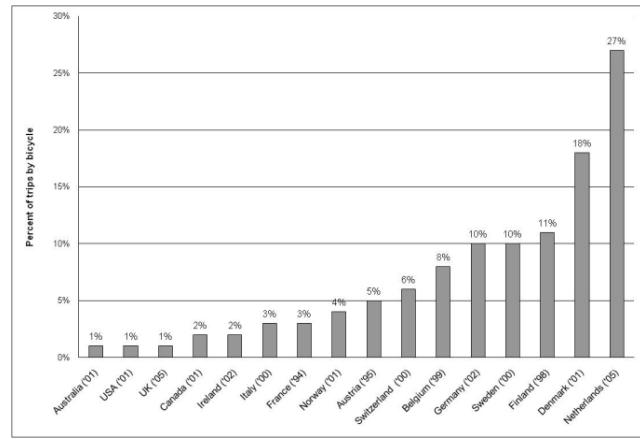


Figure 2-6 : Répartition modale de la bicyclette par rapport à l'ensemble des déplacements pour motif travail (Pucher & Buehler, 2008)

Canada, amène une grande disparité de l'utilisation de la bicyclette au sein même du pays, comme l'illustre le Tableau 2-2.

Ainsi, en 2006, c'est la ville de Vancouver qui possérait la plus forte utilisation de la bicyclette pour les déplacements au travail (3,7 %). Néanmoins, ce taux reste particulièrement faible lorsqu'on le compare aux pays européens dont les taux peuvent atteindre plus de 25 % pour l'ensemble du pays.

Tableau 2-2 : Répartition modale en fonction du mode par rapport aux déplacements pour motif travail (%) (Dobrovolny, 2009)

Ville	Vélo (%)		Marche (%)		Transport actif (%)	
	1996	2006	1996	2006	1996	2006
Vancouver	3.3	3.7	10.7	12.2	14.0	15.9
Victoria	4.9	5.6	9.8	10.4	14.7	16.0
Calgary	1.1	1.3	5.0	5.4	6.1	6.7
Montréal	1.0	1.6	5.9	5.7	6.9	7.3
Halifax	1.0	1.0	9.9	10.1	10.9	11.1
Canada	1.1	1.3	7.0	6.4	8.1	7.7

2.2 Facteurs influençant l'usage de la bicyclette

Le paragraphe précédent a montré qu'il existe une grande différence entre les taux d'utilisation de la bicyclette selon les différents pays et régions du monde. Devant de telles disparités, il semble intéressant d'essayer de comprendre d'où viennent ces différences et s'il existe des facteurs sociaux, environnementaux ou économiques qui ont pour conséquence de freiner le développement de ces modes de transport et de créer ces disparités. Bien entendu, la compréhension des facteurs influençant l'usage de la bicyclette et de la marche a déjà fait l'objet de très nombreuses études depuis plus de quarante ans. Par conséquent, l'objectif recherché dans cette section sera de présenter très brièvement les conclusions de certains auteurs ayant analysé l'impact de plusieurs facteurs sur l'utilisation de la bicyclette. En ce sens, les huit facteurs ayant été le plus souvent analysés ont été définis par Pucher et al. (1999) : le climat, la sécurité, les profils sociodémographiques, la taille et la densité des villes, la perception du vélo par le public, le coût des voitures et des transports publics, les revenus des ménages et la présence d'infrastructures cyclables. Finalement, il est important de souligner que les conclusions des études de que nous présenterons dans cette section reposent sur l'exploitation d'échantillons ciblés et ne sont donc pas toujours généralisables, tel que l'ont mentionné (Cleaveland & Douma, 2009; Krizek, Barnes, & Thompson, 2009).

2.2.1 Influence des infrastructures cyclables

Une des idées préconçues les plus populaires veut que la construction d'une infrastructure cyclable entraîne obligatoirement une augmentation de l'usage de la bicyclette par les individus résidant dans le secteur adjacent. Or, une analyse de la littérature montre que ce constat se doit d'être nuancé et que les impacts d'une nouvelle infrastructure sont très difficiles à mesurer. Avant de présenter les conclusions des études relevées, il convient de résumer les différents types d'infrastructures cyclables existantes.

2.2.1.1 Types d'infrastructures cyclables

Tout d'abord, il faut mentionner que les cyclistes ont légalement l'autorisation de circuler sur l'ensemble du réseau routier (à moins d'une restriction particulière comme pour les autoroutes) et qu'ils sont également soumis au code de la route. Les infrastructures propres à l'usage des cyclistes se divisent en quatre catégories : les accotements asphaltés, les chaussées désignées, les bandes cyclables et les pistes cyclables (Ministère des transports du Québec, 1998, 2005).

Cependant les deux plus couramment rencontrées sont :

- **Les bandes cyclables** : c'est une voie aménagée en bordure de la chaussée et réservée à l'usage exclusif des cyclistes. Les bandes cyclables sont séparées de la chaussée par un marquage au sol ou par une barrière physique. En outre, les bandes cyclables peuvent être unidirectionnelles (que ce soit dans le sens de la circulation ou non) ou bidirectionnelles. Enfin, il faut savoir que les bandes cyclables se subdivisent en quatre catégories en fonction de la présence de stationnement ou de protection complémentaire
- **Les pistes cyclables** : elles sont réservées exclusivement à la circulation cycliste et sont totalement séparées de la chaussée par une barrière physique. Elles peuvent également être unidirectionnelles ou bidirectionnelles.

2.2.1.2 Évaluation de l'impact des infrastructures

Parmi les quatre types d'infrastructures cyclables, seules les bandes et pistes cyclables font couramment l'objet d'analyse. En effet, les chaussées désignées et les accotements asphaltés sont des infrastructures routières qui ne pourvoient pas les cyclistes d'une zone propre et distincte, rendant l'analyse de l'impact de ces infrastructures sur le nombre de cyclistes très complexe. Ainsi, nous ne présenterons que les bilans des études sur les bandes et pistes cyclables.

2.2.1.2.1 *Impact des bandes cyclables*

La majorité des études sur l'influence des bandes cyclables sur l'usage de la bicyclette, analysant plusieurs paramètres simultanément, démontrent qu'il existe une corrélation positive entre la présence de bandes cyclables et le niveau d'utilisation du vélo (Dill & Carr, 2003; Nelson & Allen, 1997; Parkin, Wardman, & Page, 2008; Pucher & Buehler, 2005). De façon plus précise, Krizek et Johnson (2006) ont noté que l'augmentation de l'utilisation des bandes cyclables est corrélée à la présence de quartiers résidentiels à moins de 400 m. Par ailleurs, Dill et Carr (2003) confirment l'existence d'une corrélation positive entre la présence de bandes cyclables et le niveau d'usage de la bicyclette, et remarquent que la construction d'un kilomètre de bandes cyclables implique une augmentation de 1 % du taux d'utilisation du vélo pour les déplacements dont le motif est le travail. Dans un même ordre d'idées, d'autres études menées en Oregon et à Phoenix démontrent que les cyclistes sont prêts à modifier leurs parcours afin de circuler sur des bandes cyclables (Dill & Gliebe, 2008; Howard & Burns, 2001). Néanmoins, il est à noter que cette conclusion est l'inverse des constats relevés dans l'étude de Aultman-Hall, Hall, & Baetz (1997). De plus, Vernez-Moudon et al. (2005) établissent que la probabilité qu'une personne vivant à 800 m d'une bande cyclable se déplace en vélo est 20 % plus élevée que ceux situés à 2,5 km. Par contre, ils concluent qu'il est impossible d'évaluer si la bande cyclable est responsable de ce phénomène et si les usagers utilisent la bande cyclable. Parallèlement, plusieurs études provenant de l'analyse de questionnaires complétés par des cyclistes révèlent que, dans la majorité des cas, les cyclistes préfèrent les bandes cyclables plutôt qu'aucune infrastructure et que les cyclistes expérimentés favorisent l'utilisation des bandes cyclables plutôt que les pistes cyclables (Abraham, McMillan, Brownlee, & Hunt, 2002; Antonakos, 1994; Goldsmith, 1993; Hunt & Abraham, 2007; Landis, Vattijuti, & Brannick, 1998; Parkin, et al., 2008; Stinson & Bhat, 2005; Tilahun, Levinson, & Krizek, 2007; Wardman, Tight, & Page, 2007).

Finalement, il est pertinent de mentionner que certaines études concluent que les bandes cyclables n'ont aucune influence sur le niveau d'utilisation de la bicyclette (Cervero, Sarmiento, Jacoby, Gomez, & Neiman, 2009; Dill & Voros, 2007; Vernez-Moudon, et al., 2005).

2.2.1.2.2 *Impact des pistes cyclables*

Pour ce qui est des pistes cyclables, une étude prouve qu'il existe une corrélation entre la présence de pistes cyclables et le niveau d'utilisation du vélo (Vernez-Moudon, et al., 2005). Cependant, ces résultats sont en opposition avec ceux de Krizek et Johnson (2006) qui démontrent qu'il n'y a aucune corrélation entre la probabilité de faire du vélo et la proximité de pistes cyclables. En outre, l'analyse des réponses à un questionnaire dévoile que 40 % des cyclistes interrogés préfèrent allonger leur temps de déplacement pour circuler sur des pistes cyclables plutôt que de passer par les routes ou bandes cyclables (Shafizadeh & Niemeier, 1997). Enfin, deux études sur les femmes indiquent qu'elles préfèrent les pistes cyclables aux bandes cyclables ou autres infrastructures et que 20 % d'entre elles changeraient de mode de déplacement s'il n'y avait pas ces infrastructures (Garrard, Rose, & Lo, 2008; Rose & Marfurt, 2007).

Il apparaît alors clairement au travers de ces recherches que l'influence des infrastructures sur le niveau d'utilisation de la bicyclette est très difficile à mesurer. De toute évidence, on peut noter que la présence d'infrastructures ne nuit pas au développement du vélo et que l'utilisation qui en est faite varie en fonction de plusieurs critères, dont la sociodémographie.

2.2.2 Influence de la météorologie

Au premier abord, il est souvent supposé que les conditions météorologiques sont l'un des facteurs les plus influents dans le choix de l'utilisation des modes de transport actifs. Or, l'examen de la littérature révèle que peu d'études ont tenté de mesurer l'influence de ces facteurs sur l'usage de la bicyclette et qu'encore une fois, leur analyse est particulièrement difficile à accomplir.

Tout d'abord, l'analyse de l'influence de la météorologie doit se faire en deux temps, selon l'étude du climat (période à long terme comme les saisons) ou encore de la météo (période à court terme comme les journées) (Nankervis, 1999).

Au niveau du climat, les conclusions de Nankervis (1999) indiquent que les saisons ont un impact très significatif sur les niveaux d'utilisation de la bicyclette. Sans grande surprise, le nombre de déplacements en vélo atteint son maximum en été puis diminue lentement en automne, chute brutalement en hiver avant de remontrer progressivement au printemps. Bergström &

Magnusson (2003) obtiennent des résultats similaires et précisent que, dans leur échantillon, les déplacements en voiture augmentent de 27 % entre l'été et l'hiver alors que les déplacements en bicyclette diminuent de 36 % au cours de la même période. Il est aussi intéressant de souligner que 43 % des personnes interrogées lors de leur enquête déclarent qu'ils utiliseraient davantage leur bicyclette en hiver si les infrastructures étaient mieux entretenues. Enfin, le climat général du pays n'est pas, a priori, un facteur majeur dans l'usage de la bicyclette puisque, comme l'ont montré Pucher & Buehler (2008), les pays du nord de l'Europe comme le Danemark, les Pays-Bas ou encore la Suède, ont des niveaux d'utilisation de la bicyclette largement supérieurs à ceux des pays du sud comme la France, l'Italie ou l'Espagne dont le climat est beaucoup plus chaud pendant l'hiver.

Pour ce qui est de l'impact des conditions météorologiques quotidiennes, trois facteurs peuvent avoir une influence plus ou moins importante : la température, les précipitations et le vent (Nankervis, 1999). Un problème majeur ressort de cette étude : il y a pratiquement toujours une combinaison de ces facteurs. Ainsi, il existe une très grande possibilité de combinaisons entre ceux-ci, comme des temps froid et pluvieux, chaud et venteux, etc. Il devient alors difficile de déterminer de manière rigoureuse lequel de ces facteurs a le plus d'impact sur le choix modal, d'autant plus que les données pour chacun de ces trois paramètres sont rarement disponibles pour une même journée. En règle général, il ressort également des études que les personnes utilisant le vélo de façon quotidienne (notamment les déplacements pour motif travail), sont beaucoup moins sensibles aux variations météorologiques que les usagers occasionnels (Brandenburg, Matzarakis, & Arnberger, 2004; Hanson & Hanson, 1977; Miranda-Moreno & Nosal, 2010; Nankervis, 1999). De plus, d'après les différentes recherches, il s'avère que la température a un impact modéré sur l'usage de la bicyclette (Goldsmith, 1993; Komanoff & Roelofs, 1993) et que les personnes sont beaucoup plus sensibles au froid qu'au chaud (Nankervis, 1999; Parkin, et al., 2008). Lors de l'étude du système de vélopartage OYBike à Londres, Noland & Ishaque (2006) remarquent aussi que 10 % des transactions sont effectuées lorsqu'il fait moins de 15°C alors que 70 % sont opérées avec des températures de plus de 25°C. Ensuite, pratiquement l'unanimité des chercheurs confirme que les précipitations sont le facteur le plus dissuasif pour l'usage de la bicyclette (Ashley & Banister, 1989; Brandenburg, et al., 2004; Goldsmith, 1993; Hanson & Hanson, 1977; Komanoff & Roelofs, 1993; Miranda-Moreno & Nosal, 2010; Nankervis, 1999). Hanson & Hanson (1977) ajoutent que les usagers occasionnels sont les plus affectés par les

précipitations et que le choix modal dépend également de la couverture nuageuse à 7h du matin. Le vent est un facteur rarement documenté dans les différentes recherches. Ainsi, seul (Nankervis, 1999) avance que c'est un facteur ayant une influence significative dans le choix modal d'utiliser un vélo, mais ce résultat n'est pas confirmé par d'autres études. Finalement, une étude récente porte sur l'influence des conditions météorologiques sur les cyclistes de Montréal (Miranda-Moreno & Nosal, 2010). Parmi les principales conclusions, il ressort que lorsque la température double le nombre de déplacements en vélo augmente entre 43-50 %. Parallèlement, lorsque la température est supérieure à 28°C avec un taux d'humidité de plus de 60 %, le nombre de déplacements en vélo diminue. Finalement, ils observent une hausse du nombre de trajets en vélo entre 32-39 % entre le mois d'avril et les mois d'été.

2.2.3 Influence des autres facteurs

La documentation trouvée lors de notre recherche s'intéresse également à de très nombreux facteurs pouvant avoir une influence sur les niveaux d'utilisation de la bicyclette. Ce paragraphe n'a alors pour objectif que de présenter sommairement certains facteurs relevés fréquemment dans la littérature.

2.2.3.1 Topographie

Plusieurs études essayent de déterminer si la topographie du terrain joue un rôle dans le choix modal des individus d'utiliser la bicyclette. Les recherches obtenues révèlent que la topographie a un impact modéré dans le choix modal en comparaison à d'autres facteurs comme la présence d'infrastructures (Goldsmith, 1993; Hunt & Abraham, 2007; Parkin, et al., 2008; Rietveld & Daniel, 2004; Stinson & Bhat, 2005). Une conclusion assez surprenante de Stinson & Bhat (2005), met de l'avant le fait que les cyclistes inexpérimentés préfèrent les terrains plats aux terrains montagneux alors que les cyclistes expérimentés semblent plus attirés par les terrains vallonnés. Finalement, Timperio et al. (2006) confirment l'influence de la topographie sur les déplacements en bicyclette en remarquant que les enfants situés sur des terrains plats sont plus susceptibles de circuler en bicyclette pour se rendre à l'école que ceux habitant dans un environnement escarpé.

2.2.3.2 Les installations sur le réseau et en fin de parcours

Les places de stationnements pour bicyclette ainsi que l'ensemble des services de fin de parcours, comme les douches ou casiers pour les vêtements, sont des installations faisant couramment l'objet d'études.

Pour les installations de fins de parcours, Wardman et al. (2007) ont montré que ces éléments ont un impact sur le choix modal des personnes d'utiliser leur bicyclette. Toutefois, Hunt & Abraham (2007) arrivent à la conclusion que l'influence de ces installations reste très modérée. À l'opposé, Abraham et al. (2002) ne trouvent aucune corrélation positive entre la présence de ces installations et le niveau d'utilisation de la bicyclette.

En revanche, la présence de stationnements pour bicyclette s'avère être un élément favorable au développement du vélo. En effet, plusieurs études montrent que la perception des cyclistes change lorsqu'il y a des stationnements en fin de parcours, favorisant les déplacements en bicyclette (Abraham, et al., 2002; Hunt & Abraham, 2007; Robert B. Noland & Kunreuther, 1995; Wardman, et al., 2007). Enfin, une étude révèle que la présence de stationnements pour bicyclette dans les gares de transport en commun est très favorable au développement du vélo et contribue également à développer les déplacements bimodaux (Taylor & Mahmood, 1996).

2.2.3.3 Sécurité sur les routes

Il est désormais acquis que la route constitue un environnement dangereux pour l'ensemble des usagers qu'ils soient motorisés ou non. Cependant, plusieurs études mettent en avant le fait que les dangers sont inégaux entre les personnes. Par exemple, il apparaît qu'en Norvège, les cyclistes courraient 7,5 fois plus de risques de blessures que les automobilistes (Elvik, 2009). De même, aux États-Unis, les décès de cyclistes sont 11 fois plus importants par kilomètre parcouru que ceux des occupants d'automobiles alors qu'ils n'opèrent qu'environ 1 % de l'ensemble des déplacements (Pucher & Dijkstra, 2000). Face à ces conclusions, les chercheurs ont essayé d'expliquer les raisons de ces blessures et ont examiné l'impact de la sécurité routière sur les choix modaux. Ces études fournissent des éléments permettant d'attester que la perception de la sécurité sur les routes est fondamentale dans le choix des cyclistes d'utiliser le vélo comme mode de transport (Goldsmith, 1993; Kim, Kim, Ulfarsson, & Porrello, 2007; Pucher & Dijkstra, 2003; Pucher, et al., 1999). Parmi les points soulevés pour modifier la perception de la sécurité, il apparaît d'une part, que la connectivité et l'accessibilité du réseau de pistes cyclables sont

cruciales pour assurer une perception positive des déplacements en bicyclette (Cleaveland & Douma, 2009; Pucher, et al., 1999) et, d'autre part, de nombreux auteurs soulignent que la multiplication des déplacements en bicyclette a un effet positif sur l'amélioration de la sécurité de ce mode de transport (Pucher & Dijkstra, 2000; Robinson, 2005). À cet égard, deux études montrent que la multiplication d'infrastructures et l'augmentation du nombre de cyclistes permettent aux conducteurs d'être plus vigilants face à ce mode de transport, ce qui a, conséquemment, un impact sur le nombre d'accidents (Goldsmith, 1993; Van Houton & Seiderman, 2005). Cet impact est relevé en Europe où on constate une diminution drastique des accidents avec l'augmentation du nombre de cyclistes (Elvik, 2009; Jacobsen, 2003; Pucher & Buehler, 2008; Robinson, 2005). En conclusion, il faut noter que la perception de la sécurité sur les routes joue un rôle clé dans le choix du mode de transport, mais que cette vision peut être rapidement modifiée par l'augmentation du nombre de cyclistes sur les routes et par l'amélioration de la connectivité des infrastructures cyclables.

2.2.3.4 Quartier

L'analyse des types de quartiers semble également intéressante pour déterminer les caractéristiques influençant l'usage de la bicyclette. Tout d'abord, l'étalement urbain est largement documenté comme étant un facteur néfaste pour les déplacements actifs. En effet, l'allongement des distances entre les résidences et les différents lieux d'activités, créé une barrière infranchissable avec les modes actifs (Cervero & Duncan, 2003; Goldsmith, 1993). En revanche, les quartiers avec une forte densité de population, ainsi qu'un équilibre de commerces de détail et de services de proximité sont des facteurs nécessaires aux développements de la bicyclette, car ils permettent des déplacements de petites distances (Cervero, 1996; Pucher, et al., 1999; Rietveld & Daniel, 2004). Enfin, un point dont les chercheurs font souvent état concerne la présence d'universités dans la ville. En effet, comme les étudiants ont une motorisation plus faible, ils utilisent généralement davantage la bicyclette que les travailleurs. C'est pour cette raison qu'il existe une corrélation positive entre la présence d'universités dans une ville et le niveau d'utilisation du vélo (Baltes, 1996; Nelson & Allen, 1997; Rajamani, Bhat, Handy, Knaap, & Song, 2003).

2.2.3.5 Facteurs reliés à l'emploi

Pour finir, ce dernier paragraphe traite de l'ensemble des facteurs reliés à l'emploi. En effet, Heinen, Wee et Maat (2009) ont mené une enquête au Pays-Bas auprès de travailleurs pour évaluer les facteurs qui influencent leurs choix modaux. Il ressort de cette étude que de très nombreux facteurs interviennent tels les vêtements à porter au travail, les multiples déplacements pendant la journée, les objets à transporter, la perception des collègues, le nombre d'heures et les plages horaires de travail, les niveaux de qualifications et de revenue, etc. Les modèles construits dans cette enquête révèlent que les facteurs influençant le plus négativement l'usage de la bicyclette sont le niveau élevé de revenus, la motorisation et le travail dans des administrations tandis que le nombre de jours et les plages horaires de travail ou encore la perception des collègues semblent avoir un effet beaucoup plus modéré. Plusieurs autres conclusions sont proposées dans ce document, mais peu d'études permettent de confirmer les tendances relevées.

2.3 Estimation du potentiel du vélo

Comme il a été mentionné dans l'introduction, la première partie de ce mémoire consiste à dresser le portrait de l'usage de la bicyclette au Québec et plus particulièrement à Montréal grâce à l'analyse de l'enquête Origine-Destination de 2008. En effet, cette enquête est d'autant plus intéressante puisqu'elle a eu lieu entre septembre et décembre 2008, soit quelques mois seulement avant la mise en service du programme de vélopartage BIXI. En plus des statistiques descriptives fondamentales de l'état du vélo, nous proposerons une méthodologie pour estimer le potentiel du vélo. Cette estimation sera réalisée en deux temps : d'une part nous proposerons un modèle permettant de connaître la probabilité qu'un individu utilise le vélo pour son déplacement, et, d'autre part, nous estimerons d'après l'enquête Origine-Destination le nombre de déplacements accomplis en automobile pouvant être convertis en déplacements en bicyclette. Ce paragraphe a alors pour but de présenter certains auteurs ayant réalisé des études similaires d'estimation et de modélisation du potentiel du vélo.

Tout d'abord, le modèle que nous proposerons s'appuie sur les travaux déjà effectués sur la marche par Morency, C. et al. (2011). En effet, dans leur étude, ils proposent un modèle portant sur l'enquête Origine-Destination de Montréal tenue en 2003 pour estimer la probabilité qu'une personne se déplace à pied lors de ses déplacements quotidiens. Ainsi, une démarche similaire

sera appliquée pour construire le modèle de l'estimation du potentiel du vélo. Par ailleurs, notre étude s'appuiera aussi sur le concept de « pas en réserve » (*Steps in Reserve*) développé par Morency et al. (2009). Dans cette recherche, les chercheurs ont tenté d'évaluer les pas supplémentaires que les individus pourraient réaliser s'ils changeaient de mode de transport.

Ensuite, l'estimation du potentiel de déplacements en automobile convertibles en déplacements actifs s'appuiera sur plusieurs méthodes développées par divers chercheurs. Ainsi, une telle estimation a déjà été opérée pour la région parisienne (Massot & Armoogum, 2002). La démarche utilisée pour déterminer les déplacements potentiellement transférables a été résumée sous forme d'un arbre décisionnel qui est présenté en annexe 2 sur la Figure 10-2. Leur démarche repose sur une série de cinq principes permettant de réaliser les étapes de façon séquentielle. Les principes sont les suivants :

- Principe 1 : il faut tenir compte des chaînes de déplacements pour vérifier si l'un des déplacements de la chaîne oblige l'utilisation de l'automobile. Si tel est le cas, alors l'ensemble de la chaîne n'est pas transférable.
- Principe 2 : la procédure doit être séquentielle c'est-à-dire qu'elle recommence pour chaque nouveau déplacement au départ du domicile de la personne.
- Principe 3 : le nouveau temps de parcours calculé avec un des nouveaux modes doit respecter les contraintes de budget-temps de transport journalier de l'individu avec une augmentation maximale de 30 minutes.
- Principe 4 : Les motifs de déplacements « magasinage » et « raccompagner/aller chercher quelqu'un » sont exclus des déplacements potentiellement transférables.
- Principe 5 : Les déplacements peuvent être transférés selon trois autres modes : la marche, le vélo et le transport en commun. Chacun de ces modes a ses propriétés particulières (distances et vitesses de déplacement) pour les différencier.

Une autre étude a été opérée pour le cas de la ville de Lyon respectant ces principes (Bonnel, Caubel, & Mignot, 2005). Par ailleurs, d'autres chercheurs ont également appliqué une démarche sensiblement identique pour le cas de la ville de Madrid avec une contrainte supplémentaire sur les déplacements effectués la nuit (entre 22h et 6h du matin les déplacements ne peuvent être transférés pour des raisons de sécurité et également du fait du manque d'offre de transport en

commun) (Monzon & Vega, 2006). En outre, Bergström & Magnusson (2003) ont analysé les déplacements transférables en hiver pour une ville de Suède avec une démarche très similaire.

Pour finir, il faut savoir que de nombreux auteurs se sont intéressés aux différentes distances de déplacement suivant les modes de transport (El-Geneidy, et al., 2010; Iacono, Krizek, & El-Geneidy, 2008; Lott, Tardiff, & Lott, 1977). Ces études permettent de déterminer les distances franchissables par les individus suivant les divers modes et motifs de déplacements et plusieurs d'entre elles ont servi de justificatifs pour les hypothèses proposées dans cette étude.

2.4 Le vélopartage

Un peu partout dans le monde, les nouveaux besoins de mobilité des citadins obligent les gouvernements et agences de transport à améliorer constamment l'offre de transport public. Depuis une quinzaine d'années, un nouveau mode de transport urbain a connu un essor particulièrement important dans de nombreuses agglomérations : le vélopartage.

2.4.1 Définition du vélopartage

Malgré la popularité croissante de ce nouveau mode de transport urbain, aucune définition officielle du vélopartage n'existe à l'heure actuelle. Une des définitions les plus complètes est donnée par Gris Orange Consultant (2009) dans un rapport d'étude pour Transport Canada, où le vélopartage y est défini comme « *un parc de vélos mis à la disposition des usagers qui peuvent prendre une bicyclette et la rapporter à n'importe quelles des stations du réseau. Les vélos partagés sont accessibles à l'ensemble des citoyens pour des déplacements de courtes durées, gratuitement ou moyennant des frais d'utilisation peu élevés* ». De plus, il est important de noter que l'on retrouve dans la littérature une multitude de termes faisant référence au concept de vélopartage parmi lesquels : vélos en libre service, vélos-partagés, smartbike, bike-sharing, bike share, citybike, freebikes, Community Bicycles, etc.

En outre, il convient de bien distinguer le concept de vélopartage de celui de location traditionnelle d'une bicyclette. En effet, le vélopartage offre une alternative de mobilité aux personnes pour des déplacements quotidiens et s'inscrit dans l'offre de transport public alors que la location traditionnelle de bicyclette est orientée vers les loisirs (Mlasowsky, 2008). Dans la comparaison entre ces deux systèmes, Gris Orange Consultant (2009) apporte une précision « *le*

vélopartage suppose des périodes d'utilisation plus courtes et un plus grand nombre d'usagers par jour de location ». En complément, Beroud (2009) ajoute trois principales distinctions entre le service de vélopartage et la location traditionnelle de bicyclettes reposant sur la possibilité pour le client :

- d'accéder à un programme de bicyclettes en libre-service ouvert 24h/24 et 7j/7. Cette flexibilité est issue des systèmes de troisième et quatrième générations entièrement automatisés. L'utilisateur effectue l'ensemble des opérations de location, de dépôt ainsi que le paiement du service de manière totalement autonome.
- d'emprunter et de déposer sa bicyclette à n'importe quel point du réseau sans aucune restriction spatiale et pour une durée indéfinie au moment de la transaction. Le succès des programmes de vélopartage repose sur la maximisation de la couverture spatiale des stations afin d'augmenter les possibilités d'origines et de destinations des parcours.
- de louer une bicyclette uniquement pour la durée du trajet à un prix très peu élevé.

À l'inverse, la location traditionnelle consiste à se rendre dans un magasin spécialisé et à procéder à une location pour une durée fixée, généralement de quelques heures à une journée complète, avec un point de retour prédéfini. L'usager n'a pas la possibilité d'entreposer le vélo dans un endroit pour suspendre le paiement pendant les heures d'inutilisation et, enfin, il doit se contraindre à aller chercher et rendre sa bicyclette pendant les heures d'ouverture de la boutique.

Une autre différence majeure entre les deux programmes concerne le type de bicyclettes disponibles. Dans un programme de vélopartage, les bicyclettes sont standardisées et dépourvues d'accessoires complémentaires pour faciliter l'accès à l'ensemble de la population et prévenir les risques de vandalisme tandis que dans la location traditionnelle, les vélos sont adaptés aux clients en fonction du profil de la personne et du type d'usage envisagé. Plusieurs accessoires tels que des casques, cadenas, portes-bagages, sacoches et gourdes d'eau peuvent être fournis avec la location. Ces différences montrent que le vélopartage et la location de vélo traditionnelle sont destinés à des clientèles et usages distincts.

2.4.2 Historique du vélopartage

Depuis près de 45 ans, le développement du vélopartage s'est effectué au rythme des avancées technologiques. Alors que les premiers programmes consistaient tout simplement à disposer des

bicyclettes sans cadenas dans les rues des villes, les dernières innovations permettent de constituer un réseau de stations et de bicyclettes totalement automatisé et contrôlé en temps réel grâce aux nouvelles technologies informationnelles. L'évolution du vélopartage se résume en quatre générations de système.

2.4.2.1 Première génération de vélopartage

Le premier service de vélopartage officiel a vu le jour le 28 juillet 1965 à Amsterdam sous le nom de Witte Fietsen, lorsqu'un résident, Luud Schimmelpennink, mit à la disposition des citoyens, cinquante bicyclettes (Beroud, 2009). Entièrement peinte en blanc, la flotte était accessible à l'ensemble des citoyens qui pouvaient emprunter une bicyclette, se déplacer et la déposer à destination pour un nouvel utilisateur. Ce service aurait été conçu pour réduire le nombre de vols de bicyclettes de particuliers, en supposant que l'accessibilité à une flotte de vélos publique et gratuite dissuaderait les voleurs (Gris Orange Consultant, 2009). Malheureusement, n'ayant aucun moyen opérationnel pour gérer le parc, l'intégralité de la flotte disparut en quelques jours et le programme s'acheva (De Maio, 2008). Dans le cadre du « plan de vélo vert », d'autres villes comme La Rochelle en 1974, Milan dans les années 1980 ou Cambridge en 1993 mirent en place des systèmes de vélopartage de première génération (Britton, 2008; Shaheen, Guzman, & Zhang, 2010). Cependant, quelques jours après le lancement du projet, pratiquement l'intégralité des 300 bicyclettes disponibles à Cambridge avait disparu, ce qui mit fin au programme (Midgley, 2009). Seul le programme de La Rochelle, lancé par le ministre de l'Environnement Michel Crépeau, resta en activité grâce à plusieurs réorganisations et put être considéré comme l'un des premiers succès d'un programme de vélopartage (Britton, 2008). Cette toute première génération de bicyclettes en libre service est regroupée sous l'appellation White Bikes, en référence à la couleur blanche facilement repérable de la toute première flotte de vélos accessibles à tous les citoyens (De Maio, 2008; Shaheen, et al., 2010).

2.4.2.2 Deuxième génération de vélopartage

Il faut attendre les années 1990 pour voir apparaître dans les villes danoises de Farsø, Grenå et Nakskov un nouveau programme de vélopartage comportant les améliorations permettant de surpasser les problèmes rencontrés lors des premières implantations (De Maio, 2008). Parmi les innovations majeures, les concepteurs ont imaginé des vélos hors-normes avec des pièces fabriquées sur mesure dans le but d'empêcher les individus de démonter les bicyclettes et

d'utiliser les pièces pour un usage privé (Gris Orange Consultant, 2009). De plus, au lieu d'être directement disposées dans les rues de la ville, les bicyclettes en libre service sont entreposées entre chaque usage sur un support exclusivement conçu à cet effet. Dès lors, l'utilisateur doit fournir un dépôt sous forme monétaire pour déverrouiller une bicyclette, exactement comme le système proposé pour les chariots des magasins à grande surface. Lors du retour du vélo à l'un des points d'ancrage, l'usager peut récupérer sa monnaie (Beroud, 2007). Finalement, la dernière innovation apportée concerne la zone de déploiement du système. Alors que dans les projets précédents les utilisateurs pouvaient se rendre dans n'importe quel lieu avec les bicyclettes, les nouveaux programmes possèdent une délimitation spatiale prédefinie. Toutes les personnes franchissant la zone limite sont sujettes à recevoir une contravention (Beroud, 2009). Ce sont ces différentes innovations qui caractérisent la seconde génération de vélopartage baptisée : Coin Desposit System (Shaheen, et al., 2010), en référence au dépôt de monnaie exigé lors de l'emprunt.

Cette seconde génération de vélopartage sera déployée à grande échelle en 1995 à Copenhague, au Danemark. Le programme Bycyklen København était alors composé de près de 1 100 bicyclettes réparties à travers la ville. Les usagers devaient insérer une pièce de 20 couronnes danoises (3\$US) pour déverrouiller un vélo de la borne (Shaheen, et al., 2010). Toutefois, les problèmes de vol et de vandalisme sur les vélos ont persisté malgré l'ensemble des innovations apportées, provoquant entre 17 et 18 % de bicyclettes volées à la fin de la première saison d'exploitation (Beroud, 2009). Ces dégradations sont principalement le résultat de l'anonymat des usagers du système, du très faible coût d'emprunt des bicyclettes et surtout de l'incapacité pour les gestionnaires du système de retrouver les délinquants (De Maio, 2009). Quoi qu'il en soit, le système Bycyklen København est toujours en activité et ce sont maintenant près de 2 000 bicyclettes distribuées dans 110 stations qui sillonnent la ville de Copenhague (Bycyklen København, 2009a). Peu de temps après ce déploiement à Copenhague, plusieurs villes ont mis en place des réseaux de vélopartage de seconde génération en suivant le même modèle. C'est le cas de : Bysykkel en Norvège (1996), City Bikes en Finlande (2000) ou encore Bycyken au Danemark (2005) (Shaheen, et al., 2010).

Finalement, comme il a été précédemment mentionné, la seconde génération de vélopartage se dissocie principalement de la première par l'apparition des bornes d'entreposage des bicyclettes et par l'abolition de la gratuité du système (Shaheen, et al., 2010). Toutefois, (Bonnette, 2007)

mentionne que malgré l'introduction d'un nouveau mode de transport urbain par ces deux premières générations de vélopartage, les systèmes ne sont pas assez fiables pour offrir une réelle alternative de transport pour les citoyens. Ainsi, des transformations supplémentaires doivent être façonnées pour que ce mode de transport trouve une place plus importante dans l'éventail de choix des citadins.

2.4.2.3 Troisième génération de vélopartage

La troisième génération de vélopartage découle directement de l'explosion des capacités des technologies informationnelles, notamment de l'exploitation des cartes à puce. Ces innovations permettent la traçabilité de l'utilisateur et de la bicyclette sur l'ensemble du réseau, et du même coup réduisent de manière importante les principales causes d'échec des systèmes de vélopartage relevées par les bilans des programmes implantés : le vandalisme et les vols de bicyclettes ainsi que le manque de fiabilité du service. Les technologies informationnelles permettent de remédier à ces problèmes puisque l'accès au service de vélopartage nécessite désormais une inscription préalable au système et le paiement requiert une carte de crédit. Grâce à ces informations, l'opérateur est alors en mesure d'identifier ses clients, et, par le fait même de réduire considérablement les risques de vandalisme (De Maio & Gifford, 2004). Parallèlement, l'utilisateur peut également suivre l'évolution du système en temps réel sur Internet, permettant une amélioration considérable du niveau de fiabilité des programmes de vélopartage (Shaheen, et al., 2010). Au niveau de la mise en œuvre de ces technologies, l'ébauche de ce que sera la troisième génération de vélopartage est déployée en 1996 à Portsmouth à l'Université d'Angleterre. Le système implanté permet aux étudiants d'avoir accès à une bicyclette grâce à leur carte magnétique d'étudiant. En la glissant dans la borne, un système automatisé provoque la libération du vélo (De Maio, 2008). Cette première tentative de déploiement ouvre une voie à la mise en place d'infrastructures pour gérer un système de vélopartage de troisième génération. De plus, à la même époque, une autre tentative est menée à Amsterdam avec le projet Depo Bike. Paradoxalement, ce programme contenant toutes les innovations de la troisième génération est un échec. Un problème de robustesse dans le système d'ancrage serait l'une des principales causes de ce fiasco (Beroud, 2007). Finalement, c'est en 1998 qu'a lieu le premier succès issu du déploiement d'un système de vélopartage de troisième génération avec le programme Vélo à la Carte, mis en place dans la ville de Rennes (Clear Channel, 2010). La technique développée

consiste à exploiter les cartes de crédit et également à créer une nouvelle génération de stations entièrement automatisées grâce à un concept révolutionnaire de verrouillage robuste à commande électronique (Gris Orange Consultant, 2009).

Malgré les percées technologiques et le développement de programmes de vélopartage de troisième génération dans plusieurs villes d'Europe, comme le programme Call a Bike en Allemagne (2000), ce nouveau mode de transport urbain ne suscite que très peu d'intérêt ailleurs en Europe (Gris Orange Consultant, 2009). Il faut attendre en 2005 lorsque la ville de Lyon, deuxième plus grande ville française, fait le pari de développer le plus important réseau de vélopartage de troisième génération au monde avec un déploiement massif de près de 1 500 bicyclettes (De Maio, 2009). En cinq mois, le programme compte plus de 30 000 abonnés (Vélo'V, 2005) et l'engouement pour le programme ne fait que commencer puisqu'en novembre 2008 ce sont plus de 40 millions de kilomètres qui auront été parcourus par les utilisateurs du système (Vélo'V, 2008). Ainsi, c'est grâce à la réussite du programme Vélo'V de la ville de Lyon que le vélopartage de troisième génération a acquis une crédibilité vis-à-vis des citoyens dans leur choix de modes de transport urbain (Gris Orange Consultant, 2009). En définitive, les innovations apportées par les technologies informationnelles comme la traçabilité des clients et des bicyclettes ainsi que les facilités de paiement dues aux cartes de crédit caractérisent le vélopartage de troisième génération (De Maio, 2009). Dans la littérature, cette troisième génération est désignée par le terme : IT-based system (Shaheen, et al., 2010).

2.4.2.4 L'avenir et la quatrième génération de vélopartage

La dernière génération de vélopartage a été développée en vue du déploiement à Montréal du système BIXI au printemps 2009. Les principales avancées technologiques imaginées découlent des contraintes imposées par la mise en place d'un système de troisième génération plus exigeant technologiquement et du contexte particulier des pays nordiques. En effet, les pays nordiques tels que le Canada ou les pays scandinaves sont sujets à des hivers rigoureux. Ceci a pour conséquence, d'une part, de diminuer radicalement le nombre d'utilisateurs potentiels pendant l'hiver et, d'autre part, d'augmenter les risques de dégradation prématûre du matériel lors des opérations de déneigement et d'entretien des réseaux routiers. Il apparaît alors indispensable pour les villes des pays nordiques qui souhaiteraient acquérir un système de vélopartage, de pouvoir mettre à l'abri le matériel pendant la période hivernale. De plus, les systèmes de vélopartage de

troisième génération nécessitent des travaux d'excavation et de préparation de site très importants. Ces travaux génèrent de la pollution lors de l'édification des infrastructures et causent des désagréments pour les citoyens (BIXI Système, 2009). L'établissement d'un tel réseau a aussi pour effet d'augmenter considérablement les coûts pour les opérateurs de vélopartage (Beroud, 2009). C'est ainsi que la première innovation de la quatrième génération de vélopartage concerne la station. En effet, celle-ci est entièrement portable et ne requiert aucune infrastructure permanente (BIXI Système, 2010), répondant aux deux principales contraintes énoncées plus haut. La seconde innovation découle de la première puisque l'absence d'infrastructure permanente constraint les opérateurs à revoir le système afin de remplacer le câblage électrique de la station par un réseau sans fil protégé, qui est alors instauré entre la station, les bornes à verrouillage automatique et le système de gestion de l'opérateur. En outre, l'énergie nécessaire pour le fonctionnement de la station est produite par un panneau solaire directement raccordé à la station (BIXI Système, 2010).

Pour terminer, il est important de mentionner que des chercheurs proposent des pistes de réflexion pour d'autres innovations potentielles. Shaheen et al. (2010) soumettent l'idée d'intégrer un dispositif GPS (Global Positioning System) sur les vélos afin de pouvoir, d'une part, évaluer les parcours des individus, dériver des vitesses et déterminer les générateurs de déplacements et, d'autre part, contrôler la flotte pour supprimer définitivement les problématiques de vandalisme. De Maio (2009) suggère également de réfléchir à la possibilité d'intégrer des bicyclettes électriques pour s'adapter à la clientèle des personnes âgées.

2.4.3 Le XXI^{ème} siècle, un marché en plein essor

C'est à partir de la fin des années 1990 avec le développement de la troisième génération de bicyclettes que le vélopartage a commencé à être reconnu comme une alternative favorable pour contrer la croissance démesurée de la motorisation des individus. De toute évidence, le succès du programme Vélo'V à Lyon en 2005 est le point de départ d'un essor phénoménal pour ce nouveau mode de transport urbain. Cependant, cette croissance est loin d'être homogène sur tous les continents. En effet, pendant de nombreuses années, l'Europe a fait figure de pionnière dans le domaine. Puis, à partir de 2005, des programmes de vélopartage se sont développés aux quatre coins du globe, rendant particulièrement complexe le recensement de l'ensemble des projets. D'après les données comptabilisées par divers chercheurs (Beroud, 2007; De Maio & Gifford,

2004; Shaheen, et al., 2010), il apparaît que la croissance du nombre de bicyclettes en libre service à travers le monde a été de l'ordre de 670 % entre 2005 et 2010 (Figure 2-7).

En 2009, Shaheen et al. (2010) dénombraient près de 100 programmes de vélopartage répartis dans 125 villes pour un total de 140 155 bicyclettes (voir annexe 3 Figure 10-3 et Tableau 10-1). Par ailleurs, ils affirment aussi que dans l'année 2010, 45 nouveaux déploiements sont prévus dans 22 pays. Toutefois, démontrant la complexité qu'il existe pour répertorier l'ensemble des projets en planification, Transitec Ingénieurs-Conseils

S.A. (2009) recensent quant à eux plus de 150 programmes de vélopartage. Par ailleurs, il faut noter que le continent africain est, à l'heure actuelle, le seul continent pour lequel aucun programme de vélopartage n'est recensé.

2.4.3.1 En Europe

La structure des villes européennes est particulièrement favorable aux déplacements en bicyclette. L'étendue des villes et la dimension des routes sont largement inférieures à celle des villes nord-américaines ou asiatiques, favorisant le développement des programmes de vélopartage. Ainsi, en 2009, Transitec Ingénieurs-Conseils S.A. (2009) remarque que, parmi l'intégralité des programmes de vélopartage en exercice dans le monde, plus de 90 % sont situés en Europe. Toutefois, la répartition entre les différents pays est loin d'être uniforme. Bien que le concept de vélopartage provienne du Danemark, on ne dénombre aucun programme à grande échelle dans ce pays. C'est en France que l'activité du vélopartage est la plus répandue puisque pratiquement l'intégralité des 30 villes les plus importantes dispose d'un programme de vélopartage. À ceci s'ajoute que les programmes de Paris et de Lyon ont été des projets majeurs en 2005 et 2007 avec respectivement 20 600 et 4 000 bicyclettes déployées (Bührmann, 2008). Les diagrammes de distribution des programmes de vélopartage et du nombre de vélos en service donnés par Midgley (2009) (Figure 2-8), mettent en évidence les disparités entre les principaux pays européens. La France, l'Espagne et l'Allemagne comptabilisent les plus grands nombres de

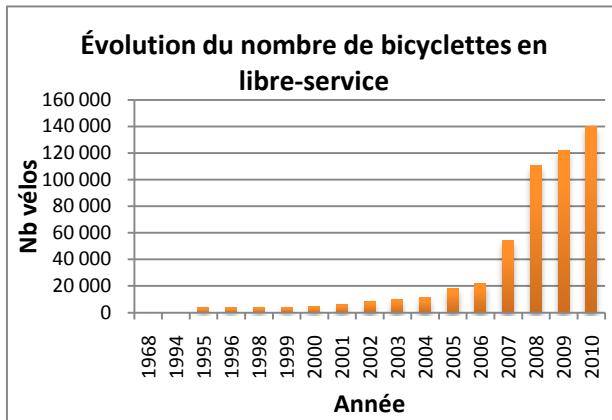


Figure 2-7 : Estimation de l'évolution du nombre de bicyclettes en libre service entre 1968 et 2010

bicyclettes en service (histogramme de droite) tandis que l'Italie est la deuxième en importance pour ce qui a trait au nombre de programmes en cours (histogramme de gauche).

De plus, il est intéressant de remarquer que les trois premières générations de vélopartage sont déjà présentes en Europe et que la quatrième génération vient d'être implanté au mois de juin 2010 à Londres (Radio Canada, 2009b) . Désormais, les programmes de vélopartage se multiplient rapidement dans les pays européens et pratiquement toutes les capitales ont adopté un programme de vélopartage ou sont en cours de planification.

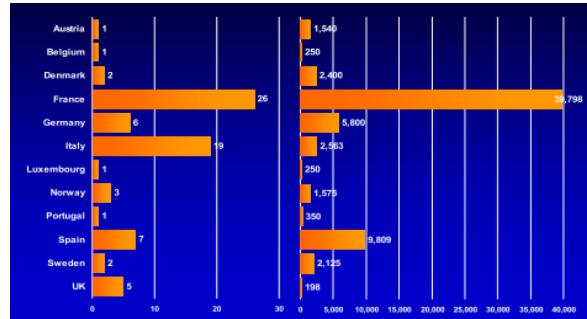


Figure 2-8 : Distribution des programmes de vélopartage et du nombre de vélos en service en Europe (Midgley, 2009)

2.4.3.2 En Amérique

Avec une répartition modale très défavorable aux déplacements en vélo, l'Amérique du Nord a toujours été en retard dans la planification de projets similaires à ceux rencontrés en Europe. Pourtant, il existe plusieurs programmes de vélopartage dont le plus ancien date de 1974. À cette époque, l'United Community Action Network, lance le premier programme de vélopartage en Amérique du Nord, plus précisément à Portland dans l'Oregon. Le programme baptisé Yellow Bike était composé d'une soixantaine de bicyclettes déposées dans la ville. Peu de temps après sa création le projet évolua pour se concentrer sur l'amélioration des conditions de circulation pour les cyclistes (O'Keefe & Keating, 1995). Parallèlement à ce projet, un autre programme a vu le jour en 1995 à Boulder, au Colorado, sous le nom de Green Bike Program. Ce projet était autogéré par des donations privées et des bénévoles, mais le vandalisme et les dégradations sur les vélos ont précipité la fin du programme (Urie, 2010). Finalement, une dernière initiative a eu lieu en 1996 dans les villes jumelles de Minneapolis et de Saint-Paul, avec le programme Yellow Bikes Project. Encore une fois, le manque de subvention et le vol ont abouti à la faillite du projet (Shaheen, et al., 2010). Ainsi, malgré plusieurs tentatives, le vélopartage n'a pas connu de réel succès en Amérique du Nord avant la fin des années 2000. En 2008, la compagnie Clear Channel lance un plan de vélopartage de troisième génération à Washington D.C. avec près de 120 bicyclettes distribuées entre 10 stations. Malgré l'atteinte en quelques mois de la barre des

1 050 inscrits (Voiland, 2009), Holtzman (2008) conclut que le programme n'est pas aussi performant qu'attendu puisqu'un problème d'éloignement entre les stations amène plusieurs usagers à renoncer à s'inscrire au système.

C'est à Montréal, en 2009, qu'aura lieu le plus grand déploiement de vélopartage en Amérique du Nord. En plus de proposer une nouvelle version du vélopartage avec un système de quatrième génération, le projet BIXI surpasse le programme Vélo'V de Lyon en nombre de bicyclettes déployées, avec plus de 5 000 vélos (BIXI Montréal, 2009a) comparativement à 4 000 bicyclettes déployées à Lyon (Bührmann, 2008). Le succès du programme BIXI pourrait d'ailleurs donner le coup d'envoi au marché nord-américain, tout comme Vélo'V en Europe, puisque plus de 45 villes sont en discussion avec l'opérateur BIXI pour des implantations à grande échelle (Radio Canada, 2010a). Enfin, plusieurs autres projets verront le jour dans les années à venir puisque des projets à Minneapolis, Toronto, Boston et Denver sont planifiés (Dossett, Munger, & Bono, 2008; Radio Canada, 2009a; Uriel, 2010; Viklund, 2010).

En ce qui concerne l'Amérique latine, il est important de souligner qu'il existe déjà plusieurs systèmes de vélopartage. Le Brésil a été le premier à implanter un projet en 2008, à São Paulo, avec UseBike qui opère 202 bicyclettes réparties dans 23 stations (Shaheen, et al., 2010). (Shaheen, et al., 2010). Puis, c'est le programme Samba de Rio de Janeiro qui fût installé avec 500 bicyclettes au terme de l'année 2009 (Schroeder, Hagen, Leve, & Penalosa, 2009). Pour finir, le Chili a aussi instauré un projet pilote de 50 bicyclettes et d'autres pays comme l'Argentine et la Colombie sont en processus de planification de déploiement (Shaheen, et al., 2010). Finalement, c'est à Mexico, en mars 2010, qu'aura lieu la plus importante introduction d'un programme de vélopartage en Amérique latine avec le plan Ecobici composé de 1114 bicyclettes étagées dans 85 stations (EcoBici, 2010).

2.4.3.3 En Asie

Malgré un déclin de la répartition modale du vélo ces dernières années au profit de l'automobile, l'Asie est toujours réputée pour le nombre considérable de déplacements effectués en bicyclette dans ses différents pays. Au niveau des programmes de vélopartage, la particularité de l'Asie vient du fait qu'elle n'est composée que de systèmes de troisième génération.

Le premier projet fût implanté en 1999 à Singapour sous le nom de TownBike et s'est achevé en 2007 (Shaheen, et al., 2010). D'autres initiatives ont été développées notamment au Japon avec le

programme Taito puis en Corée du Sud et à Taiwan (Shaheen, et al., 2010). En 2009, des projets notables ont eu lieu à Taïwan dans les villes de Kaohsiung avec C-Bike et à Taipei avec Youbike.

Bien que moins médiatisée que les programmes BIXI, Vélo'V ou encore Vélib', la Chine présente le plus important programme de vélopartage au monde. En effet, c'est dans la ville Hangzhou qu'opère le projet Public Bicycle avec plus de 50 000 bicyclettes mises en service dans près de 2000 stations (Schroeder, et al., 2009). Un autre programme particulièrement important a été instauré au mois d'août 2009 dans la ville de Wuhan avec plus de 21 000 bicyclettes déployées. En définitive, et comme pour l'ensemble des autres pays, l'Asie connaît une croissance très soutenue dans le domaine du vélopartage depuis la fin des années 2000.

2.4.4 Principes d'utilisation du vélopartage

Le système de fonctionnement du vélopartage de troisième ou quatrième génération est relativement simple et très similaire dans l'ensemble des programmes. Les usagers se présentent à l'une des stations du réseau munis d'une carte de crédit. Suite au paiement, ils peuvent débloquer une bicyclette de l'un des points d'ancrage. Le temps d'utilisation du service débute dès que le vélo est libéré. Ensuite, ils peuvent rapporter la bicyclette dans n'importe quelle station du réseau. Les principaux éléments concernant les conditions d'accès au service, les procédures d'emprunts et de dépôts des bicyclettes ainsi que la tarification sont détaillés en annexe 4.

2.4.5 Les composants du vélopartage

L'architecture des systèmes de vélopartage a considérablement évolué depuis les premières implantations dans les années 1960. Au début, l'architecture se résumait uniquement aux bicyclettes disposées dans les rues. Avec les développements successifs et l'utilisation des nouvelles technologies informationnelles, l'architecture s'est nettement complexifiée.

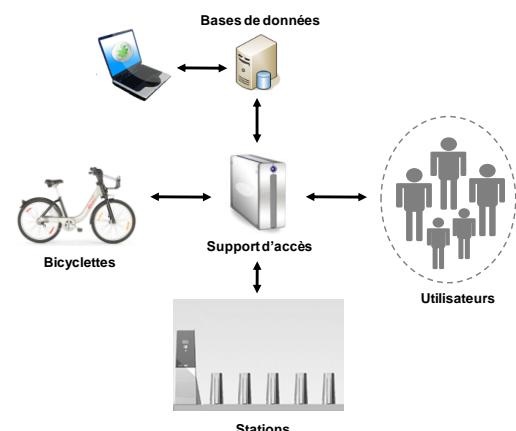


Figure 2-9 : Schéma de l'architecture d'un système de vélopartage

Comme l'architecture générale de la troisième et de la quatrième génération de systèmes de vélopartage est globalement similaire, cette section présentera les principales composantes architecturales de ces deux nouveaux systèmes. Enfin, il faut savoir que l'architecture des systèmes de vélopartage s'articule autour de trois composants principaux : les vélos, les stations et le support d'accès (Figure 2-9).

2.4.5.1 Les stations

Les nouveaux systèmes de vélopartages se caractérisent par la présence de stations sur le réseau, lesquelles sont les lieux d'emprunt ou de dépôt des bicyclettes. Une première séparation pour classifier les stations peut être faite entre les stations dites « matérielles », c'est-à-dire les stations comportant une infrastructure physique et les stations dites « immatérielles » pour lesquelles aucune infrastructure n'est nécessaire et par conséquent l'ensemble de l'espace urbain peut être considéré comme une station potentielle (Beroud, 2009).

2.4.5.1.1 *Les stations immatériels*

Dans les systèmes de vélopartage à stations immatérielles (ou encore à système flexible), les bicyclettes sont réparties dans l'ensemble de l'espace public. Contrairement aux stations « matérielles », les vélos peuvent être verrouillés, grâce à un système d'accroche intégré, à l'ensemble du mobilier urbain comme les lampadaires, panneaux de signalisation, parcomètres ou autres. Pour assurer le suivi de la flotte, les gestionnaires du réseau ont incorporé aux vélos des dispositifs d'immobilisation à distance permettant de verrouiller la chaîne de la bicyclette et de bloquer les mouvements du guidon (Gris Orange Consultant, 2009). L'avantage majeur pour l'opérateur dans ce type de programme découle du fait qu'aucun réseau de stations ne doit être mis en place pour l'exploitation du système. Par conséquent, les coûts initiaux pour lancer le programme sont beaucoup plus faibles que ceux avec des stations « matérielles ». À l'inverse, les coûts de gestion de la flotte peuvent par la suite être plus importants puisque les vélos peuvent être distribués dans l'ensemble de la ville et donc dans un nombre illimité de lieux. Pour assurer la traçabilité des vélos, plusieurs idées ont été développées comme la mise en place de GPS sur les bicyclettes ou encore la signalisation à l'opérateur par l'utilisateur du lieu dans lequel il a déposé le vélo comme c'est le cas pour le programme Call a Bike en Allemagne (DB Bahn, 2010). De cette manière, l'opérateur peut alors choisir de récupérer le vélo pour le redistribuer sur le parc ou bien le laisser sur place pour une prochaine utilisation. Ainsi, dans le cas particulier des stations

immatérielles, c'est la bicyclette qui est au centre du mécanisme de vélopartage contrairement aux systèmes avec stations « matérielles ».

2.4.5.1.2 *Les stations matérielles*

Gris Orange Consultant (2009) classe les stations « matérielles » en deux catégories : les systèmes fixes à stations permanentes et les systèmes fixes à stations portatives. Il est nécessaire de subdiviser les types de stations car les éléments constituant ces stations sont légèrement différents suivant la catégorie. Quoi qu'il en soit, l'ensemble des stations « matérielles » est constitué :

- **d'une plateforme (ou pavé technique)** : support général de l'ensemble de l'installation disposé sur le réseau public de la ville. La forme des plateformes varie suivant les prestataires de vélopartage. Par ailleurs, comme mentionnée précédemment dans l'historique du vélopartage, une des distinctions majeures entre les systèmes de vélopartage de troisième et quatrième génération vient du fait que dans la quatrième génération les stations sont portatives (voir annexe 5).
- **d'une borne transactionnelle** : support physique permettant l'identification et l'enregistrement des usagers. C'est de cette borne que l'utilisateur peut opérer les transactions. Dans le cas des stations portatives, les bornes sont reliées à un panneau solaire fournissant l'énergie nécessaire au fonctionnement du système (voir annexe 5).
- **de points d'ancrage pour les bicyclettes (borne ou encore bornette)** : support physique auquel les bicyclettes sont verrouillées (voir annexe 5).

2.4.5.2 **Les vélos**

Il existe à l'heure actuelle plusieurs catégories de vélos circulant dans les différents programmes de vélopartage à travers le monde. Chaque société prestataire de vélopartage a développé des caractéristiques propres à sa bicyclette afin de satisfaire aux principaux enjeux du vélopartage. D'une part, garantir aux usagers confort et qualité lors de l'utilisation d'une bicyclette, et d'autre part, protéger au maximum les vélos contre le vandalisme et les dégradations prématurées. À ceci s'ajoutent plusieurs autres enjeux secondaires comme être reconnaissable dans l'espace urbain, favoriser l'accessibilité à l'ensemble des clients ou la facilité d'utilisation (Gris Orange Consultant, 2009)(Voir annexe 5 pour des exemples de vélos).

2.4.5.3 Le support d'accès

Selon Transitec Ingénieurs-Conseils S.A (2009), le support d'accès est au cœur du système de vélopartage, dans la mesure où il est l'intermédiaire entre les différents objets composant le système: l'usager, le vélo, la station et les tables de données de l'opérateur. Par conséquent, le support d'accès doit permettre de faire l'identification de l'usager, de procéder à une transaction bancaire avec des institutions extérieures, d'inscrire la transaction dans les tables de données et enfin de libérer une bicyclette pour l'usager. En outre, l'ensemble de ces actions doit pouvoir être accompli dans un minimum de temps afin de ne pas créer un achalandage à une station, ce qui pourrait dissuader des usagers de profiter du système. En définitive, il faut remarquer que le support d'accès permet de communiquer entre les différents intervenants du système par deux moyens : soit par ondes radios et de télécommunication, comme c'est le cas pour BIXI, soit par câble pour les stations permanentes, comme c'est le cas de Vélib' (BIXI Système, 2010).

2.4.6 Les principaux coûts d'exploitation des programme de vélopartage

Le déploiement d'un système de vélopartage nécessite un investissement initial particulièrement important. En effet, avant de voir les bicyclettes circuler dans la ville, il faut, entre autres, diriger l'ensemble des bureaux d'étude et de conception du système, fabriquer les composants et assembler les bicyclettes et stations, créer un outil informatique de gestion du parc, planifier les étapes de déploiement, mettre en place le réseau et préparer l'ensemble des services de support aux clients ainsi que de réparation et d'entretien du réseau. En outre, il est particulièrement difficile d'avoir accès aux informations financières des différents programmes puisqu'ils sont rarement financés par le secteur public. Ensuite, une fois que le système est implanté, les opérateurs doivent faire face à des coûts d'exploitation particulièrement importants et dépendants de facteurs extérieurs comme les taux de vandalisme sur les bicyclettes et stations ainsi que le niveau de redistribution des vélos sur le réseau. Ceci a pour conséquence de diminuer considérablement le nombre d'opérateurs suffisamment robustes pour assumer ces frais. Le détail des coûts pour plusieurs programmes est donné dans l'annexe 6.

2.4.7 Les différents types d'organismes de vélopartage

La majorité des programmes de vélopartage les plus récents sont issus d'une volonté politique d'améliorer l'offre de transport urbain. Ainsi, dans la plupart des cas, ce sont les municipalités

qui ordonnent la mise en place d'un réseau et prennent en charge une partie des frais. Toutefois, il existe plusieurs types d'organisation susceptibles de mettre en place un programme de vélopartage. De Maio (2009) recense six catégories d'organismes susceptibles d'implanter un réseau de vélopartage : les gouvernements, les agences de transport, les universités, les associations (fondations ou autres organismes à but non lucratif), les sociétés de publicité et les sociétés privées (Figure 2-10).

Au point de vue de la répartition entre ces différents organismes, d'après Midgley (2009), le secteur public serait l'exploitant dans près de 35 % des programmes (27 % les municipalités et 8 % les agences de transport) contre 65 % pour le secteur privé (dont une très large majorité est détenue par les sociétés publicitaires). Chacun des types d'organisme est détaillé dans l'annexe 7.

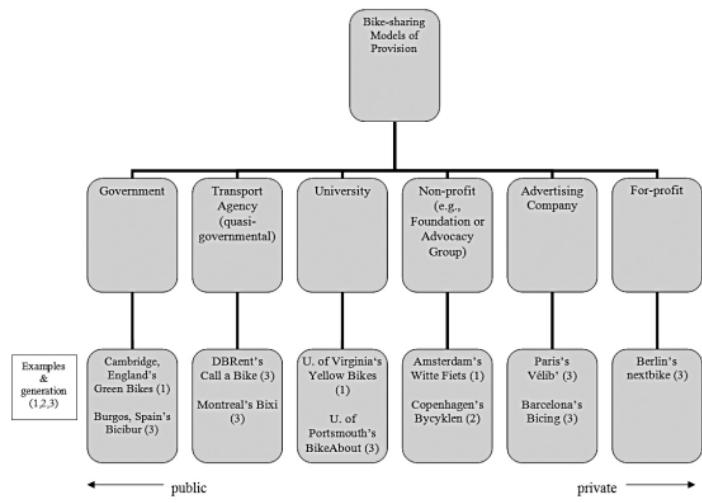


Figure 2-10 : Les différents types d'organismes de vélopartage (De Maio, 2009)

2.4.8 La place du vélopartage dans les transports urbains

Les citadins des grandes agglomérations à travers le monde disposent de plusieurs alternatives pour effectuer leurs déplacements. Les principaux modes de transport urbain tel le taxi, le vélo, l'autopartage ou encore le transport en commun, définissent les alternatives prédominantes à l'automobile privée. Plusieurs aspects différencient ces modes alternatifs comme la flexibilité, la qualité, la rapidité ou encore la distance franchissable. Le vélopartage offre aux individus une nouvelle alternative au sein de ce panel de choix. Une modification a alors été opérée sur la Figure 2-11, extraite des travaux de Britton (2000), afin de visualiser la position du vélopartage dans l'offre de transport urbain en comparaison avec les autres modes. Comme nous pouvons le constater dans la Figure 2-11, le vélopartage se positionne sur le marché comme une alternative aux modes de transport urbain, mais plus particulièrement à la bicyclette privée et au taxi. Le vélopartage subit des contraintes similaires au vélo privé, telles les contraintes liées aux

intempéries ou encore les contraintes topographiques. Néanmoins, certaines caractéristiques distinguent ces deux modes actifs. Par exemple, la distance franchissable est légèrement plus faible pour le vélopartage, du fait de la moins bonne qualité de roulement qu'un vélo privé et du poids des bicyclettes. Par contre, la flexibilité est plus élevée pour le vélopartage puisqu'il est possible de laisser le vélo à n'importe quel point du réseau, puis de changer de mode de transport sans avoir à revenir chercher son vélo. De plus, le marché du vélopartage serait, selon les dires des compagnies de taxi, à cheval sur le marché des taxis (Radio Canada, 2010b).

En effet, un individu souhaitant réaliser un trajet d'une courte distance pourra choisir le vélopartage au lieu du taxi pour deux raisons majeures : le faible coût du trajet en vélopartage et la diminution du risque d'être bloqué dans la congestion routière. Cependant, le taxi reste tout de même compétitif face au vélopartage lorsqu'il faut transporter simultanément plusieurs individus, notamment les enfants, ou lors de déplacement d'objets.

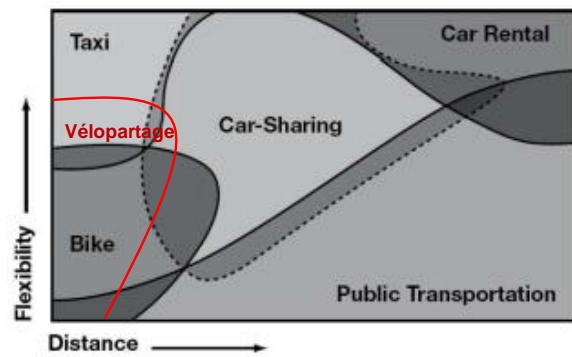


Figure 2-11 : Positionnement « anticipé » du vélopartage parmi les modes de transport urbain (Britton, 2000)

2.4.9 Bilan des profils utilisateurs du vélopartage

Malgré le succès croissant du vélopartage, il est particulièrement difficile d'obtenir des études sur les données opérationnelles des prestataires de ces services. En outre, de très nombreux usagers du système ne sont que des utilisateurs occasionnels, dont les attributs sociodémographiques sont totalement inconnus des opérateurs. Dès lors, la caractérisation des profils des usagers du programme devient beaucoup plus complexe à réaliser. Dans cette partie, nous tenterons de faire le bilan des études disponibles pour dresser le portrait des usagers du vélopartage. Les informations proviennent des auteurs suivants : (Beroud, 2009; Carret, 2006; Instituto para la diversificacion y Ahorro de la Energia IDAE, 2007; La Mairie de Paris, 2007; Mlasowsky, 2008; R.B. Noland & Ishaque, 2006; Transitec ingénieurs-conseils SA, 2009; Vélo à la Carte, 2010; Voiland, 2009). L'ensemble des analyses permet de caractériser les attributs suivants :

- **Âge** : En règle générale, les utilisateurs des programmes de vélopartage ont un âge moyen plus jeune que la population, et ce, quel que soit le pays ou la zone de déploiement du

système. Ainsi, les personnes entre 20 et 40 ans sont les principaux usagers des programmes de vélopartage. Une enquête à Lyon (Vélo'V) a montré que 55 % des usagers ont moins de 30 ans (dont 46 % entre 20 et 30 ans). À Paris, une étude révèle que 31 % des utilisateurs ont entre 19 et 30 ans. De façon plus détaillée, il apparaît que 2 % des abonnés ont moins de 18 ans, 52 % entre 18 et 35 ans, 38 % entre 36 et 54 ans, et seulement 8 % ont plus de 56 ans. Dans le programme de Washington D.C., 58 % ont entre 26 et 44 ans alors qu'à Barcelone, les 25-35 ans représentent 51 % des utilisateurs. De plus, à Londres les 26-35 ans comptent pour 61 % des usagers tandis que pour la ville de Rennes, 40 % des personnes ont moins de 25 ans. Enfin, un dernier document affirme que plus de 50 % des usagers de Berlin ont moins de 30 ans.

- **Genre** : tout comme l'âge des usagers, il existe une tendance similaire dans les différents programmes concernant les genres des utilisateurs. Il ressort, d'après les mêmes rapports d'étude, que les usagers sont majoritairement des hommes. Les hommes représentent alors 59 % à Lyon, 64 % à Paris, 62 % à Rome, 67 % à Washington D.C., 58 % à Rennes, 67 % à Londres, et 75 % à Berlin. Il n'y a que dans le programme Bicing de Barcelone qu'il semble y avoir un nombre équivalent d'utilisateurs hommes et femmes.
- **Lieu du domicile** : Une très forte majorité des individus utilisant le système réside à proximité de la zone de déploiement du programme. Ainsi, 86 % des abonnés de Lyon, 85 % des abonnés de Paris, et 87 % des abonnés Washington D.C. résident dans la ville où le déploiement a lieu.
- **Caractéristiques des déplacements** : Deux indicateurs de performance ont été calculés dans plusieurs programmes : le taux de rotation des bicyclettes et les distances moyennes parcourues. Il apparaît alors que les rotations journalières sont de 12 déplacements par vélo à Lyon (70 vélos au km²), de 8 déplacements par vélo à Paris (110 vélos au km²), de 1,5 déplacement par vélo à Rennes (20 vélos au km²) et enfin de 0,5 déplacement par vélo à Berlin (20 vélos au km²). Parallèlement, la distance moyenne parcourue à Lyon est de 2,5 km par déplacement, de 3 km par déplacement à Paris et de 4,5 km à Rennes.

2.4.10 Les conclusions de la recherche sur le vélopartage

Comme il a été mentionné à plusieurs reprises, il est très difficile d'obtenir des études portant sur les réseaux de vélopartage. Les recherches montrent qu'il existe un nombre considérable de

documents faisant l'analyse descriptive des différents réseaux implantés en Europe, mais que très peu d'analyses de données opérationnelles ont été menées. Ceci s'explique par le fait que les organismes responsables des programmes sont souvent des entreprises privées et donc les données ne sont pas forcément accessibles aux chercheurs, entraînant un manque d'analyses techniques approfondies des données opérationnelles de ce nouveau mode de transport urbain.

À l'heure actuelle, une première étude s'intéresse principalement à la redistribution des bicyclettes sur le réseau de Barcelone (Deflorio, Amoruso, & Binetti, 2009). Les auteurs proposent un premier modèle permettant d'améliorer la redistribution des bicyclettes sur le réseau en estimant, en fonction de divers paramètres, le nombre de bicyclettes à transférer pour une période de temps et une station donnée.

Dans une autre étude, les chercheurs proposent une méthodologie pour modéliser les transactions du système Vélo'V et ainsi tenter de prédire les facteurs influençant le nombre d'opérations pour un jour donné (Borgnat, Abry, & Flandrin, 2009). Il ressort de cette analyse que les précipitations, la température ainsi que les évènements extérieurs jouent un rôle important dans le nombre de transactions quotidiennes.

Le système de vélopartage Bicing, a également été étudié (Froehlich, Neumann, & Oliver, 2009). L'analyse se découpe en deux parties : d'une part, les stations sont regroupées au sein de *clusters* afin de visualiser la répartition spatiale des différents regroupements (deux séries de *clusters* ont été calculées suivant le nombre d'opérations et le taux de remplissage moyen des stations); et d'autre part, plusieurs modèles sont proposés pour anticiper l'état des stations en fonction de l'heure de la journée. L'étude révèle notamment qu'il existe trois pics d'utilisation pendant la journée : le matin, le midi et le soir; tandis que l'analyse spatiale permet de constater que les stations les plus souvent vides se situent près de la mer, alors que celles du centre ont tendance à être régulièrement pleines.

Finalement, une dernière étude a également traité de la redistribution des bicyclettes sur le réseau (Voguel & Mattfeld, 2010). L'approche repose sur la modélisation de la disponibilité des bicyclettes ainsi que sur la qualité du service. Les modèles sont appliqués au système de vélopartage de la ville de Vienne (*Citybike*).

2.4.11 Le programme BIXI de Montréal

Après trois ans de recherche et développement, le programme de vélopartage de Montréal a été instauré et mis en service le 1^{er} mai 2009. L'organisation du programme de vélopartage de Montréal est le fruit d'un partenariat public-privé. En effet, c'est la ville de Montréal qui a octroyé le mandat à Stationnement Montréal de mettre au point et de gérer le premier déploiement à grande échelle en Amérique du Nord d'un système de vélopartage (Stationnement Montréal, 2010a). Par la suite, Stationnement Montréal a mis sur pied la société de vélo en libre-service opérant le programme BIXI (Stationnement Montréal, 2010b). Après plusieurs mois de développement, la conception des bicyclettes est confiée au constructeur saguenéen Cycles Devinci (BIXI Montréal, 2009b) alors que le système d'opération logiciel est concédé à la société 8D Technologies (8D Technologies, 2010).

Au niveau de la mise en place du système, le projet se découpe en phases de déploiements successives. Initialement, la première phase devait avoir lieu en 2009 et la seconde au cours de l'année 2010. La première phase était composée de 300 stations et de près de 3000 bicyclettes principalement concentrées dans le centre-ville et l'arrondissement Plateau Mont-Royal. Cependant, le succès du projet est tel que le comité exécutif de la ville a donné le mandat à Stationnement Montréal de devancer l'instauration de la seconde phase du déploiement au mois de juillet 2009. Le programme s'étend alors dans certains arrondissements comme Hochelaga-Maisonneuve, Outremont, Rosemont ou encore Villeray. Suite à cet agrandissement, près de 400 stations en service et les 5 000 bicyclettes seront recensées au terme de la première saison d'exploitation (BIXI Montréal, 2009a).

2.5 Résumé

Cette revue de littérature a exposé les principales conclusions des recherches portant sur le vélo, sur l'estimation du potentiel du vélo ainsi que sur le vélopartage. Les différents éléments présentés permettent de dresser un portrait de la recherche actuelle dans ces divers domaines et plusieurs conclusions seront utilisées dans la suite de cette étude, notamment lorsque des hypothèses ont du être posées.

CHAPITRE 3 SYSTÈME D'INFORMATION DE L'ÉTUDE

Bien que la méthodologie d'approche et l'utilisation d'outils adaptés soient au cœur d'une démarche scientifique rigoureuse, il ne faut pas sous-estimer l'importance des données sur lesquelles les concepts seront appliqués. Ainsi, de la récolte des informations à la construction de tables de données structurées, toutes les étapes garantissant la qualité et la disponibilité des informations font partie des aspects fondamentaux du travail de recherche.

Pour accomplir les objectifs visés, cette étude repose sur l'exploitation et l'analyse de tables de données provenant de diverses institutions. Que ce soit pour l'estimation du potentiel du vélo ou pour la caractérisation du système de vélopartage BIXI, l'objectif consiste à proposer une méthode systématique reposant sur une structure d'information standardisée et documentée. Chacune des tables de données et des étapes de développement ont alors été organisées de manière simplifiée et générique pour pouvoir être réutilisées lors de nouvelles collectes de données.

Ce chapitre vise alors à présenter le système d'information élaboré dans le cadre de cette recherche. Une première partie explicitera les principes de l'étude tandis que, dans un second temps, nous décrirons les trois systèmes d'information utilisés dans l'étude : l'enquête Origine-Destination tenue dans la grande région de Montréal en 2008, la table de données des conditions météorologiques et le système d'information de la société BIXI.

3.1 Principes de l'étude

Cette étude vise à caractériser l'usage du vélo dans la ville de Montréal, que l'on peut appréhender selon trois grands axes : le portrait des cyclistes actuels, l'évaluation du potentiel du vélo et la caractérisation du nouveau mode de transport urbain à Montréal : le vélopartage.

La première partie concerne la compréhension des comportements de mobilité des cyclistes actuels de la ville de Montréal. Cette partie a pour but de présenter le contexte dans lequel s'est développé le programme de vélopartage BIXI. Plusieurs indicateurs sur les cyclistes comme la sociodémographie, la motorisation, les caractéristiques des déplacements (lieux, motifs, horaires...) ainsi que les facteurs influençant les déplacements ont été examinés et caractérisent les cyclistes de Montréal en 2008.

Dans un second temps, une méthodologie d'évaluation du potentiel du vélo sera proposée. Cette méthodologie repose sur un modèle explicatif des déplacements cyclistes actuels des Montréalais ainsi que sur une estimation des déplacements motorisés convertibles en déplacements cyclistes. Cette évaluation permet de mesurer de façon rigoureuse le potentiel d'utilisation de la bicyclette, dans le cas d'un usage optimal de ce mode de transport par les citoyens. L'estimation d'un tel potentiel est particulièrement intéressante à l'arrivée d'un nouveau mode de transport urbain favorisant les déplacements cyclistes. On est alors en mesure de comprendre le marché dans lequel s'inscrit le vélopartage et d'entrevoir les perspectives de son développement.

La dernière étape consiste à faire la caractérisation d'un système de vélopartage déployé à grande échelle en Amérique du Nord. Les trois objets composant ce système ont été analysés à savoir : les stations, les usagers et les bicyclettes. Grâce à une étude longitudinale de trois mois consécutifs de fonctionnement (juillet – septembre 2009), des indicateurs de performance ainsi que des indicateurs quantitatifs et qualitatifs ont été développés permettant de caractériser le système de vélopartage.

La Figure 3-1 présente un schéma simplifié des différentes études menées pendant cette recherche avec les tables de données utilisées.

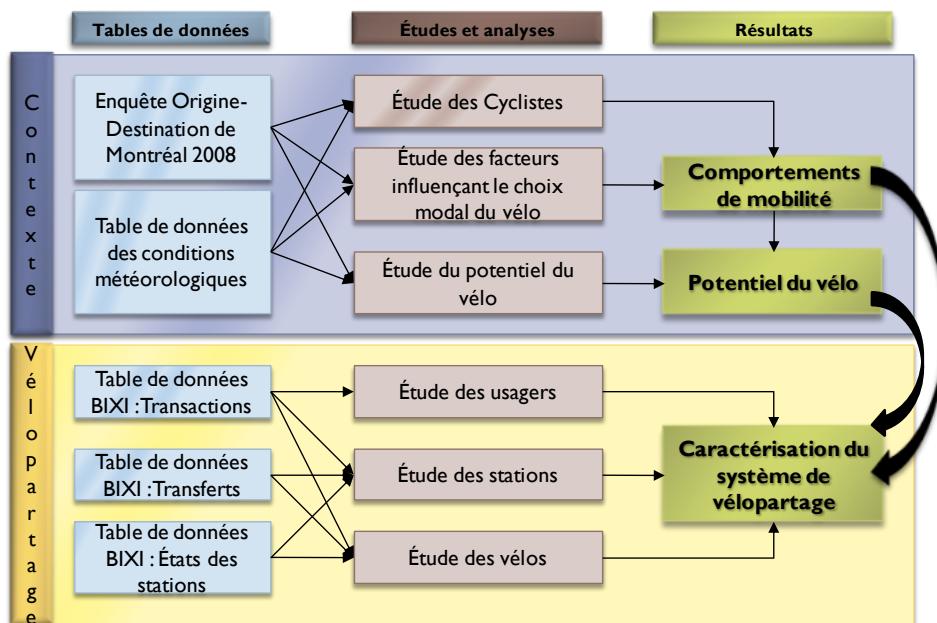


Figure 3-1 : Schéma de principe de l'étude du vélo dans la grande région de Montréal

3.2 Enquête Origine-Destination

Afin d'obtenir des données, les planificateurs en transport disposent de deux grandes classes de méthodes d'acquisition de données : les enquêtes et les systèmes d'observations (Morency, 2007). Le choix d'une méthode d'acquisition est le fruit d'un processus de réflexion adapté aux objectifs de mesure « *La définition d'une enquête suppose en fait la réponse à un certain nombre de questions. Ces questions peuvent être alors organisées en grands thèmes interagissant entre eux* » (Bonnel, 2004). À Montréal, le choix a été fait de se tourner vers des enquêtes-ménages téléphoniques des personnes résidant dans la grande région de Montréal. Les objectifs de ces enquêtes consistent alors à relever, à caractériser et à mesurer, de façon systématique, les tendances lourdes et comportements de mobilités des individus. Pour se faire, ces enquêtes Origine-Destination reposent sur l'approche totalement désagrégée développée dans les années quatre-vingt par le professeur Chapleau (1990).

3.2.1 Approche totalement désagrégée

L'approche totalement désagrégée développée à Montréal est définie par Chapleau (1990) : « *L'appellation « désagrégée » associée au système MADITUC se réfère, d'une part, au traitement systématique d'informations de caractère individuel (déplacements et les caractéristiques de la personne ou du ménage impliqué) spécifiés par de multiples variables, et, d'autre part, au traitement d'informations à caractère spatial n'exigeant pas ou peu de système territorial défini a priori (sans système zonal)* ».

L'approche totalement désagrégée diffère des approches traditionnelles par le développement des concepts suivants (Chapleau, 1992) :

- l'utilisation des informations propres à chacun des itinéraires déclarés par les personnes interrogées (contenant des informations sociodémographiques, des indicateurs d'ordre spatial et temporel ainsi que les modes et motifs de déplacements)
- l'utilisation d'éléments spatialisés pour géoréférencer les origines et destinations des déplacements, dont les coordonnées X-Y ou d'autres références spatiales fines (comme des monuments ou autres générateurs/attracteurs de déplacements).
- l'utilisation de tous les renseignements sur l'offre de transport, tant sur les niveaux de service, que sur la géométrie du réseau (routiers et transport en commun).

Cette méthode d'acquisition des données permet d'obtenir, pour chacun des déplacements, un découpage de l'itinéraire emprunté par l'individu. La Figure 3-2 illustre un exemple de découpage séquentiel obtenu avec l'approche totalement désagrégée. Au niveau de la table de données, un enregistrement contenant une série de champs permet de coder de façon précise l'ensemble des informations du parcours ainsi que des individus et du ménage.

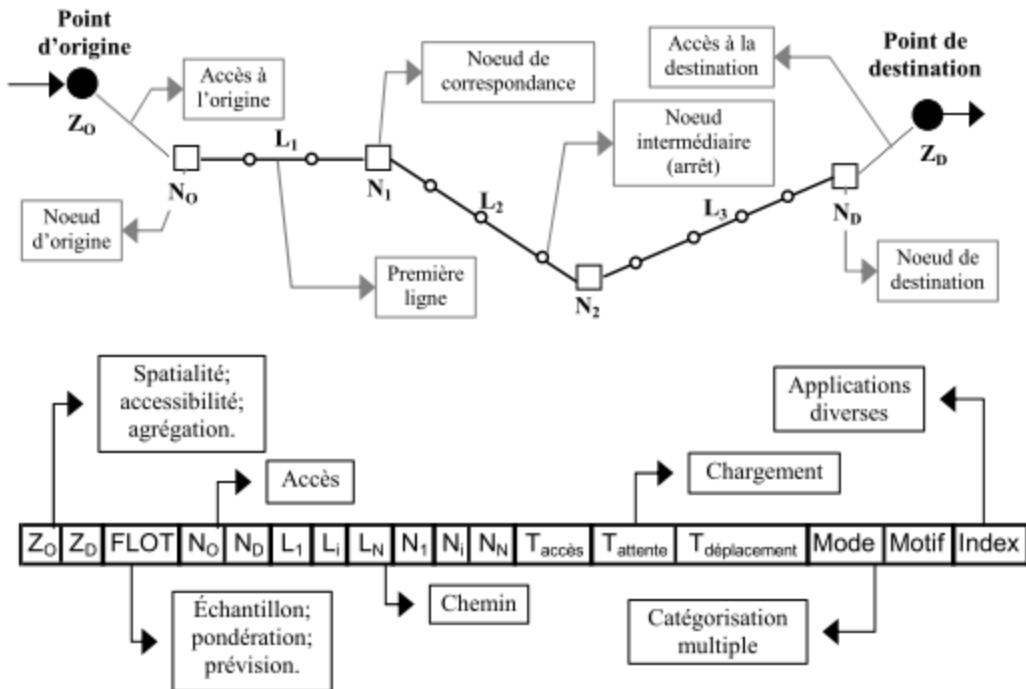


Figure 3-2 : Découpage des déplacements dans les enquêtes totalement désagrégées (Chapleau & Morency, 2002)

Ainsi, grâce au développement de cette approche, les planificateurs sont en mesure de dresser un portrait systématique de la mobilité des individus en s'appuyant sur des échantillons de données substantiels et pertinents, sans avoir recours à une approche par agrégation.

3.2.2 Historique des enquêtes Origine-Destination à Montréal

Depuis 1970, les différentes agences de transport de la grande région de Montréal réalisent périodiquement (4-5 ans) une enquête-ménage d'envergure auprès de 5 % des ménages résidant sur le territoire de la grande région de Montréal. La description de chacun des territoires d'enquête est indiquée sur la Figure 3-3.

Année d'enquête	Territoire (km ²)	Population (en millions)	Échantillon
1970	1 190	2 484	3,78 %
1974	2 330	2 835	4,78 %
1978	2 330	2 954	5,31 %
1982	3 300	2 896	6,98 %
1987	3 300	2 930	4,68 %
1993	4 740	3 278	4,65 %
1998	5 400	3 499	4,64 %
2003	5 500	3 605	4,71 %
2008	8 200	3 940	3,98 %

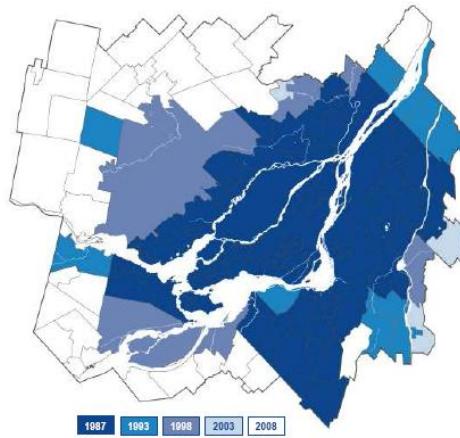


Figure 3-3 : Description des territoires d'enquête Origine-Destination dans la grande région de Montréal (AMT, 2009a; Morency, 2007)

En 2008, l'enquête s'est déroulée entre le 3 septembre et le 18 décembre et portait sur l'ensemble des ménages occupant des logements privés dans l'une des 121 municipalités du territoire d'enquête. L'enquête est réalisée en mode CATI (Computer Assisted Computer-Interviewing), c'est-à-dire que les sondeurs peuvent valider, en temps réel, les itinéraires déclarés grâce à une interface spécialisée. Enfin, il est important de souligner qu'un seul membre du ménage est interrogé pour répondre à toutes les questions pour tous les membres habitant le foyer. Il n'y a que pour les enfants de moins de 5 ans qu'aucune information sur les déplacements n'est recueillie. Ces quantités abondantes d'informations sur les déplacements d'un échantillon de près de 156 700 individus (pour 2008) peuvent alors être inter-croisées pour décrire les comportements de mobilité des résidents de la grande région de Montréal.

3.2.3 La table de données de l'enquête Origine-Destination

Les questionnaires développés pour les enquêtes Origine-Destination permettent de recueillir un très grand nombre d'informations. Ces informations peuvent être classées dans trois catégories : les informations sur les ménages, les personnes et les déplacements (Figure 3-4). Par exemple, la sociodémographie (âge, sexe), le statut, la possession d'un permis de conduire ou encore les niveaux de revenus font partie des attributs recueillis sur les individus. Pour les ménages, plusieurs éléments tels que la motorisation (nombre d'automobiles possédées), le nombre de personnes, le revenu ou encore la langue parlée au domicile sont collectés. Finalement, les caractéristiques concernant les déplacements sont récoltées comme les heures, les motifs, les

modes et les origines et destinations des déplacements. Toutes ces informations sont compilées afin de décrire les comportements de mobilité des individus selon de multiples perspectives.

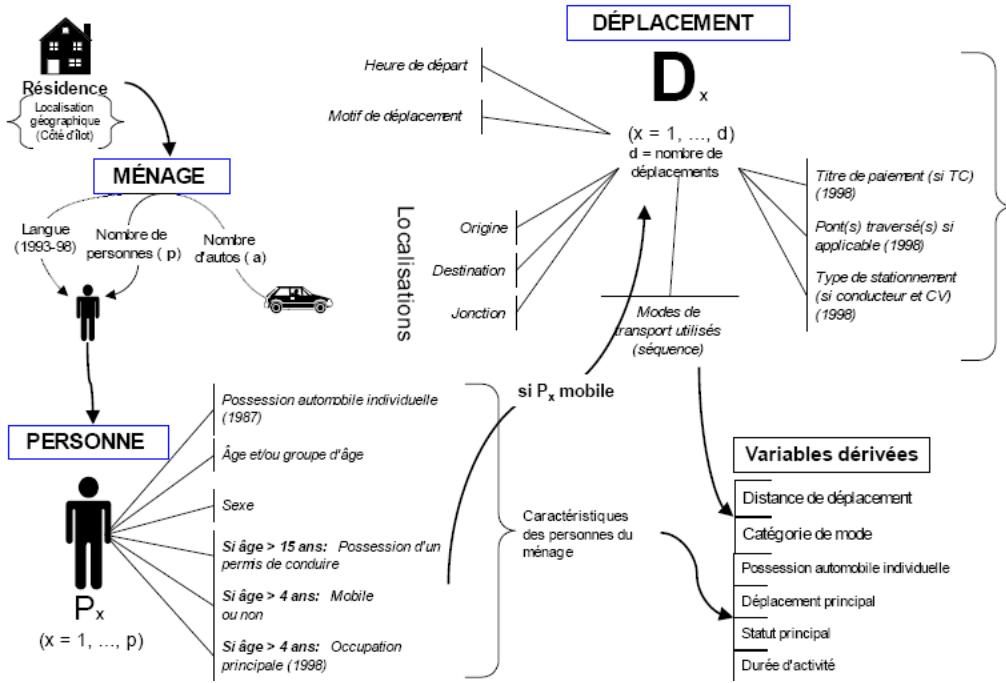


Figure 3-4 : Sommaire des informations recueillies lors d'une enquête Origine-Destination (Morency, 2004)

3.2.4 Échantillon de données et territoire d'étude

Dans cette étude, l'enquête Origine-Destination de 2008 a été utilisée à deux fins. En premier lieu, une présentation du contexte montréalais est proposée au Chapitre 4, récapitulant les grandes tendances de mobilité des cyclistes de l'île de Montréal. En second lieu, l'enquête Origine-Destination a été utilisée pour évaluer le potentiel du vélo pour le cas de l'île de Montréal. Le choix a alors été fait de n'étudier que l'île de Montréal, puisque c'est le principal marché du programme BIXI (en 2009 les stations ne sont déployées qu'à proximité du centre-ville).

Par conséquent, deux échantillons de l'enquête Origine-Destination de Montréal (2008) ont été utilisés pour réaliser cette étude. Tout d'abord, l'échantillon de tous les déplacements effectués avec le mode vélo par les résidents de l'île de Montréal a été traité. Cet échantillon contient à l'état brut 2 883 enregistrements de déplacements représentant 1 248 personnes réparties dans 1 082 ménages (avant pondération).

Ensuite, le second échantillon de données utilisé dans cette étude comprend tous les enregistrements des individus ayant leur domicile situé sur l'île de Montréal. Avant pondération, cet échantillon contient à l'état brut 166 245 enregistrements représentant 72 613 personnes, réparties dans 32 892 ménages. Ces personnes ont accompli 149 616 déplacements (avant pondération).

3.3 Tables de données des conditions météorologiques

Comme il a été détaillé dans la revue de littérature, les conditions météorologiques peuvent avoir un impact significatif dans les niveaux d'utilisation du vélo. Par conséquent, plusieurs variables concernant les conditions météorologiques ont été utilisées lors de la modélisation des facteurs influençant l'usage de la bicyclette dans le contexte montréalais ainsi que pour la modélisation des niveaux d'activités dans le système BIXI.

Le site Internet d'Environnement Canada (2010) fournit un historique de données des conditions météorologiques pour de nombreuses villes du Canada. Des tables ont été extraites de cette source pour modéliser les comportements des cyclistes de Montréal.

Tableau 3-1 : Description des champs de la table de données de conditions météorologiques

Champs	Exemples	Description
Date	2008-10-01	Date du jour décrit par les statistiques météorologiques
Temp. max. (°C)	7.20	Température maximale relevée pendant la journée
Temp. min. (°C)	-3.50	Température minimale relevée pendant la journée
Temp. moy. (°C)	12.60	Température moyenne de la journée
Pluie tot. (mm)	9.40	Nombre cumulé des précipitations sous forme de pluie
Neige tot. (cm)	15.00	Nombre cumulé des précipitations sous forme de neige
Précip. tot. (mm)	22.00	Nombre cumulé des précipitations (incluant neige et pluie)
Neige au sol (cm)	10.00	Nombre de centimètres de neige au sol pendant la journée
Vit. raf. max. (km/h)	63.00	Vitesse maximale des rafales de vent relevée lors de la journée

Dans notre étude, les conditions météorologiques à l'aéroport international Pierre-Eliot Trudeau ont été sélectionnées entre septembre et décembre 2008 et entre juillet et septembre 2009. Les principaux champs de la table de données sont résumés dans le Tableau 3-1.

3.4 Le système d'information BIXI

Comme mentionné dans la revue de littérature, le principe d'un système de vélopartage consiste à mettre à la disposition des citoyens un réseau de stations et de bicyclettes réparties dans un territoire bien défini. La pérennité du système est obtenue grâce à l'identification et au suivi de chacune des bicyclettes dans le réseau. Pour assurer ce suivi opérationnel, l'opérateur de vélopartage doit mettre en place un système d'information complexe, composé de trois principales tables de données : la table des transactions, la table des états des stations et la table de suivi des transferts.

Ce paragraphe a pour objectif de présenter les tables de données de l'opérateur BIXI ainsi que les interactions entre les différents objets du système. Pour une meilleure compréhension des concepts, nous commencerons par donner des définitions de plusieurs termes techniques.

3.4.1 Définition des objets de l'étude

L'examen de la littérature révèle que le nombre d'études s'intéressant au vélopartage est en constante augmentation. Malgré cette évolution, il est très difficile de trouver des définitions précises de chacun des éléments composant le vélopartage. Ce paragraphe propose plusieurs définitions des termes qui seront utilisés dans toute la suite du document.

- **Une station** : est un support matériel déposé dans la ville dans laquelle l'utilisateur peut emprunter ou déposer une bicyclette. Une présentation complète des stations est proposée dans la revue de littérature (paragraphe 2.4.5.1). On parlera de station pleine pour signifier qu'une station n'a plus aucun point d'ancrage disponible pour de nouveaux dépôts. De la même manière, le terme station vide désignera une station ne comportant plus aucun vélo disponible pour de nouveaux emprunts.
- **Un point d'ancrage** : est le support physique dans lequel les vélos sont maintenus.
- **Emprunt** : est l'action de déverrouiller une bicyclette du point d'ancrage. Cette action va créer une transaction.
- **Dépôt** : est l'action de verrouiller une bicyclette à un point d'ancrage. Cette action va conclure la transaction ouverte lors de l'emprunt.

- **Une transaction** : est une réservation d'une bicyclette par un utilisateur. La transaction a pu donner lieu ou non à un déplacement. Elle est composée d'un emprunt et d'un dépôt de vélo.
- **Un déplacement** : est considéré lorsqu'un utilisateur emprunte une bicyclette pour une durée supérieure à une minute. On sous-entend alors que la personne a utilisé la bicyclette. La principale différence entre les notions de déplacement et de transaction vient du fait que dans certains cas les personnes empruntent une bicyclette et la reposent aussitôt dans le point d'ancrage (résultant par exemple d'un problème technique sur le vélo, d'un changement d'avis de la part de l'utilisateur, etc.).
- **Un abonné** : (ou membre) est une personne ayant souscrit à un abonnement au système. L'abonnement peut être mensuel ou annuel, mais aucune distinction entre les types d'abonnement n'est réalisée dans cette étude.
- **Un usager occasionnel** : est une personne utilisant les services de l'opérateur de vélopartage sans abonnement préalable au système et pour une durée maximum de 24h. Pendant, ce laps de temps, l'usager occasionnel peut emprunter autant de bicyclette qu'il le souhaite, à raison d'un maximum de deux emprunts simultanés par carte de crédit. Il est important de préciser que les usagers occasionnels sont identifiés dans les tables de données par leur numéro de membre. Ce numéro est attribué par l'opérateur grâce aux cartes de paiement auxquelles nous n'avons pas accès. Ainsi, dans toute cette étude la dénomination « usagers occasionnels » reposera sur les numéros de membres des tables de données et tous les enregistrements réalisés avec un même numéro de membre occasionnel seront attribués à une seule personne. Or, si un usager a recours au système une première fois et qu'il décide, quelque temps plus tard, de souscrire de nouveau au programme, mais avec une carte bancaire différente, il sera alors considéré dans la table de données comme deux individus différents, car nous ne disposons d'aucun autre moyen pour identifier les individus. Ceci est l'une des limites de l'étude des usagers occasionnels.
- **Un abonné ou usager occasionnel actif** : est une personne effectuant au moins une transaction lors de la période étudiée. Il convient d'être vigilant face à la notion de période d'étude puisque nous parlerons parfois de personnes actives sur la journée et dans d'autres cas de personnes actives sur l'ensemble des trois mois d'analyse.

- **Transfert** : est un déplacement planifié d'une bicyclette d'un endroit à un autre. Cette action est complétée par le personnel technique de l'opérateur.
- **Capacité** : est le nombre de points d'ancrage disponibles sur chaque station.

3.4.2 Système orienté-objet du vélopartage

La description du système de vélopartage comme modèle orienté-objet s'inspire des travaux déjà réalisés sur l'autopartage (Grasset, 2009; Martin, 2007). Tout comme l'autopartage, deux points de vue peuvent être différenciés selon que l'on soit usager ou opérateur du système. En effet, l'usager du vélopartage cherchera à optimiser son utilité, c'est-à-dire avoir accès en tout temps et tous lieux à une bicyclette et pouvoir la déposer où il le souhaite, tandis que l'opérateur cherchera à réduire au maximum les coûts opérationnels. Cette réduction de coûts passe par une diminution de l'entretien et la maximisation de la redistribution des vélos sur le réseau par les usagers.

Il ressort de ces deux points de vue que les notions d'espace et de temps sont les caractéristiques critiques pour assurer le fonctionnement du système. En effet, pour que le système fonctionne et qu'une transaction ait lieu, il faut que les trois objets du système soient disponibles simultanément, c'est-à-dire que l'usager soit à une station et que la station contienne des bicyclettes et/ou des points d'ancrage disponibles. Ces liens entre les différents objets doivent exister pour l'emprunt et le dépôt d'une bicyclette. La problématique pour l'opérateur est de planifier un réseau avec un nombre suffisant de stations, disposées de façon pertinente sur le réseau, et d'assurer au maximum la disponibilité des bicyclettes et des points d'ancrage. De plus, un processus d'optimisation du réseau a été mis en œuvre par l'opérateur et consiste à transférer volontairement les bicyclettes entre les différentes stations dans le but d'équilibrer la distribution des vélos sur le réseau. Les interactions entre les trois objets du système sont résumées sur la Figure 3-5, adaptée de Martin (2007) pour le vélopartage.

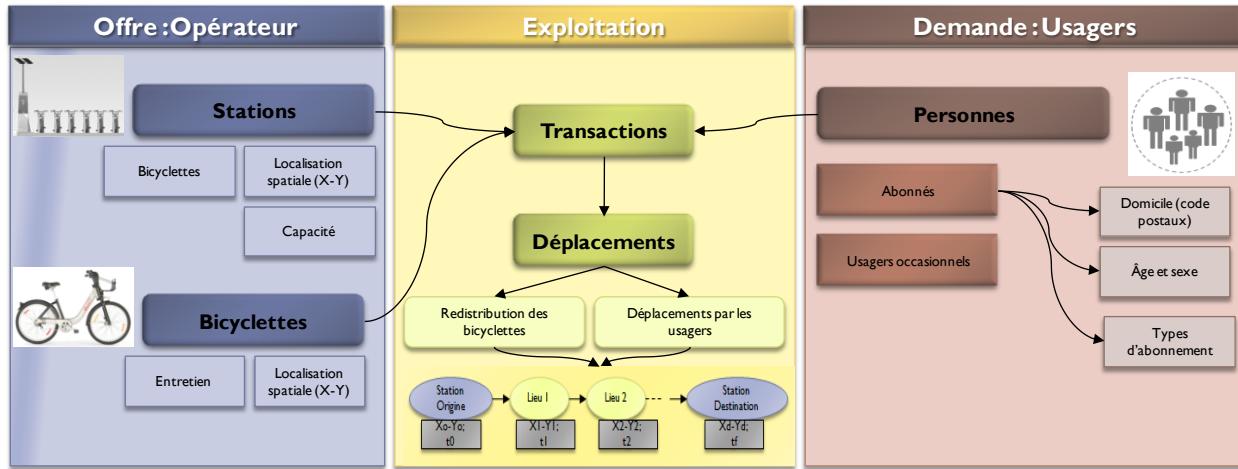


Figure 3-5 : Interaction entre les trois composants du vélopartage adaptée de (Martin, 2007)

Finalement et de façon plus rigoureuse, le système de vélopartage BIXI peut être résumé par un modèle orienté-objet reposant sur le concept de modélisation orienté-objet en transport, développé par Trépanier (1999) (Figure 3-6). Dans son approche, il classe les objets dans 4 métaclasses: les statiques (supports de déplacement), les dynamiques (acteurs de déplacement), les cinétiques (description des itinéraires de déplacement) et les systémiques (les réseaux, les systèmes).

Sur la Figure 3-6, les informations disponibles pour les différents objets sont mentionnées au terme de la saison d'exploitation 2009 et sont extraites des trois tables de données citées précédemment. Bien entendu, le système a évolué pendant toute la saison et les données apparaissant ici ne sont qu'un portrait de la situation à la clôture du système.

Au terme de l'année 2009, 4 749 bicyclettes auront été utilisées dans un réseau de 380 stations (comportant 6 518 points d'ancrage). 9 373 abonnés actifs, ayant complété au moins une transaction, sont recensés dans le système ainsi que 98 900 usagers occasionnels. Ces personnes ont accompli 1 105 085 transactions dont 1 068 582 ont abouti à un déplacement. Finalement, 109 966 transferts ont été opérés par le personnel technique de BIXI.

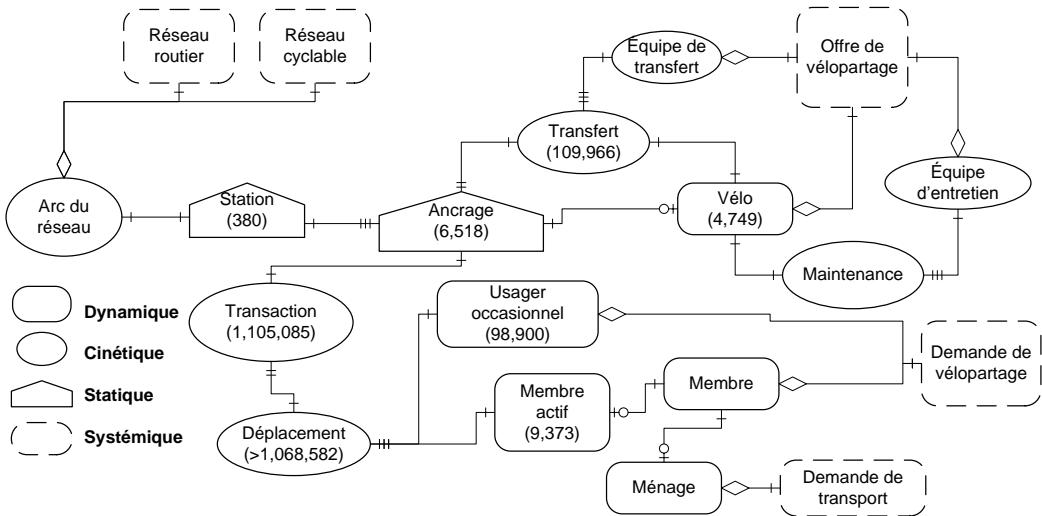


Figure 3-6 : Modèle orienté-objet du système de vélopartage BIXI (Morency, Trepanier, & Godefroy, 2011)

3.4.3 Les tables de données de l'opérateur BIXI

L'analyse du système de vélopartage repose sur l'exploitation d'un échantillon de trois mois de données provenant de trois tables de données de la société BIXI (fournies par l'entremise de son partenaire 8D). Ces trois tables de données interagissent ensemble afin de contrôler en temps réel l'état du réseau. La suite de cette section présente chacune des tables de données.

3.4.3.1 Table de données transactionnelles

Lorsqu'un client réserve une bicyclette, au moyen d'une carte de crédit ou d'un abonnement, une transaction est enregistrée dans le système d'information de l'opérateur. Le client se voit attribuer un identifiant unique et les informations nécessaires au suivi de ses opérations dans le système sont stockées. Par conséquent, la table de données des transactions contient toutes les informations sur les opérations effectuées par les usagers, incluant des renseignements sur le type d'usagers, les vélos, les attributs spatiaux (stations d'emprunts et de dépôts) ainsi que toutes les informations temporelles (heures d'emprunts et de dépôts, dates d'emprunts et de dépôts). À l'état brut, cette table de données contient 17 champs présentés dans le Tableau 3-2.

Tableau 3-2 : Description des champs de la table de données des transactions

Champs	Exemples	Description
MEM_ID	13210	Identifiant unique des usagers
MEM_TYPE	AB	Type de membre enregistré dans le système
MEM_GENRE	F	Genre de l'abonné
MEM_LNG	en	Langue de l'abonné
MEM_DATNAI	1977-06-30	Date de naissance de l'abonné
MEM_CODEP	J7G3J8	Code postal du domicile de l'abonné
AB_TYPE	1A	Type d'abonnement souscrit par l'abonné
STAT_ID_O	132	Station d'origine d'emprunt du vélo
TR_DATE_O	2009-07-07	Date de début de réservation (Origine)
TR_HEURE_O	10:40:00	Heure de début de réservation
STAT_ID_D	68	Station de dépôt du vélo
TR_DATE_D	2009-07-07	Date de fin de réservation (Destination)
TR_HEURE_D	10:47:00	Heure de fin de réservation
LOC_DUREE	417	Durée de réservation
LOC_CRED	0	Crédit de temps pour déposer le vélo
LOC_DURTOT	417	Durée totale de réservation
VEL_ID	68	Identifiant unique du vélo emprunté

Plusieurs informations complémentaires peuvent être mentionnées pour certains champs :

- MEM_TYP : ce champ permet d'identifier si l'usager est abonné (AB) au système ou s'il est simplement un usager occasionnel (OC). Dans certains cas, aucune information n'est disponible et le type d'usager est imputé manuellement grâce aux autres champs de la table de données.
- MEM_GENRE / MEM_LNG / MEM_DATNAI / MEM_CODEP : ces champs sont complétés uniquement dans le cas où l'usager est abonné au système. Pour les usagers occasionnels, le champ reste vide.
- AB_TYPE : Cette information renseigne sur le type d'abonnement choisi par l'usager : abonnement annuel (1A), abonnement annuel en trois paiements (1B), abonnement annuel avec réduction tarifaire (1C), abonnement annuel gratuit (OF) ou bien souscription pour 24h (24). Encore une fois, plusieurs enregistrements ne sont pas renseignés et le champ est complété par la valeur « inconnu », symbolisée par IN.
- LOC_CRED : dans le cas où un usager se retrouve face à une station pleine et qu'il souhaite déposer sa bicyclette, il peut demander à l'opérateur un crédit de 15 minutes de temps supplémentaire afin de trouver un point d'ancrage vacant dans le réseau. Il peut

répéter cette opération plusieurs fois s'il est confronté à plusieurs stations pleines. Ce champ indique le temps fourni par l'opérateur au client pour qu'il puisse déposer son vélo. Ce temps ne sera pas facturé au client, mais est inclus dans le temps total de la réservation.

Enfin, aux fins de l'étude, plusieurs champs supplémentaires ont été calculés, mais ne seront pas présentés ici.

3.4.3.2 Table de données des états des stations

Chacune des stations du réseau dispose d'un certain nombre de points d'ancrage. Les points d'ancrage peuvent être vacants (disponibles pour le dépôt d'un vélo) ou bien être pleins (disponibles pour l'emprunt d'un vélo). Il est intéressant pour l'opérateur de pouvoir connaître à tout moment l'état de chacune des stations. Ceci permet, entre autres, de planifier les transferts de vélos à accomplir et de mesurer les différents niveaux de remplissage afin d'opérer des ajustements de capacité si nécessaire. L'état de chacune des stations du réseau est enregistré toutes les minutes dans une table de données. La table de données des stations contient à l'état brut six champs présentés dans le Tableau 3-3.

Tableau 3-3 : Description des champs de la table de données des états des stations

Champs	Exemples	Description
STA_ID	63	Numéro d'identification des stations
ET_DATE	2009-07-01	Date d'enregistrement
ET_HEURE	02:00	Heure d'enregistrement
ET_NB_VEL	8	Nombre de vélos disponibles à la station
ET_NB_VID	7	Nombre de points d'ancrage disponibles à la station
ET_NB_DEF	0	Nombre de vélos défectueux à la station

Des informations supplémentaires sur certains champs peuvent être détaillées :

- ET_HEURE : dans la table de données initiale, un enregistrement a lieu toutes les minutes pour chacune des stations en service (soient 369 enregistrements/min pour notre période d'étude). On s'aperçoit alors qu'un enregistrement par minute pendant les trois mois d'analyse équivaut à une table de données de 47 822 400 enregistrements. Par conséquent, pour réduire le volume de données à traiter, le choix a été fait de ne tenir compte que d'un enregistrement par heure de service. Cette hypothèse permet de ne traiter qu'un peu plus de 650 000 enregistrements. Cependant, il faut savoir qu'une telle

hypothèse crée un biais dans les variations d'états des stations. Par exemple, si un usager emprunte une bicyclette pendant une heure de service et qu'un autre en rapporte une pendant la même heure, l'enregistrement n'indiquera qu'aucune variation d'état n'a eu lieu. Dans les calculs des différents indicateurs, on aura alors deux transactions qui ne seront pas incluses. Ce problème pourrait néanmoins être réglé en généralisant le calcul des indicateurs à l'ensemble des stations du réseau en utilisant un découpage plus fin d'analyse de l'état des stations. Cependant, ceci n'est pas inclus dans le cadre de cette étude.

- ET_NB_DEF : ce champ indique le nombre de bicyclettes ou points d'ancrage défectueux dans la station. En effet, un bouton sur le point d'ancrage permet aux usagers du système de signaler à l'opérateur lorsqu'un vélo est défectueux. Ainsi, dès qu'un vélo est signalé comme étant défectueux, ce champ s'ajuste pour indiquer à l'opérateur qu'un des points d'ancrage n'est plus fonctionnel, puisqu'un vélo défectueux y est accroché. Parallèlement, il peut aussi arriver qu'un point d'ancrage soit directement défectueux suite à un bris quelconque, auxquels cas, ce champ renseignera également sur l'indisponibilité du point d'ancrage.

De la même manière que pour la table de données des transactions, une série de champs ont été dérivées des données brutes et sont décrits dans le Tableau 3-4.

Tableau 3-4 : Description des champs dérivés de la table de données de l'état des stations

Champs	Exemples	Description
CAPACITE	15	Capacité de la station
TAUX_REMPL	78 %	Taux de remplissage de la station
PLEINE	0	Variable égale à 1 si la station est pleine sinon 0
VIDE	1	Variable égale à 1 si la station est vide sinon 0

3.4.3.3 Table de données des transferts

La dernière table de données recense l'ensemble des actions opérées par le personnel technique de l'opérateur BIXI, permettant de suivre l'évolution des transferts et des réparations. Cependant, il n'est pas possible de connaître les raisons ayant abouti aux déplacements des bicyclettes. Cette information est imputée en fonction du temps entre le moment où le vélo est retiré du système et le moment où il est réinséré. Pour des périodes de longue durée (plus de 24h), on considérera que

la bicyclette était en réparation alors que, pour des courtes durées, on supposera que la bicyclette a été transférée. Cette table de données contient sept champs résumés dans le Tableau 3-5.

Tableau 3-5 : Description des champs de la table de données des transferts

Champs	Exemples	Description
VEL_ID	1432	Numéro d'identification des stations
STA_ID_O	123	Station à laquelle le vélo est retiré du système
TR_DATE_O	2009-07-30	Date à laquelle le vélo est retiré du système
TR_HEURE_O	12:00	Heure à laquelle le vélo est retiré du système
STA_ID_D	7	Station dans laquelle le vélo est réinséré
TR_DATE_D	2009-08-30	Date à laquelle le vélo est réinséré dans le système
TR_HEURE_D	09:00	Heure à laquelle le vélo est réinséré dans le système

3.4.4 Échantillons de données et tables de données dérivées

Pour cette première étude, le sous-ensemble analysé concerne l'intégralité des informations enregistrées pour les mois de juillet, août et septembre 2009. Le choix de ces mois d'étude repose sur deux aspects : tout d'abord, entre mai et juillet l'offre a connu une croissance très soutenue puisqu'à l'ouverture au mois de mai seulement 25 stations étaient en service contre près de 275 le 1^{er} juillet. Ainsi, les variations quotidiennes de l'univers sont très marquées pendant cette période posant des problèmes majeurs dans le calcul des indicateurs. Ensuite, à partir de fin septembre, le nombre d'usagers occasionnels diminue fortement du fait de la fin de la période estivale, rendant plus difficiles les comparaisons entre les différents types de clientèle du système. Ce paragraphe présente les échantillons de données traitées dans cette étude.

3.4.4.1 Échantillons de données

Tout d'abord, la table de données des transactions contient à l'état brut 642 702 enregistrements de transactions. Le membre avec l'identifiant 0, les transactions sur les stations de démonstration (296 et 297) ainsi que les stations 10, 172 et 240 ont été exclus de l'analyse, car aucune information sur ces stations n'est répertoriée dans la table de donnée des états des stations. L'échantillon total étudié comporte alors 640 014 enregistrements. Par ailleurs, il faut noter que lors de l'analyse des durées de déplacement, les enregistrements, dont la durée excède 10h ainsi que ceux de durée nulle, ont été exclus de l'analyse (soit 3 014 enregistrements). De même, lors de l'analyse des distances parcourues, les déplacements dont les stations d'origine et de destination sont identiques ont été exclus de l'analyse (soit 33 131 enregistrements).

Ensuite, la table de données des états des stations contient à l'état brut 656 623 enregistrements. Il faut noter que les deux stations 364 et 398 ont été installées dans les derniers jours du mois de septembre, c'est pourquoi aucune transaction n'est associée à ces deux stations. Par conséquent, après exclusion de ces deux stations, l'échantillon étudié comporte 656 491 enregistrements.

Finalement, la table de données transferts contient à l'état brut 57 572 enregistrements. Après suppression des enregistrements concernant les stations 10-172-240-296-297-364-398, l'échantillon analysé comporte 55 163 enregistrements.

3.4.4.2 Les tables de données dérivées

Pour accomplir les études, deux tables de données complémentaires ont été construites grâce aux données brutes fournies par les différentes institutions :

- **La table de données des abonnés :** cette table est construite grâce aux données de transactions et permet d'obtenir une table de données contenant un enregistrement unique pour chaque abonné, ayant complété au moins une transaction dans le système, avec l'ensemble de ses attributs sociodémographiques.
- **La table de données des naissances des usagers:** cette table est également construite grâce à la compilation des données de transactions. Chacun des membres est identifié par sa première transaction dans le système. Cette table permet de connaître l'évolution du nombre d'usagers du système et est utilisée pour suivre la fidélité des usagers envers le service ainsi que pour évaluer l'impact de l'implantation d'une nouvelle station.

3.4.5 Interactions entre les tables de données

Afin de contrôler l'ensemble des opérations du système de vélopartage, les trois tables de données, présentées précédemment, se combinent pour stocker toutes les informations. La Figure 3-7 permet de comprendre les liens entre les tables de données et illustre les tables de données impliquées lors de chacune des opérations. Il faut préciser que nous ne sommes pas en mesure de connaître exactement l'ordre des étapes d'enregistrements dans les tables de données. Nous pouvons tout de même décrire sommairement les liens entre les opérations et les tables de données.

Lorsqu'un usager emprunte une bicyclette à une station d'origine (géoréférencée dans le réseau), une transaction est ouverte (étape 1). Ensuite, lors de l'enregistrement suivant dans la table de données des états des stations (ayant lieu toutes les minutes), la nouvelle ligne d'enregistrement indiquera qu'un point d'ancrage supplémentaire est disponible. Pendant ce temps, la personne poursuit son déplacement pour se rendre à la station de destination (étape 2).

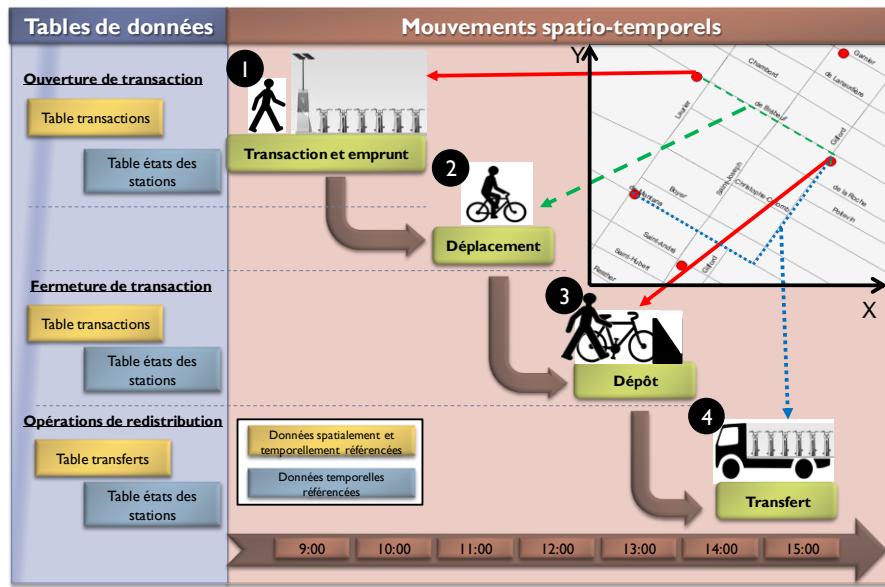


Figure 3-7: Description des interactions entre les tables de données

Au moment du dépôt du vélo, la transaction s'arrête et les informations concernant la station d'arrivée et les temps de parcours sont stockées. Ceci permet de créer un enregistrement dans la table des transactions résumant l'ensemble des caractéristiques du parcours. De la même manière, le prochain enregistrement dans la table des états des stations indiquera qu'un vélo supplémentaire est disponible (étape 3).

Finalement, il peut arriver qu'une station contienne un grand nombre de bicyclettes tandis qu'à d'autres endroits du réseau les vélos viennent à manquer. Dans un tel cas, l'opérateur peut réaliser des transferts volontaires de vélos grâce à ses équipes opérationnelles (étape 4). La table des états des stations indiquera dans ses prochains enregistrements les nouveaux états des stations impliquées dans les transferts tandis qu'un enregistrement supplémentaire sera créé dans la table des transferts pour chaque bicyclette déplacée.

Pour terminer la présentation de l'interaction entre les tables, l'organisation des différents objets ainsi que leurs attributs est faite sur la Figure 3-8. On s'aperçoit que la majorité des informations proviennent de la table des transactions.

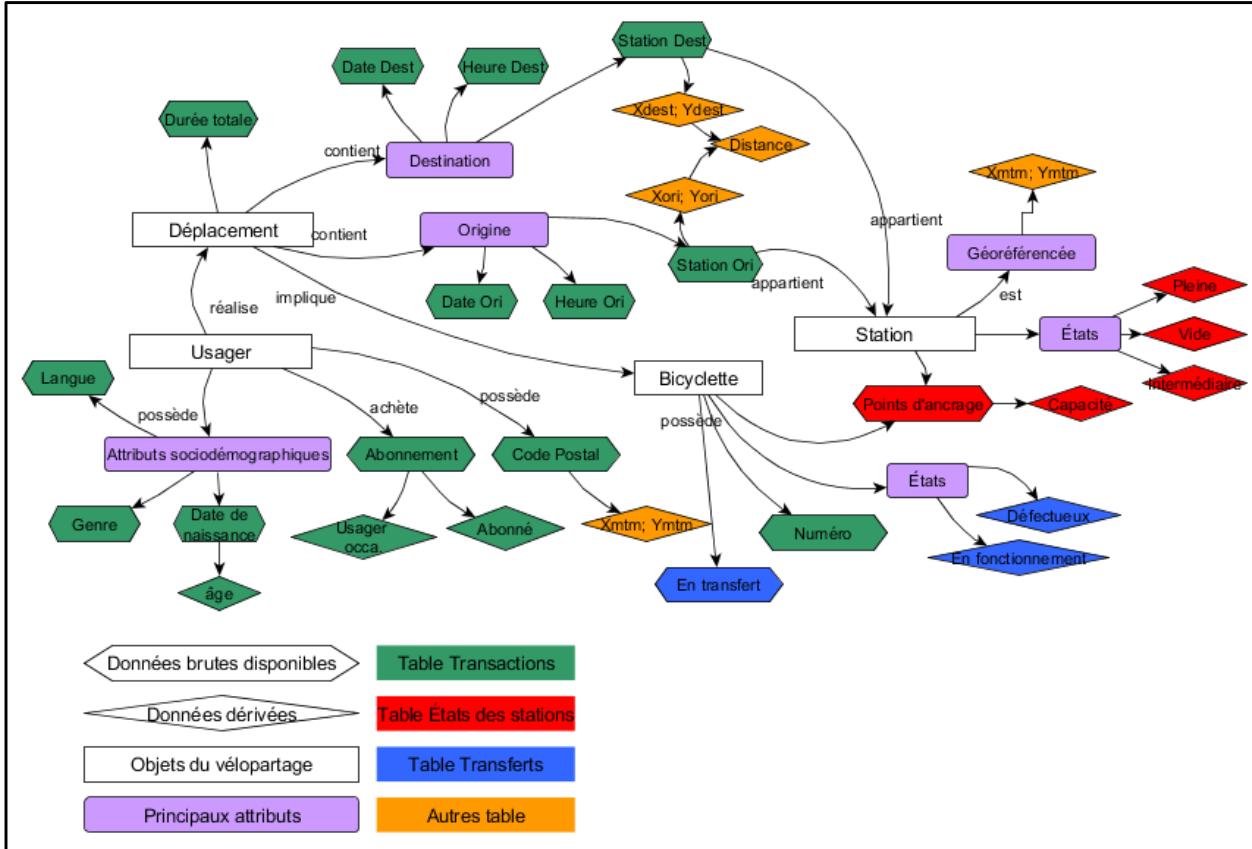


Figure 3-8 : Carte conceptuelle de l'organisation du système de vélopartage

3.4.6 Résumé

Dans ce chapitre, il a été présenté l'ensemble des tables de données utilisées dans la suite de cette étude. Dans un premier temps, nous avons rappelé et décrit les principes de l'étude. Ensuite, l'enquête Origine-Destination sur laquelle repose la première partie du travail a été détaillée. Finalement, dans la dernière partie, nous nous sommes attardés à décrire les différents objets composant un système de vélopartage ainsi que les différentes tables de données associées au contrôle d'un tel système.

CHAPITRE 4 PORTRAIT DU VÉLO SUR L'ÎLE DE MONTREAL PAR L'ENQUÊTE ORIGINE-DESTINATION DE 2008

Ce premier chapitre a pour objectif de présenter l'état du vélo sur l'île de Montréal grâce aux données de l'enquête Origine-Destination tenue en automne 2008. L'enquête s'est déroulée moins de six mois avant l'implantation du programme de vélopartage BIXI, ce qui la rend particulièrement pertinente afin de dresser un portrait précis de l'état du vélo lors d'un jour moyen de semaine d'automne avant la mise en service du programme et de mieux comprendre le marché sur lequel s'est implanté le système. Les profils utilisateurs ainsi que les caractéristiques des déplacements en vélo seront alors illustrés pour être plus tard comparés avec les usagers et caractéristiques des déplacements du vélopartage. À la suite de la présentation de ces tendances lourdes de mobilité des cyclistes, nous discuterons des limites de ces enquêtes dans l'évaluation des modes actifs comme la marche et le vélo.

4.1 Méthodologie d'analyse

Plusieurs aspects des enquêtes Origine-Destination, comme l'historique ainsi que la structure des données recueillies, ont déjà été présentés dans le paragraphe 3.2. Ce paragraphe vise à clarifier certains aspects méthodologiques permettant d'apprécier les limites et les résultats présentés dans ce chapitre.

Tout d'abord, l'enquête Origine-Destination de 2008 s'est déroulée du 3 septembre au 18 décembre 2008 et s'est achevée avec l'interrogation de près de 66 100 ménages résidant dans l'ensemble de la grande région de Montréal (AMT, 2009b). Deux aspects de l'entrevue doivent être reprécisés : d'une part, la personne interrogée doit répondre aux questions pour l'ensemble des personnes du ménage et, d'autre part, les questions posées concernent les déplacements réalisés la veille. Les informations recueillies correspondent donc aux déplacements des individus lors d'un jour moyen de semaine d'automne. Ces deux points sont essentiels pour comprendre les limites de l'enquête Origine-Destination (voir paragraphe 4.4).

Ensuite, le système de projection métrique MTM NAD83 est utilisé pour la codification spatiale des déplacements,. La table de données de l'enquête Origine-Destination fournit les coordonnées des domiciles ainsi que des origines et destinations des déplacements sous ce format. Par conséquent, les cartes et les analyses spatiales seront réalisées dans ce système de projection. De

plus, concernant les distances de déplacement, bien que l'enquête Origine-Destination fournisse un grand nombre d'informations sur les déplacements, nous ne connaissons pas le trajet exact accompli par l'individu. Ainsi, la distance Manhattan a été calculée pour déterminer la distance parcourue et sera appelée « pseudo-distance de parcours » puisque le calcul réalisé contient systématiquement une erreur par rapport au trajet réellement effectué par l'individu. La formule utilisée est la suivante :

$$D = \sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|$$

Avec $\{X_i; Y_i\}$ des couples de coordonnées dans un système métrique (origine et destination) et n le nombre de points.

Finalement, un accent tout particulier sera mis dans la présentation de 14 secteurs municipaux situés à proximité de la zone de déploiement du programme de vélopartage BIXI (Figure 4-1). En effet, il semble intéressant d'insister sur les caractéristiques des secteurs et des quartiers dans lesquels le programme BIXI a été instauré puisque ce sont les personnes de ces zones qui sont les plus à même d'avoir recours au service.

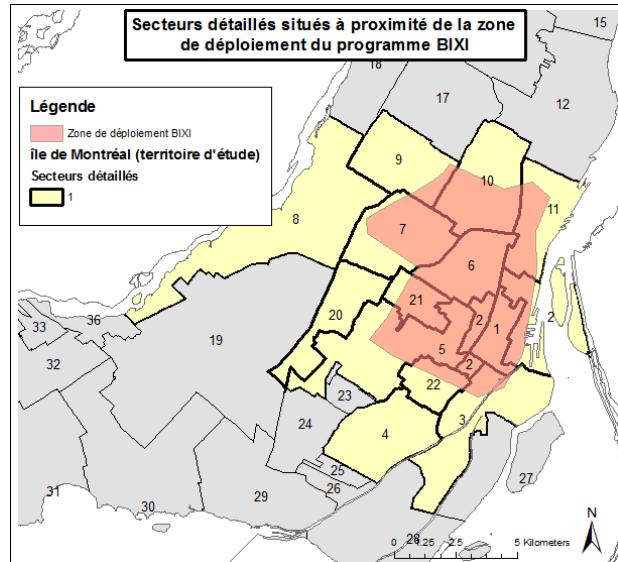


Figure 4-1 : 14 secteurs municipaux situés à proximité de la zone de déploiement de BIXI

4.2 Présentation du contexte montréalais

L'enquête Origine-Destination de 2008 couvre un territoire de près de 8 200 km² pour une population de plus de 3,9 millions de personnes. Au sein de cet espace, l'île de Montréal ne compte que pour 7,5 % du territoire (620 km²), mais est constituée de plus de 1,8 million de personnes (46,2 % de la population de la grande région de Montréal) (Figure 4-2).

En termes de transport, en 2009, 4 lignes de train exploités par l'Agence Métropolitaine des Transport (AMT), 4 lignes de métro et près de 202 lignes d'autobus exploitées par la Société des Transports de Montréal (STM), permettent la réalisation de 1,3 million de déplacements quotidiennement (Société des Transports de Montréal (STM), 2009).

Dans cette première section, les profils sociodémographiques des résidents de l'île ainsi que plusieurs indicateurs de transport (motorisation et part modale) seront présentés pour caractériser la population.

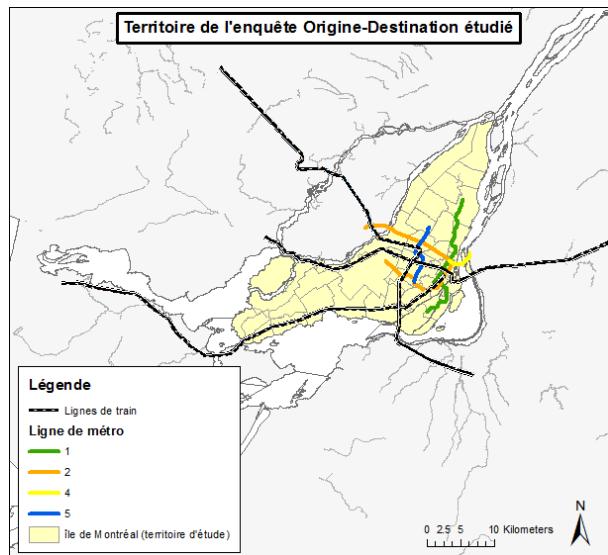


Figure 4-2 : Territoire d'étude de l'enquête Origine-Destination de 2008

4.2.1 Profils sociodémographiques des résidents de l'île de Montréal

D'après l'enquête Origine-Destination, la population de l'île de Montréal s'établirait à près de 1 854 400 personnes réparties dans 831 030 ménages. La densité d'habitant sur l'île est de 2 960 habitants par km². Cependant, les densités sont très variables sur le territoire avec une concentration accrue d'individus à proximité du centre économique de la ville (densité de population de plus de 5 500 personnes par km²) tandis que les extrémités de l'île sont moins peuplées (densité de moins de 1 000 habitants par km²) (Figure 4-3).

De plus, près de 33 300 personnes (1,8 % de la population) déclarent utiliser au moins une fois le vélo comme mode de transport sur l'un de leurs déplacements lors d'un jour moyen de semaine et seront considérées dans la suite du document comme la population cycliste de l'île de Montréal. La répartition spatiale des cyclistes est très inégale sur le territoire puisque près de 58,1 % des cyclistes sont concentrés dans seulement cinq secteurs de l'île de Montréal : Plateau-Mont-Royal, Rosemont, Villeray, Centre-ville périphérique et Montréal sud-est (Figure 4-3). À l'inverse, les secteurs des extrémités de l'île comptent, en général, moins de 0,5 % d'individus cyclistes par secteur.

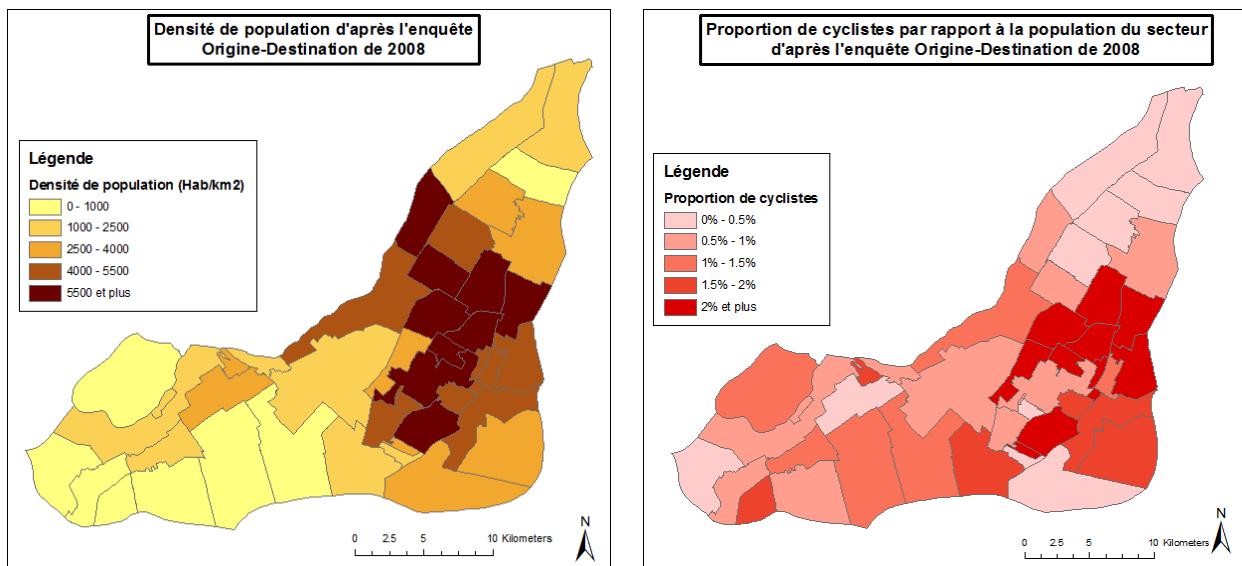


Figure 4-3 : Cartes de la densité de population et de la densité de cyclistes suivant les secteurs municipaux d'après l'enquête Origine-Destination 2008

Par ailleurs, l'île de Montréal compte plus de 831 000 ménages dont le nombre moyen de personnes par ménage est de 2,2. Parmi ces ménages, 38,1 % ne sont constitués que d'une seule personne. La répartition des ménages révèle que le nombre de ménages augmente à mesure que l'on s'approche du centre-ville. Parallèlement, le taux de ménage d'une seule personne est maximal pour le secteur Centre-ville périphérique avec 58,4 %. Ainsi, une tendance similaire se dessine, à savoir que le nombre de ménages d'une seule personne augmente à mesure que l'on s'approche du centre-ville. Par ailleurs, près de 3,3 % des ménages de l'île contiennent au moins une personne cycliste. Ces ménages seront désignés par l'appellation « ménages actifs ». Le nombre moyen de personnes par ménage actif s'élève à 2,4. Ainsi, les foyers avec une personne cycliste ont tendance à être de taille plus importante que la moyenne de l'île. Ceci est confirmé par le nombre de ménages actifs unipersonnels, car seulement 29,4 % des ménages actifs ne sont constitués que d'une seule personne ce qui est très inférieur à la moyenne de l'île (38,1 %).

De plus, les hommes sont minoritaires sur l'île de Montréal puisqu'ils ne comptent que pour 48,1 % des personnes. On note alors une surreprésentation importante des hommes dans la population cycliste, car ils correspondent à 65,0 % des cyclistes. En outre, l'âge moyen de la population de l'île est de 39,4 ans tandis que celle des cyclistes est légèrement plus faible à 36,7 ans. L'âge moyen des femmes cyclistes est particulièrement basse (35,4 ans) par rapport à l'âge moyen de l'ensemble des femmes de la population (40,8 ans).

Enfin, pour ce qui est des statuts socioprofessionnels, l'île compte près de 45,2 % de travailleurs et 23,0 % d'étudiants. Le reste de la population est soit retraité (18,3 %), soit le statut n'est pas précisé (13,5 %). Il y a alors une très forte surreprésentation des travailleurs chez les cyclistes puisque 63,8 % des cyclistes sont des travailleurs. Les étudiants sont représentatifs de la population avec 22,9 % de cyclistes étudiants. Finalement, les retraités sont sous-représentés dans la population cycliste, car ils ne correspondent qu'à 6,8 % des cyclistes. La Figure 4-4 illustre les démographies des résidents de l'île et des cyclistes suivants les cohortes d'âges et les statuts socioprofessionnels confirmant les tendances exprimées.

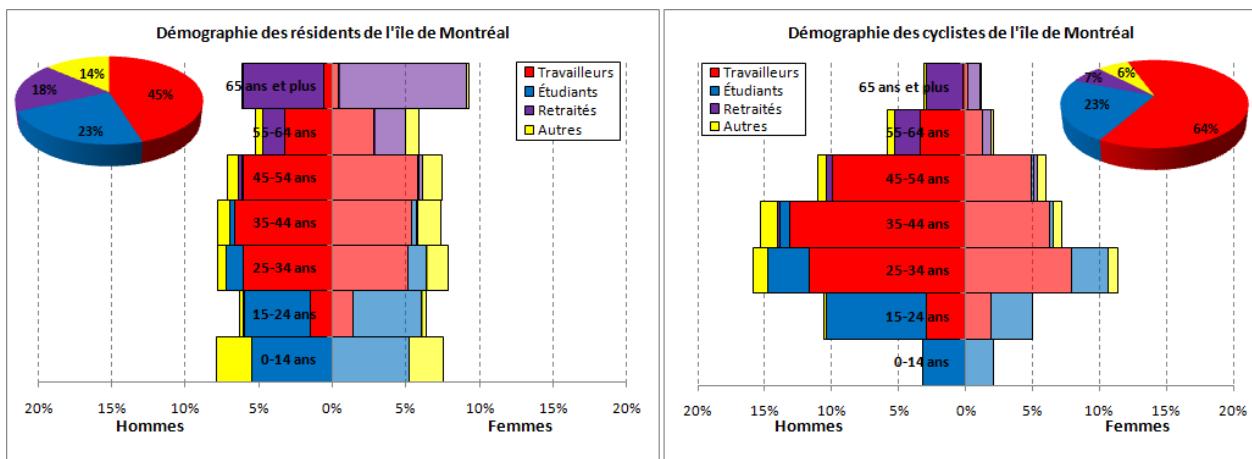


Figure 4-4 : Démographie des résidents et des cyclistes de l'île de Montréal d'après l'enquête Origine-Destination de 2008

De plus, le Tableau 4-1 résume les principales distinctions entre la population de l'île de Montréal et la population cycliste présentées ci-dessus.

Tableau 4-1 : Description de la population résidant sur l'île de Montréal d'après l'enquête Origine-Destination de 2008

	Île de Montréal	Cyclistes de l'Île
Population	1 854 420	33 320
Densité (personnes/km ²)	2 959	53
Hommes (%)	48,1 %	65,0 %
Femmes (%)	51,9 %	35,0 %
Âge moyen de la population	39,4	36,7
Âge moyen des hommes	37,9	37,3
Âge moyen des femmes	40,8	35,4
Nombre de ménages	831 030	27 790
Densité (ménage/km ²)	1 326	44
Nombre moyen de personnes par ménage	2,2	2,4
Nombre moyen de ménages d'une personne (%)	38,1 %	29,4 %
Nombre moyen de véhicules par ménage	0,96	0,78
Nombre de ménages sans véhicule (%)	32,5 %	42,9 %
Nombre de permis de conduire	60,2 %	71,8 %
Nombre de travailleurs (%)	45,2 %	63,8 %
Nombre d'étudiants (%)	23,0 %	22,9 %
Nombre de retraités (%)	18,3 %	6,8 %
Ménages avec un revenu de moins de 60 000 \$ (%)	43,6 %	51,4 %
Ménages avec un revenu de plus de 60 000 \$ (%)	28,5 %	34,4 %
Ménages n'ayant pas répondu aux revenus (%)	27,9 %	14,2 %

Finalement, le Tableau 4-2 précise les profils sociodémographiques de la population résidant dans les secteurs à proximité de la zone BIXI. Parmi les faits notables, on remarque une forte population de personnes entre 20 et 34 ans dans les secteurs Centre-ville et Centre-ville périphérique (respectivement 35,9 % et 36,7 % de la population des secteurs). Très peu d'enfants vivent dans ces secteurs avec 11,7 % et 10,6 % de personnes de moins de 19 ans. Le secteur du Plateau Mont-Royal se distingue également avec une population très active professionnellement (57,6 %) et une proportion de cyclistes très élevée 8,4 % de la population. Comme pour les secteurs du centre-ville, les enfants et les personnes âgées sont peu présentes dans ce secteur (14,4 % de moins de 19 ans et 8,1 % de plus de 65 ans). Le secteur de Villeray a une sociodémographie proche de celle du Plateau Mont-Royal avec, cependant, un nombre plus important d'enfants (18,8 %). Finalement, les secteurs plus à l'Ouest comme Outremont, Mont-Royal et Westmount se différencient par des populations d'enfants plus grandes (plus de 20 % de

la population du secteur), une proportion plus faible d'individus âgés entre 20 et 49 ans et une forte population de plus de 50 ans (respectivement 37 %, 34,4 % et 42,8 %). La démographie de ces trois secteurs peut expliquer les proportions élevées d'étudiants et de retraités par rapport aux autres secteurs.

Tableau 4-2 : Profils sociodémographiques des personnes des secteurs à proximité de la zone de déploiement BIXI

Numéro secteur	Nom du secteur	0-19 ans	20-34 ans	35-49 ans	50-64 ans	65 ans et plus	Travailleurs	Étudiants	Retraités	% de la population	Proportion de cyclistes
1	Montréal: Centre-ville	11.7%	35.9%	19.2%	18.4%	14.8%	49.2%	21.1%	16.9%	1.0%	1.1%
2	Montréal: Centre-ville périphérique	10.6%	36.7%	20.5%	17.9%	14.2%	49.2%	23.4%	16.5%	3.2%	4.2%
3	Montréal: Sud-Ouest	20.7%	25.0%	23.9%	17.8%	12.6%	45.3%	22.8%	15.9%	3.6%	1.8%
4	Montréal: Notre-Dame-de-Grâce	21.4%	23.4%	23.7%	17.8%	13.6%	47.0%	24.2%	15.6%	3.4%	2.1%
5	Montréal: Côte-des-Neiges	21.7%	28.0%	21.7%	14.8%	13.8%	42.1%	27.9%	14.7%	5.4%	0.7%
6	Montréal: Plateau Mont-Royal	14.4%	37.4%	25.1%	15.1%	8.1%	57.6%	20.4%	9.7%	4.3%	8.4%
7	Montréal: Villeray	18.8%	31.1%	22.7%	14.8%	12.5%	47.3%	22.4%	14.8%	6.5%	4.3%
8	Montréal: Ahuntsic	20.2%	21.1%	22.6%	17.8%	18.3%	42.3%	21.9%	22.1%	6.8%	1.2%
9	Montréal: Saint-Michel	24.7%	21.4%	23.0%	16.0%	14.9%	39.1%	25.7%	17.4%	3.1%	0.9%
10	Montréal: Rosemont	17.3%	24.2%	23.6%	18.4%	16.6%	48.3%	20.0%	20.4%	5.4%	2.3%
11	Montréal: Sud-Est	16.3%	33.9%	22.3%	16.1%	11.4%	51.2%	19.9%	14.2%	3.6%	4.1%
20	Mont-Royal	26.5%	13.3%	23.3%	18.1%	18.9%	43.17%	27.5%	18.2%	1.0%	2.2%
21	Outremont	26.5%	19.4%	19.7%	19.8%	14.6%	43.59%	28.8%	16.0%	1.2%	3.4%
22	Westmount	21.5%	15.5%	20.2%	21.6%	21.2%	44.12%	25.8%	20.4%	1.1%	1.9%

4.2.2 Motorisation des ménages et répartition modale des déplacements

Pour compléter le profil sociodémographique des résidents de l'île de Montréal, il est intéressant d'analyser la motorisation des ménages ainsi que la répartition modale des déplacements pour les différents secteurs de l'île.

Tout d'abord, le nombre moyen de véhicules par ménage est de 0,96 pour l'ensemble de l'île. Cependant, comme pour les autres indicateurs présentés précédemment, le taux de possession automobile est très variable suivant les secteurs (Figure 4-5). En effet, le nombre moyen de véhicules par ménages augmente à mesure que l'on s'éloigne du centre-ville. Les secteurs à l'extrême ouest ont généralement plus de 1,5 véhicule par ménage tandis que les secteurs du centre possèdent en moyenne moins de 0,75 automobile par ménage. De plus, près de 32,5 % des ménages de l'île ne possèdent aucun véhicule. Selon la même tendance, le nombre de ménages non motorisés est en moyenne de 51,4 % et 57,4 % pour les secteurs centre-ville et centre-ville périphérique contre 3,0 % et 3,1 % pour les secteurs Kirkland et Beaconsfield situés à l'extrême ouest de l'île. Notons aussi que la motorisation est plus importante à l'extrême ouest de l'île par rapport à l'extrême est. D'ailleurs, pour les secteurs de Baie-d'Urfé et de Senneville situés à

l'extrême ouest, aucune personne interrogée dans l'enquête n'a déclaré ne pas posséder d'automobiles.

Par ailleurs, la motorisation des cyclistes est plus faible que celle de toute la population (Tableau 4-1). En effet, le nombre moyen de véhicules par ménage actif est de 0,78 contre 0,96 pour toute la population et le nombre de ménages actifs non motorisés s'élève à 42,9 % alors que le taux n'est que de 32,5 % pour toute la population. Il apparaît donc clairement que ce segment de population est moins motorisé que la population générale de l'île.

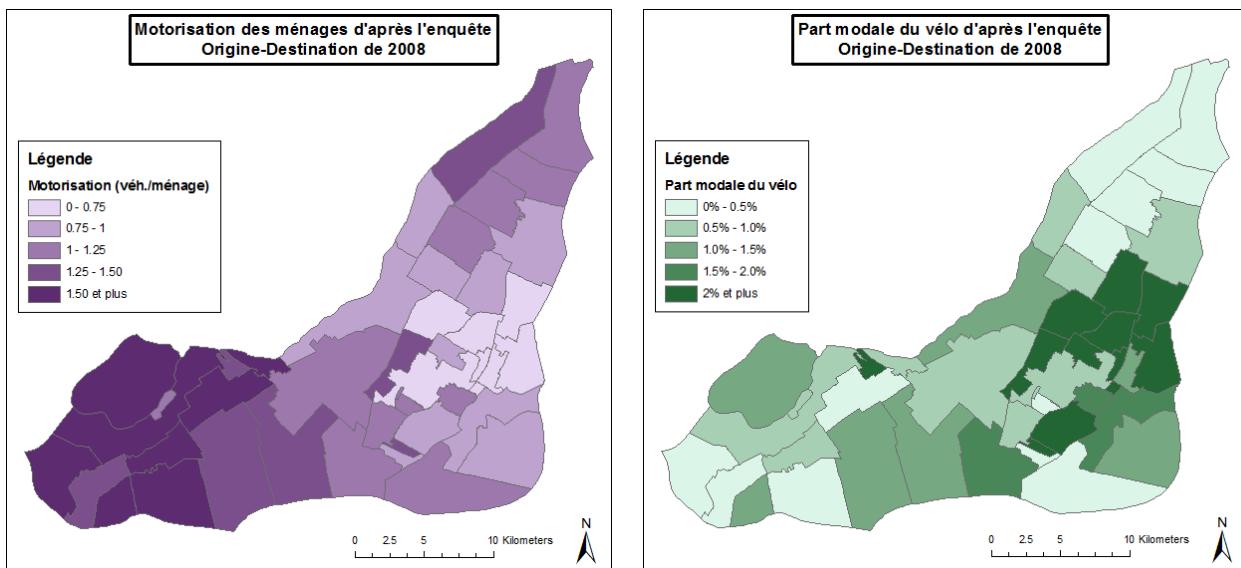


Figure 4-5 : Cartes du nombre moyen de véhicules par ménage et de la part modale du vélo pour les différents secteurs de l'île de Montréal

Finalement, la dernière analyse porte sur la répartition modale des déplacements en fonction des secteurs de l'île. Lors d'un jour moyen de semaine d'automne, les résidents de l'île de Montréal accomplissent quotidiennement plus de 3 843 800 déplacements. Près de 52,3 % de ces déplacements ont été accomplis en automobile dont 40,8 % en tant que conducteur et 11,5 % comme passager. Les transports collectifs comptent pour 25,2 % des déplacements et 1,9 % pour l'autobus scolaire, tandis que les modes actifs représentent 18,0 % des déplacements totaux, dont 16,1 % de déplacements piétons et 2,0 % en vélo. Rappelons cependant que les modes motorisés sont toujours considérés comme le mode de transport principal. Par conséquent, les déplacements bimodes incluant un mode actif et un mode motorisé ne sont pas comptabilisés dans les modes actifs et les déplacements marches concernent uniquement les déplacements dont la marche est le

mode exclusif. Ceci peut avoir comme effet de sous-estimer le transport actif; cette question sera détaillée au paragraphe 4.4.

Le vélo ne compte alors que pour 2,0 % de l'ensemble des déplacements de l'île, soit près de 76 990 déplacements. La Figure 4-5 révèle des disparités importantes entre les secteurs. En effet, comme nous l'avons déjà présenté les cyclistes sont principalement concentrés dans les secteurs centraux de l'île. Par conséquent, la part modale du vélo est plus importante dans ces secteurs. La part modale du vélo est maximale pour le Plateau Mont-Royal avec 8,6 % des déplacements tandis qu'elle dépasse rarement les 1 % pour les secteurs aux extrémités de l'île.

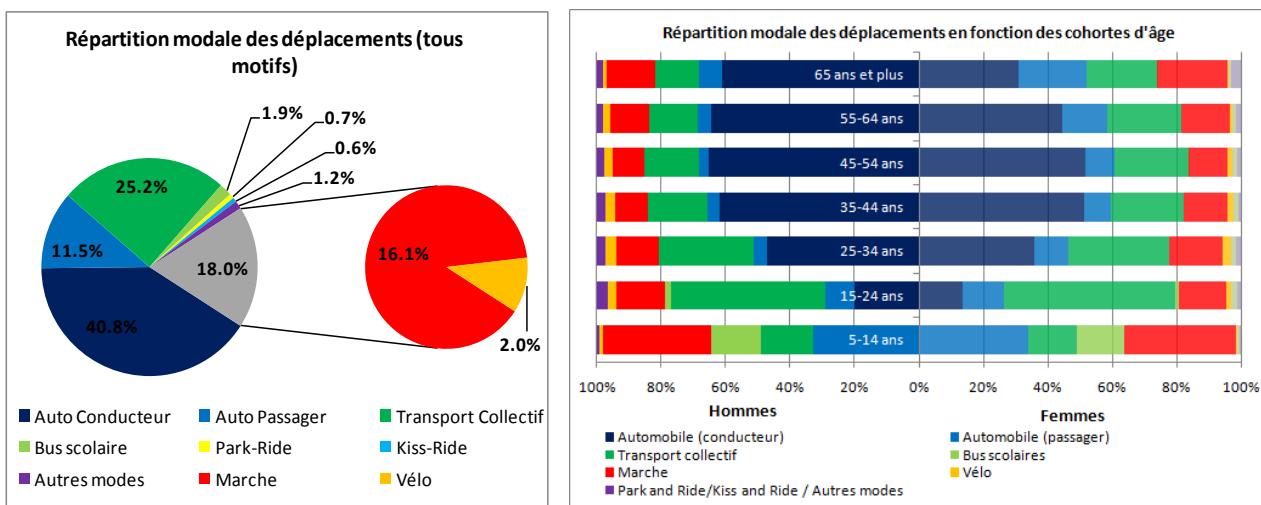


Figure 4-6 : Répartition modale des déplacements des résidents de l'île lors d'un jour moyen de semaine (tous motifs)

L'analyse approfondie des secteurs à proximité de la zone de déploiement de BIXI met en évidence plusieurs comportements de mobilité différents entre les secteurs (Tableau 4-3). Tout d'abord, les secteurs centre-ville et centre-ville périphérique sont particulièrement favorables aux modes actifs avec respectivement 34,6 % et 39,3 % de déplacements piétons et près de 1,3 % et 4,6 % de déplacements en vélo. Ceci signifie que plus du tiers des déplacements des résidents de ces secteurs sont accomplis avec un mode actif. L'utilisation de l'automobile est très faible dans ces secteurs ne représentant respectivement que 30,1 % et 25,7 % des déplacements comparativement à une moyenne de 52,3 % pour l'île.

Ensuite, les trois secteurs Montréal Sud-Ouest, Montréal Notre-Dame-de-Grâce et Montréal Côte-des-Neiges ont des répartitions modales des déplacements très similaires. Dans ces secteurs,

l'automobile est plus utilisée (respectivement 45,9 %, 49,5 % et 39,5 % des déplacements) au détriment des modes actifs avec seulement 21,0 %, 16,5 % et 23,1 % des déplacements. Le secteur de Côte-des-Neiges a cependant une part modale du vélo très inférieure à celle des deux autres secteurs (0,8 % contre 2,2 %).

Les trois secteurs Plateau-Mont-Royal, Villeray et Montréal Sud-Est ont également des parts modales similaires. Dans ces secteurs, le transport en commun est très souvent emprunté par les résidents (28,9 %, 34,5 % et 33,5 % des déplacements), tout comme les modes actifs (38,6 %, 26,5 % et 27,7 % des déplacements). Toutefois, le Plateau-Mont-Royal se distingue au niveau des modes actifs, puisqu'il détient la plus haute part modale du vélo (8,6 %) et la troisième pour la marche (30,0 %) de l'ensemble des secteurs. Les trajets en automobile correspondent à 29,2 %, 36,6 % et 36,2 % des déplacements ce qui est nettement plus faible que la moyenne de l'île.

Finalement, les trois secteurs de l'Ouest (Mont-Royal, Outremont et Westmount) ont également des tendances comparables de mobilité. L'usage de l'automobile est plus soutenu avec 62,8 %, 41,5 % et 54,9 % des déplacements alors que l'usage du transport en commun est moins élevé que pour les autres secteurs détaillés (20,9 %, 23,5 % et 20,3 %). Le secteur d'Outremont se distingue des deux autres au niveau de l'usage des modes actifs puisque la répartition modale du vélo est largement supérieure à la moyenne de l'île avec 3,4 % des déplacements (contre 2,0 % pour l'île), tout comme la marche avec 25,8 % de l'ensemble des déplacements (contre 16,1 % pour l'île). L'utilisation des modes actifs est relativement proche de la moyenne de l'île pour les deux autres secteurs.

Tableau 4-3 : Répartition modale des déplacements des résidents vivant à proximité de la zone de déploiement du programme BIXI

Numéro secteur	Nom du secteur	Auto Conducteur	Auto Passager	Transport Collectif	Bus scolaire	Park and ride	Kiss and ride	Marche	Vélo	Autre
1	Montréal Centre-ville	24.4%	5.7%	30.1%	1.1%	0.0%	0.2%	34.6%	1.3%	2.8%
2	Montréal Centre-ville périphérique	19.9%	5.8%	27.2%	0.3%	0.0%	0.3%	39.3%	4.6%	2.6%
3	Montréal Sud-Ouest	35.6%	10.3%	30.0%	0.9%	0.5%	0.4%	18.8%	2.2%	1.4%
4	Montréal Notre-Dame-de-Grâce	37.9%	11.6%	30.8%	1.2%	0.3%	0.4%	14.3%	2.2%	1.4%
5	Montréal Côte-des-Neiges	29.9%	9.6%	34.4%	1.0%	0.1%	0.5%	22.3%	0.8%	1.4%
6	Montréal Plateau Mont-Royal	22.6%	6.6%	28.9%	0.5%	0.1%	0.4%	30.0%	8.6%	2.3%
7	Montréal Villeray	28.0%	8.6%	34.5%	0.8%	0.1%	0.4%	21.8%	4.7%	1.1%
8	Montréal Ahuntsic	43.1%	11.1%	26.8%	1.4%	0.6%	0.7%	14.0%	1.3%	1.0%
9	Montréal Saint-Michel	32.8%	10.8%	34.6%	1.4%	0.4%	0.4%	17.7%	1.0%	1.0%
10	Montréal Rosemont	37.8%	10.3%	30.0%	0.4%	0.5%	0.6%	16.3%	2.6%	1.5%
11	Montréal Sud-Est	28.0%	8.2%	33.5%	0.7%	0.3%	0.2%	23.2%	4.5%	1.5%
20	Mont-Royal	49.0%	13.8%	20.9%	1.6%	0.7%	0.2%	10.7%	2.2%	0.9%
21	Outremont	30.7%	10.8%	23.5%	3.8%	0.1%	0.2%	25.8%	3.4%	1.7%
22	Westmount	40.2%	14.7%	20.3%	0.7%	0.0%	0.1%	19.3%	1.7%	2.8%

En conclusion, deux tendances lourdes de mobilité résument sommairement la situation de l'île de Montréal : d'une part, la motorisation des ménages augmente à mesure que l'on s'éloigne du centre-ville avec une possession automobile plus grande et un nombre de ménages non motorisés plus faible, et, d'autre part, l'utilisation des modes actifs comme le vélo et la marche est d'autant plus courante à mesure que l'on s'approche du centre économique de la ville. Les secteurs situés à proximité de cette zone ont tendance à avoir des parts modales des modes actifs supérieures à celle de l'île.

4.3 Caractéristiques des déplacements cyclistes

Cette section a pour but de détailler les caractéristiques des déplacements en vélo de l'île de Montréal. Plusieurs analyses vont être présentées concernant les distances parcourues et fréquences de déplacements des cyclistes, les heures et motifs de déplacements, pour terminer par une affectation des déplacements cyclistes sur le réseau. Ces informations permettront de comparer les déplacements des cyclistes « réguliers » avec les cyclistes du programme de vélopartage BIXI. L'idée sous-jacente consiste à déterminer si les déplacements issus du programme BIXI sont comparables à des déplacements cyclistes « réguliers », auxquels cas, plusieurs résultats issus de la recherche sur les cyclistes « réguliers » pourraient s'appliquer aux programmes de vélopartage et permettraient de mieux comprendre les comportements de mobilité des usagers de ce nouveau mode de transport urbain.

4.3.1 Pseudo-distance de parcours

Tout d'abord, la pseudo-distance moyenne parcourue par l'ensemble des résidents de l'île de Montréal est de 10,1 km, tous modes de transports confondus. Pour les déplacements cyclistes, la pseudo-distance moyenne parcourue est de 4,2 km (écart-type $\pm 7,36$) (Tableau 4-4 et Figure 4-7). Les personnes de la cohorte d'âge 20-44 ans sont celles parcourant en moyenne la plus longue distance (4,8 km). Ceci s'explique très bien puisque ce sont les personnes les plus aptes physiquement à utiliser le vélo sur de longues distances. En revanche, les personnes de 65 ans et plus sont statistiquement celles qui ont la pseudo-distance moyenne de parcours la plus faible (2,9 km). De plus, pour toutes les cohortes d'âge, excepté pour les jeunes de moins de 20 ans, les hommes ont systématiquement des distances de parcours supérieures aux femmes.

Tableau 4-4: Pseudo-distances moyennes parcourues par déplacement et fréquence de déplacements en fonction des cohortes d'âge et des genres

	Distance moyenne (km)	Distance maximale (km)	Distance minimale (km)	Fréquence moyenne (dépl./jour)
Toute population	4.2	127.3	0.02	2.3
Population (4-19 ans)	3.2	21.5	0.09	2.0
Population (20-44 ans)	4.8	127.3	0.02	2.3
Population (45-64 ans)	4.7	74.4	0.03	2.4
Population (65 ans et plus)	2.9	17.6	0.24	2.2
Homme (4-19 ans)	3.1	21.5	0.09	2.0
Homme (20-44 ans)	5.3	127.3	0.23	2.3
Homme (45-64 ans)	4.9	74.4	0.20	2.4
Homme (65 ans et plus)	3.0	17.6	0.24	2.2
Femme (4-19 ans)	3.5	20.2	0.16	1.9
Femme (20-44 ans)	4.0	54.7	0.02	2.4
Femme (45-64 ans)	4.3	66.3	0.03	2.4
Femme (65 ans et plus)	2.7	11.0	0.61	2.2

Pour ce qui est des fréquences de déplacements, les cyclistes de l'île de Montréal effectuent en moyenne 2,3 déplacements à vélo lors d'un jour moyen de semaine d'automne. Pour tous les modes de déplacements confondus, la fréquence moyenne de déplacements est de 2,1 déplacements par jour. Ainsi, les cyclistes ont un plus haut taux de mobilité que les personnes utilisant les autres modes de transport. Notons d'ailleurs que la fréquence de déplacement des cyclistes n'inclut que les déplacements en vélo alors qu'en réalité ces personnes ont pu réaliser des déplacements supplémentaires avec d'autres modes de transport. L'écart entre le taux de mobilité des cyclistes et celui des autres résidents de l'île est donc probablement plus important que ce que nous avons calculé. Par ailleurs, les personnes entre 45 et 64 ans sont celles qui, statistiquement, accomplissent le plus grand nombre de déplacements journaliers avec en moyenne 2,4 déplacements par personne quotidiennement. La segmentation par genre indique que les femmes âgées de 20 à 44 ans utilisent le plus fréquemment le vélo en comparaison aux autres cohortes d'âge des femmes.

La Figure 4-7 présente la distribution des déplacements en fonction de la pseudo-distance parcourue par les cyclistes segmentée suivant les genres. On peut alors faire plusieurs remarques :

- Près de 35,0 % des déplacements cyclistes font moins de 2 km;

- 30,8 % des cyclistes parcourent entre 500 m et 2 km par déplacement;
- 51,0 % des hommes parcourent moins de 3,5 km contre 61,0 % pour les femmes;
- 7,1 % des déplacements cyclistes font plus de 10 km.

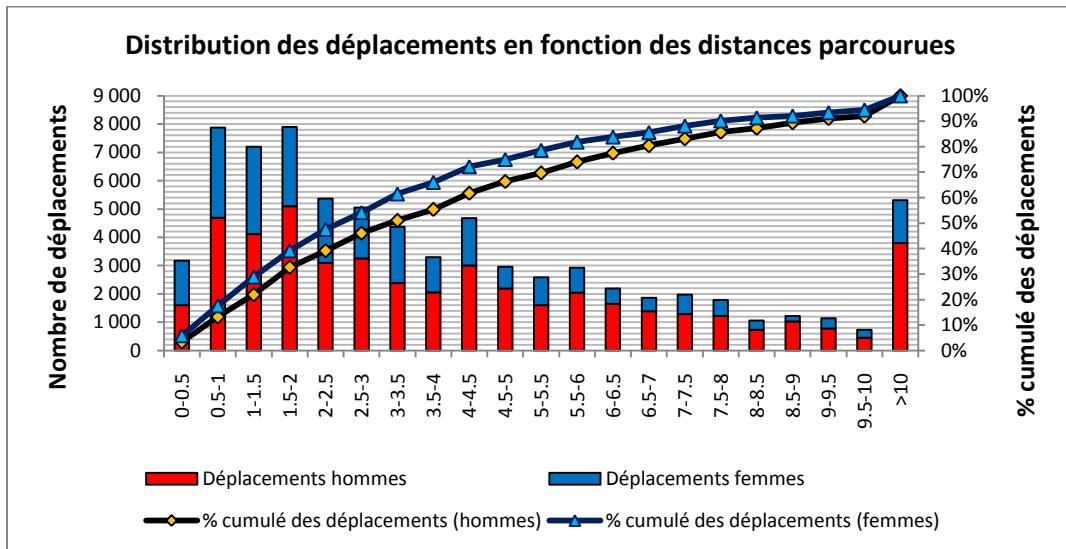


Figure 4-7 : Distribution des distances en fonction des pseudo-distances de déplacements

Enfin, l'analyse de la répartition modale des déplacements en fonction de la pseudo-distance de parcours permet de faire plusieurs constats (Figure 4-8) :

- 69,3 % des déplacements de moins de 500 m sont accomplis avec un mode actif;
- 26,9 % des déplacements de moins de 500 m sont réalisés en automobile;
- la part modale du vélo est maximale pour les déplacements entre 1,5 et 2 km (3,5 %);
- 59,4 % des déplacements de plus de 5 km sont effectués en automobile;
- 33,7 % des déplacements de plus de 5 km sont opérés en transport collectif.

La Figure 4-8 indique clairement l'importance de la marche pour les déplacements de moins de 1 km. Parallèlement, l'importance de l'automobile dans les trajets de courte distance indique que les modes de transport actifs ont un fort potentiel pour l'île de Montréal. Ce potentiel sera d'ailleurs estimé dans le Chapitre 5 de cette étude. Il est aussi intéressant de souligner que la figure met en lumière le marché et le potentiel des nouveaux modes de transport urbain comme le vélopartage puisque les déplacements en automobile représentent près de 31,5 % des déplacements de moins de 1 km et 38,7 % de moins de 2 km. Le vélopartage se pose alors

comme une alternative crédible pouvant conduire à un transfert modal des modes utilisés pour les cours déplacement vers le vélopartage (et notamment l'automobile), en améliorant le temps de parcours des individus tout en éliminant les contraintes liées à l'entretien et le stationnement des vélos.

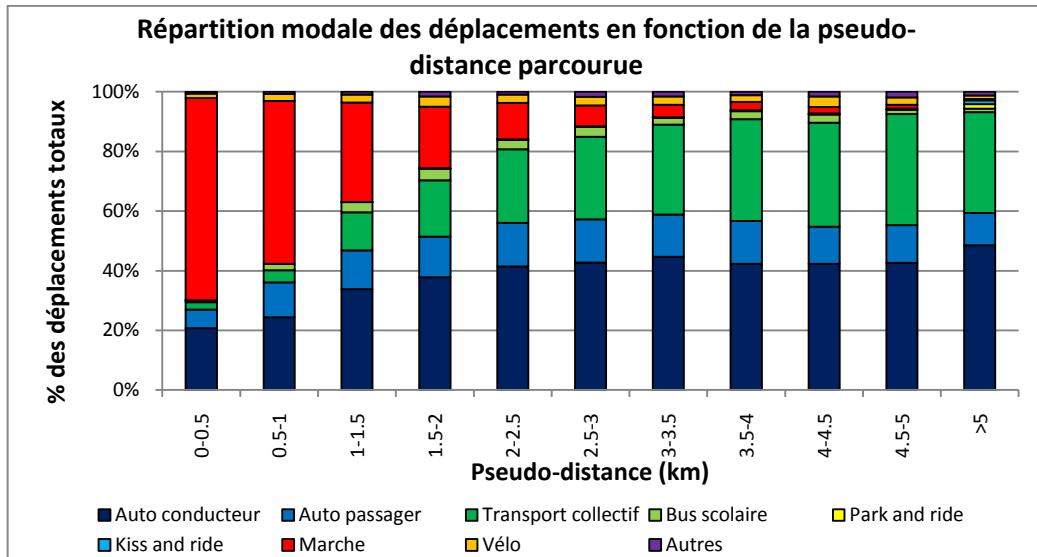


Figure 4-8 : Répartition modale des déplacements en fonction de la pseudo-distance parcourue

4.3.2 Motifs et heures de déplacements

L'étude de la distribution des déplacements en fonction du temps révèle que 38,1 % des déplacements cyclistes sont réalisés pendant les deux périodes de pointe de la journée (soit 19,0 % entre 7h-9h et 19,1 % entre 17h et 19h). Ceci signifie que ces modes de transport ne sont pas uniquement utilisés pour un usage récréatif, mais bien pour des déplacements utilitaires (Figure 4-9). De plus, la figure permet de constater que les hommes et les femmes se déplacent sur les mêmes plages horaires. En effet, les femmes comptent pour 35,0 % des cyclistes. Or, pour chacune des plages horaires entre 30 % et 35 % des déplacements sont effectués par les femmes, ce qui indique qu'il n'y a pas de différence significative entre les genres pour les heures de déplacements.

En outre, concernant les motifs de déplacements, près de 24,6 % des déplacements cyclistes sont réalisés pour le motif travail tandis que pour toute l'île, tous modes confondus, les déplacements pour le travail ne représentent que 19,0 % (Tableau 4-5). Les cyclistes se déplacent donc davantage pour ce motif que les autres résidents de l'île. Parallèlement, le motif magasinage est

celui pour lequel le nombre de déplacement à vélo est le moins fréquent (5,8 % des déplacements à vélo). Ceci est compréhensible puisqu'une des contraintes majeures du vélo est la difficulté de transporter des marchandises et objets. Par ailleurs, la répartition des déplacements entre les genres est très similaire. Aucun motif n'est significativement privilégié par l'un ou l'autre des genres pour ses déplacements en vélo.

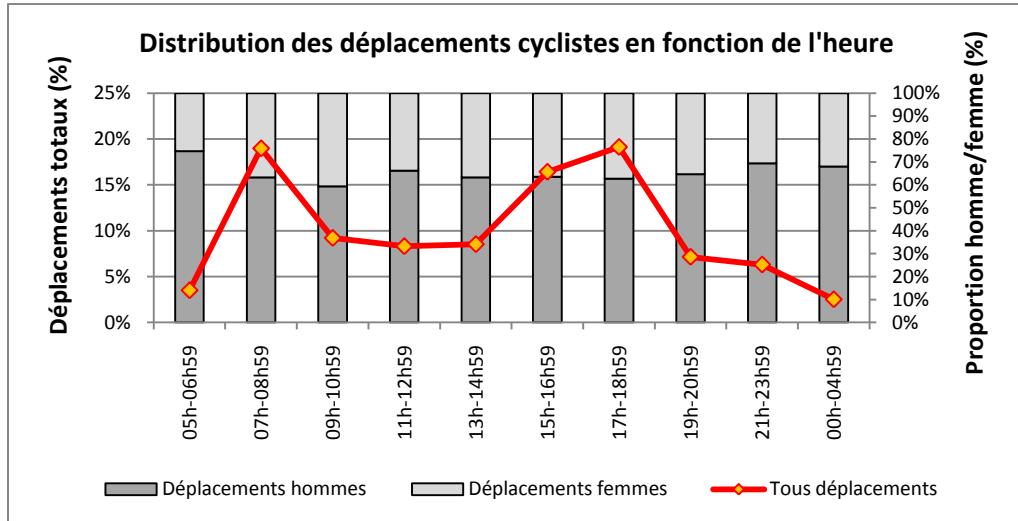


Figure 4-9 : Distribution des déplacements cyclistes en fonction de l'heure de la journée

Tableau 4-5: Motifs de déplacement des cyclistes en fonction des genres

	Homme	Femme	Tous les cyclistes	Population totale de l'île
Travail	65.5 %	34.5 %	24.6 %	19.0 %
Études	60.4 %	39.6 %	8.5 %	9.9 %
Retour au domicile	64.2 %	35.8 %	44.4 %	44.6 %
Loisirs	65.3 %	34.7 %	8.4 %	7.2 %
Magasinage	61.7 %	38.3 %	5.8 %	8.0 %
Autres	63.1 %	36.9 %	8.4 %	11.2 %
TOTAL	65.0 %	35.0 %		

Ensuite, l'analyse de la distribution des déplacements en fonction des motifs et des heures met en évidence qu'une majorité de déplacements contraints (travail et études) a lieu pendant la période de pointe du matin (85,0 % des déplacements entre 7h et 9h ont pour motif le travail ou les études). Ces déplacements contraints de la période de pointe du matin représentent 16,1 % des déplacements totaux. À l'inverse, le motif de retour au domicile représente près de 71,6 % des déplacements qui ont lieu ont en période de pointe du soir (entre 17h-19h), dont 13,7 %

correspondent à des déplacements des cyclistes. Finalement, les autres motifs ont principalement lieu en après-midi, puisqu'entre 5h et 13h les déplacements pour un autre motif ne représentent que 7,9 % des déplacements entre alors qu'entre 13h et 21h ils correspondent à 13,6 % des déplacements.

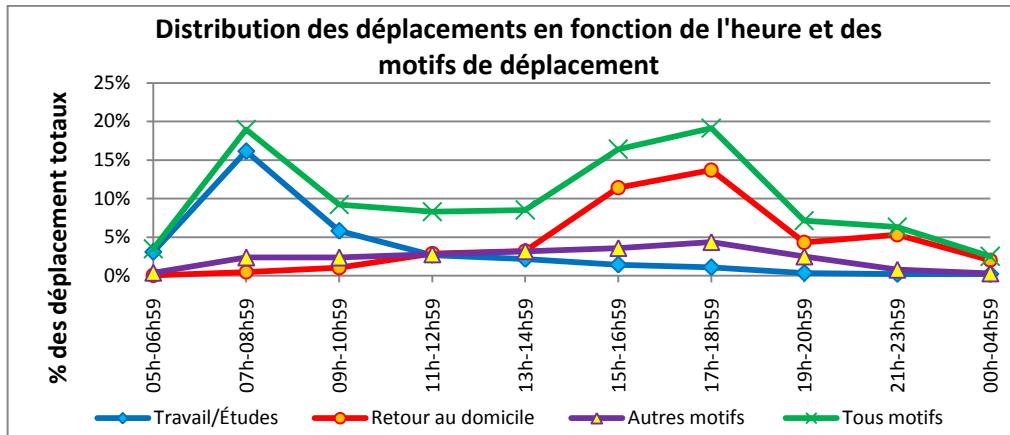


Figure 4-10 : Distribution des déplacements en fonction des heures et des motifs de déplacement

La dernière étude permet d'évaluer les pseudo-distances parcourues par les cyclistes suivant les motifs de déplacement (Figure 4-11). On s'aperçoit que les personnes ont tendance à parcourir de plus longues distances pour les motifs contraints que pour les autres motifs. À titre d'exemple :

- 9,4 % des déplacements pour motif travail et études font moins de 1 km contre 35,4 % pour les autres motifs;
- 50,0 % des déplacements pour motif travail et études font moins de 4 km contre 79,6 % pour les autres motifs.

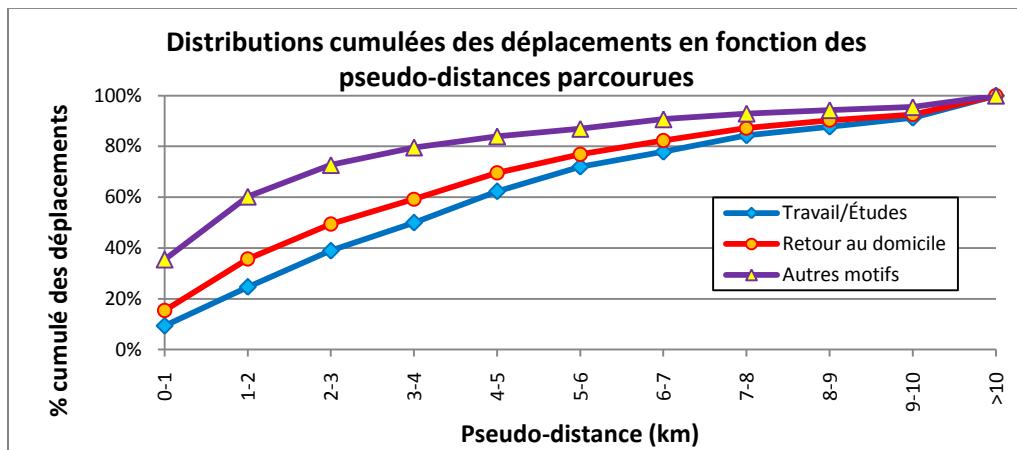


Figure 4-11 : Distributions cumulées des déplacements en fonction des pseudo-distances parcourues

4.3.3 Localisation spatiale des déplacements cyclistes

Pour conclure la caractérisation des déplacements cyclistes d'après l'enquête Origine-Destination de 2008, il est intéressant d'analyser la localisation spatiale des déplacements. Dans un premier temps, un sommaire des déplacements produits et attirés selon les secteurs de l'île sera détaillé et, dans un second temps, deux affectations des déplacements sur le réseau routier, réalisées avec l'application *Network Analyst* de ArcGIS, seront présentées afin de visualiser les zones d'achalandage des déplacements cyclistes sur l'île de Montréal.

4.3.3.1 Déplacements cyclistes produits et attirés par secteur

Tout d'abord, l'analyse des déplacements produits et attirés par chacun des secteurs permet de déterminer les zones favorables aux déplacements cyclistes. Comme nous avons pu le constater, une très grande majorité des cyclistes résident dans les secteurs à proximité de la zone de déploiement du réseau BIXI. Le Tableau 4-6 résume les déplacements produits et attirés pour chacun de ces secteurs. Le ratio du nombre de déplacements produits et attirés permet de comparer les productions et attractions des différents secteurs. Plus le ratio est proche de 1 plus les secteurs produisent et attirent un nombre équivalent de déplacements. On remarque que les secteurs Centre-ville, Centre-ville périphérique et Côte-des-Neiges sont particulièrement attracteurs de déplacements. Le secteur du centre-ville a un ratio de l'ordre d'un déplacement produit pour 6 déplacements attirés. À l'inverse, les secteurs de Notre-Dame-De-Grâce, Westmount et Rosemont sont particulièrement producteurs de déplacements avec des ratios de 2,23, 2,10 et 1,6.

Parallèlement, il est aussi important d'analyser les volumes de déplacements. Par exemple, le secteur Plateau-Mont-Royal est le secteur où les flots de cyclistes entrants et sortants sont les plus importants, avec près de 8 690 déplacements produits et 6 240 déplacements attirés. Le secteur Villeray ainsi que les secteurs du centre-ville ont également des flots de cyclistes particulièrement soutenus (supérieurs à 6000 cyclistes).

Tableau 4-6 : Résumé des déplacements cyclistes produits et attirés pour chacun des 14 secteurs à proximité de la zone de déploiement BIXI (tous motifs)

Numéro secteur	Nom du secteur	Déplacements produits	Déplacements attirés	Ratio Produits/Attriés
1	Montréal: Centre-ville	1 030	6 760	0.15
2	Montréal: Centre-ville périphérique	3 790	5 810	0.65
3	Montréal: Sud-Ouest	1 680	1 110	1.51
4	Montréal: Notre-Dame-de-Grâce	1 540	690	2.23
5	Montréal: Côte-des-Neiges	1 100	2 000	0.55
6	Montréal: Plateau Mont-Royal	8 690	6 240	1.39
7	Montréal: Villeray	6 010	3 510	1.71
8	Montréal: Ahuntsic	1 890	2 050	0.92
9	Montréal: Saint-Michel	600	610	0.98
10	Montréal: Rosemont	2 830	1 770	1.60
11	Montréal: Sud-Est	3 290	2 100	1.57
20	Mont-Royal	590	810	0.73
21	Outremont	970	740	1.31
22	Westmount	420	200	2.10

De plus, la Figure 4-12 illustre les zones productrices et attractrices de déplacements cyclistes en indiquant le nombre de déplacements produits et attirés par personne pour chacun des secteurs. Afin d'obtenir plus de détail sur les lieux de déplacements, le découpage utilisé est le secteur de recensement. Les secteurs les plus producteurs de déplacements sont principalement situés à l'est de la ligne orange de métro dans les secteurs Plateau-Mont-Royal, Rosemont et Villeray. On s'aperçoit que les secteurs les plus producteurs de déplacements sont situés sur des axes rectilignes à l'intersection de ces trois secteurs. Bien qu'elle ne soit pas illustrée sur la figure, la piste cyclable sur la rue Brébeuf pourrait expliquer la très forte concentration d'origine de déplacements dans cette zone, car elle est positionnée exactement sur la ligne de secteur en rouge sur la carte. Il en est de même pour les secteurs en rouge localisés à l'ouest de la ligne orange de métro, où la piste cyclable sur l'avenue du Parc pourrait influencer le nombre de déplacements cyclistes. Par ailleurs, un fait notable concerne les secteurs de recensement aux abords de la ligne orange de métro. En effet, pour ces secteurs, le nombre de déplacements produits en vélo est beaucoup moins important que leurs secteurs connexes. L'accessibilité immédiate au métro dans ces secteurs joue peut-être un rôle dans le nombre peu élevé de déplacements en vélo.

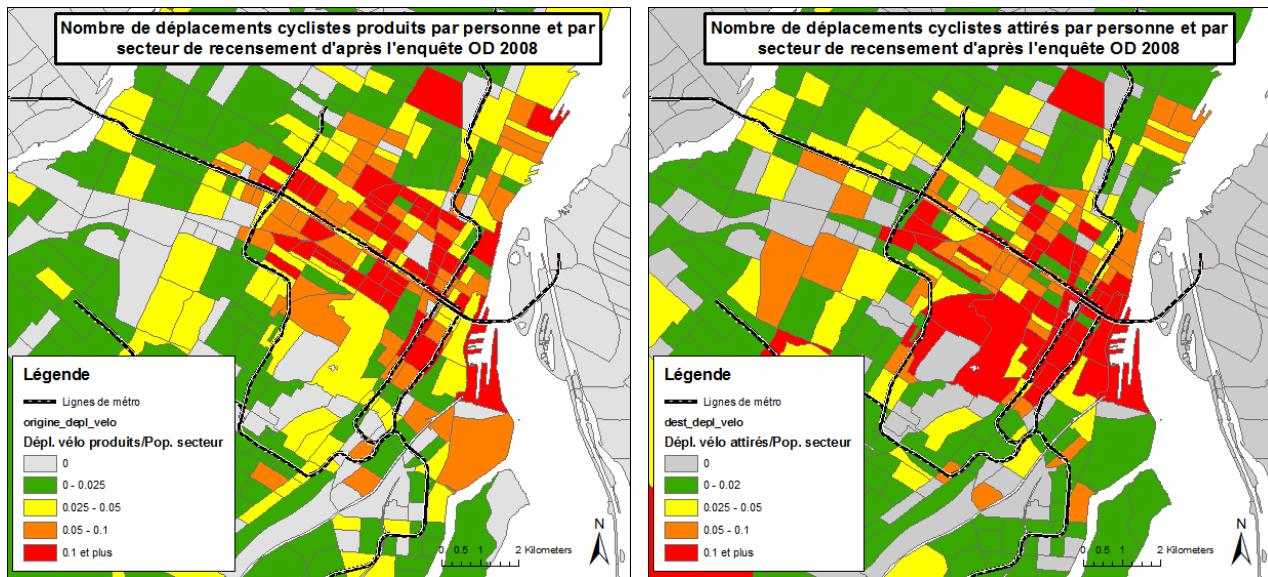


Figure 4-12 : Déplacements cyclistes produits et attirés par secteur de recensements de l'île issue de l'enquête Origine-Destination de 2008

De plus, la très grande majorité des secteurs du centre-ville (et centre-ville périphérique) ont une concentration importante de déplacements attirés comme l'illustre la carte de droite. Certains secteurs de Villeray et du Plateau Mont-Royal sont également des destinations populaires de déplacements cyclistes tout comme les abords de l'Université de Montréal dans le secteur Côte-des-Neiges. La présence de l'université pourrait d'ailleurs expliquer le nombre important de déplacements attirés dans cette zone. Enfin, précisons que les secteurs de recensement en gris sont ceux représentant des zones inhabitées ou encore des zones pour lesquels il n'y a eu aucune origine ou destination de déplacement.

4.3.3.2 Affectations des déplacements sur le réseau

Pour affiner l'analyse de la localisation des déplacements cyclistes de l'enquête Origine-Destination, deux affectations sur le réseau de rues ont été réalisées. L'affectation tout-ou-rien sur les chemins les plus courts a été compilée grâce au module *Network Analyst* d'ArcGIS. Dans le premier cas, l'affectation est effectuée sur le réseau de rues en omettant la présence d'infrastructures cyclables. Dans un second temps, l'affectation tient compte des infrastructures cyclables en favorisant les déplacements sur les rues comportant des pistes cyclables. L'objectif principal de ces affectations consiste à explorer une méthode simple d'affectation des déplacements sur le réseau permettant d'évaluer les principaux points chauds et zones

d’achalandage sur le réseau montréalais ainsi que l’influence des pistes cyclables sur les itinéraires des cyclistes. Plusieurs recommandations et perspectives de recherche complémentaires pour affiner l’affectation seront précisées dans la conclusion de cette section.

Cette méthode d’affectation repose sur une série d’hypothèses :

- il n’y a pas de congestion pour les déplacements cyclistes, d’où le choix d’une affectation tout-ou-rien. Pour cette hypothèse, l’erreur commise est probablement minime puisque les cyclistes sont rarement bloqués dans le trafic du fait de l’extrême mobilité et flexibilité de ce mode de transport.
- dans le réseau, tous les liens sont bidirectionnels. Cette hypothèse a été posée du fait du manque d’information sur le réseau de rues disponibles pour effectuer l’affectation.
- les cyclistes se déplacent sur les chemins les plus courts pour se rendre à leur destination. Une erreur est systématiquement commise puisque l’on ne connaît pas le trajet exact des individus et qu’ils ont très bien pu emprunter un tout autre trajet. Cependant, pour le vélo, l’erreur est probablement moindre que pour d’autres modes de transport du fait de la flexibilité du vélo et des courtes distances parcourues (49,0 % des trajets font moins de 3 km). C’est pourquoi on peut supposer que les personnes se déplacent sur les chemins les plus courts.
- la présence d’infrastructures cyclables sur un tronçon de rue réduit de 25 % la distance du tronçon. Dans la réalité, on suppose que la vitesse des cyclistes augmente sur les pistes cyclables. Dans le calculateur de chemin, la distance est utilisée comme coût, c’est pourquoi on diminue la taille du tronçon afin de tenir compte de cette augmentation des vitesses. Dans la littérature, on recense de très nombreuses études sur l’impact des infrastructures sur les temps de déplacements et choix de parcours (paragraphe 2.2.1). Ainsi, la variabilité des résultats des diverses recherches est très importante. Pour notre étude, le choix s’est porté sur une réduction de la distance de 25 % sur le tronçon, mais dans les perspectives de recherche nous proposerons des idées pour affiner ce critère comme traiter les types d’infrastructure différemment, etc.

Dans un premier temps, le Tableau 4-7 récapitule plusieurs distinctions entre les deux affectations. Ainsi, 2 807 itinéraires ont été affectés sur un réseau de 57 225 liens routiers, dont

10,4 % possèdent une piste cyclable. Lorsque l'on ne tient pas compte des pistes cyclables, les 2 807 trajets sont répartis sur 39,5 % des liens du réseau contre 36,3 % pour l'affectation avec les pistes cyclables. La présence de pistes cyclables réduit le nombre de liens utilisés de 7,9 %. Les cyclistes restent alors plus longtemps sur les routes sur lesquelles ils circulent, ce qui est confirmé par le nombre moyen de liens par trajet de 7,4 en tenant compte des infrastructures contre 8,0 sur le réseau routier. L'affectation sans les pistes donne un nombre moyen quotidien de 536 cyclistes par lien utilisé contre 547 lorsque l'on tient compte des pistes.

Tableau 4-7 : Synthèse des deux affectations des déplacements cyclistes sur le réseau routier

	Affectation sur réseau routier	Affectation sur réseau routier avec les pistes cyclables
Nb liens routiers du réseau	57 225	57 225
Nb liens avec pistes cyclables	0	5 956
Nb itinéraires calculés	2 807	2 807
Nb liens utilisés par les cyclistes	22 577	20 784
% liens du réseau non utilisés	60.5 %	63.7 %
Nb moy. liens utilisés par itinéraire	8.0	7.4
Nb moy. quotidien cyclistes par lien (utilisé)	536	547
Nb max quotidien de cyclistes sur un lien	16 292	16 978
Distance moyenne de parcours (km)	3.7	3.9
Distance total de parcours (km)	276 500	287 700

Par ailleurs, le test t calculé pour deux affectations révèle qu'il existe statistiquement une différence significative entre le nombre moyen de liens utilisés par les cyclistes entre les deux affectations. Près de 73,3 % des itinéraires ont subi des modifications entre les deux affectations avec en moyenne un allongement des parcours de 154 m. Ceci confirme l'impact de la présence de pistes cyclables sur les rues puisque de nombreux itinéraires semblent emprunter des chemins à proximité des pistes cyclables. En outre, la Figure 4-13 présente la distribution des déplacements en fonction de l'allongement de distance entre les deux affectations. En effet, pour emprunter les pistes cyclables, les individus sont amenés à parcourir une distance plus importante que le chemin le plus court. Il ressort que l'allongement varie entre 0 et 200 m dans 75,4 % des déplacements présentant une différence entre les deux affectations. À l'autre extrémité, 1,9 % des déplacements, dont les deux affectations ne sont pas similaires, ont connu un allongement de plus d'un kilomètre. À titre de perspective de recherche, précisons que l'analyse plus approfondie des allongements de distance entre les affectations permettrait de mesurer la sensibilité des cyclistes

aux différentes infrastructures cyclables et pourrait s'avérer un outil intéressant pour justifier la position des infrastructures dans l'environnement urbain.

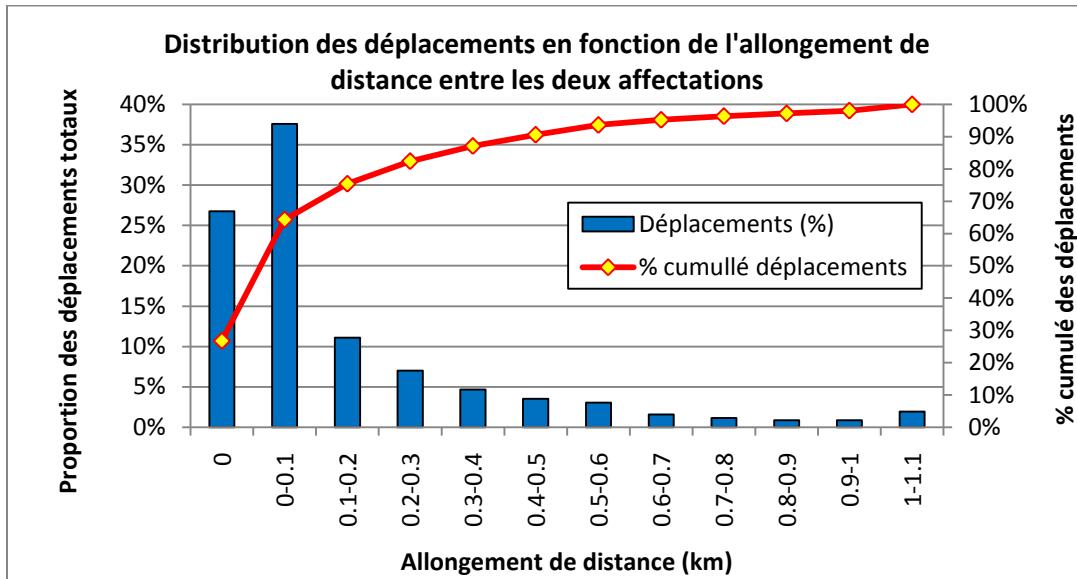


Figure 4-13 : Distribution des déplacements en fonction de l'allongement de distance entre les deux affectations

Par ailleurs, les résultats globaux de l'affectation pour le centre-ville sont présentés sur la Figure 4-14 et le Tableau 4-8. Lors de l'affectation sur le réseau routier, près de 47,6 % des liens utilisés sont des routes, 25,4 % des avenues et 15,8 % des boulevards. Ceci signifie que 37,8 % des routes, 44,9 % des avenues et 56,0 % des boulevards sont empruntés par au moins un cycliste quotidiennement. Sur la carte de gauche, on peut distinguer qu'une grande partie des liens du réseau sont utilisés par les cyclistes. Cependant, les volumes sur chaque lien ne sont pas toujours élevés. Dans le cas de l'affectation sur le réseau, en tenant compte des pistes cyclables, les liens empruntés sont principalement des routes (46,8 %), des avenues (25,6 %) et des boulevards (16,9 %). On remarque alors que la proportion de boulevards et d'avenues utilisés est plus importante que dans l'affectation précédente, ce qui s'explique par un nombre plus important de pistes cyclables sur ces types de voies. Sur la carte de droite de la figure, on peut mesurer l'influence des pistes cyclables qui concentrent de nombreux cyclistes sur certains axes en possédant. On distingue alors très nettement les rues Rachel, Côte-Sainte-Catherine, Brébeuf et De Maisonneuve sur lesquelles il y a des infrastructures cyclables (voir Figure 4-15).

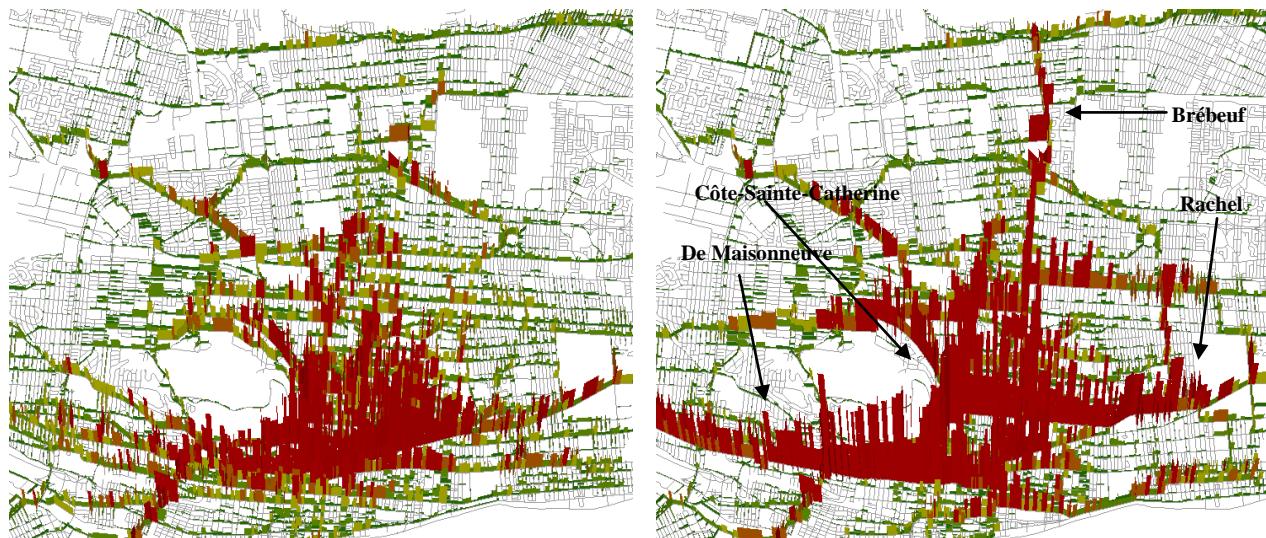


Figure 4-14: Résultats de l'affectation sur le réseau routier (gauche) et sur le réseau avec les pistes cyclables (droite)

Tableau 4-8: Types de liens utilisés en fonction des deux affectations sur le réseau montréalais

Type de liens	Nb liens	Nb liens avec pistes cyclables	Affectation sur réseau routier	Affectation sur réseau routier avec pistes cyclables	Réduction du nb liens utilisés
Route	28 423	2470 (8,7 %)	10 748 (37,8 %)	9 719 (34,2 %)	-9.6 %
Avenue	12 788	1015 (7,9 %)	5 743 (44,9 %)	5 330 (41,7 %)	-7.2 %
Boulevard	6 377	1502 (23,6 %)	3 568 (56,0 %)	3 509 (55,0 %)	-1.7 %
Chemin	3 347	531 (15,9 %)	1 428 (42,7 %)	1 346 (40,2 %)	-5.7 %
Place	1 567	57 (3,6 %)	182 (11,6 %)	167 (10,6 %)	-8.2 %
Autres	4 722	381 (8,1 %)	908 (19,2 %)	713 (15,1 %)	-21.5 %
Total liens utilisés	57 224	5956 (10,4 %)	22 577 (39,5 %)	20 784 (36,3 %)	-7.9 %

Pour terminer, la Figure 4-15 propose une comparaison plus fine des deux affectations aux abords du Mont-Royal. Dans l'affectation sur le réseau routier sans les pistes cyclables (carte de gauche), les cyclistes sont affectés sur une large partie du réseau de rues de trois zones pour se rendre à leur destination. Lors de la seconde affectation, ces mêmes cyclistes sont principalement affectés sur les axes disposant d'infrastructures cyclables, ayant pour effet de réduire considérablement le nombre de liens fortement achalandés. Il ressort tout particulièrement que quatre pistes cyclables jouent un rôle majeur lors de la seconde affectation des cyclistes. En effet, lorsque les déplacements avaient lieu à proximité d'une piste cyclable, ils sont désormais affectés

sur la piste. Ceci a pour conséquence de désengorger le réseau de rues et d'augmenter très significativement les volumes de cyclistes sur les pistes.

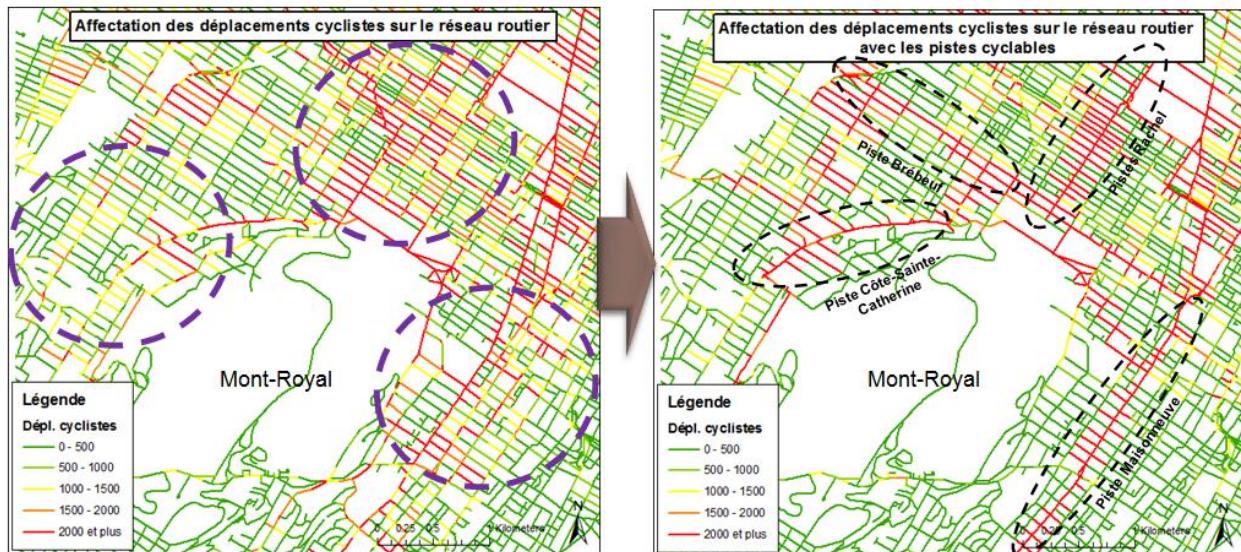


Figure 4-15 : Comparaison de l'affectation des déplacements pour le secteur du Mont-Royal

À partir d'une telle affectation, il est possible de calculer les volumes de cyclistes potentiellement concernés par des modifications dans les infrastructures. Par exemple, cet outil pourrait aider les planificateurs pour déterminer la meilleure position d'implantation d'une nouvelle piste cyclable grâce à la simulation des flots de cyclistes sur les différents liens avant et après l'instauration de la piste.

Pour conclure cette section, il semble pertinent de dresser une liste non exhaustive de perspectives de recherche pour améliorer et affiner les affectations des déplacements cyclistes. Tout d'abord, le calculateur est capable d'intégrer un réseau de rues avec des coordonnées (x,y,z) ainsi que des liens unidirectionnels. Dans le cas du vélo, l'influence de la topographie est importante pour affecter correctement les cyclistes sur le réseau. Les rues avec des dénivélés marqués auront tendance à être délaissées par les cyclistes par rapport aux rues moins pentues. De même, malgré qu'il arrive souvent que les cyclistes empruntent des rues à contre-sens, tenir compte de la direction des liens affinerait considérablement l'affectation, surtout pour les rues avec des infrastructures cyclables unidirectionnelles. Par exemple, la bande cyclable sur Saint-Urbain est unidirectionnelle vers le centre-ville. Dans notre étude, les cyclistes ont été affectés sur cet axe dans le sens contraire ce qui ne représente pas justement la réalité.

Ensuite, il serait envisageable d'affiner les pénalités en fonction des types de rues et d'infrastructures cyclables. Les grandes avenues sont souvent moins propices aux cyclistes que les axes de plus petite capacité. De même, les pistes cyclables protégées sont peut-être plus empruntés par les usagers grâce au niveau supérieur de la sécurité. De ce fait, les coûts et pénalités sur ces liens pourraient être beaucoup plus variés.

Enfin, il faut préciser que le choix d'un itinéraire par un individu dépend de nombreux facteurs. Ainsi, malgré toutes les perspectives de recherche présentées, l'incertitude sur les choix de routes reste tout de même très élevée et le module d'ArcGIS présente ses limites, la seule affectation possible étant tout-ou-rien sur les chemins les plus courts. Ce module ne peut alors pas remplacer des logiciels d'affectation plus développés.

4.4 Limites de l'enquête Origine-Destination pour l'évaluer le vélo

La dernière partie de ce chapitre de présentation du vélo sur l'île de Montréal a pour but faire une analyse critique des limites de l'enquête Origine-Destination pour évaluer les déplacements en mode actif. En effet, plusieurs contraintes majeures directement imputables à la méthode d'enquête tendent à sous-estimer les déplacements accomplis avec les modes actifs. Nous tâcherons alors d'exposer les aspects permettant de faire un tel constat.

En premier lieu, comme nous l'avons précisé en introduction, l'enquête Origine-Destination a pour objectif de décrire les comportements de mobilité des individus lors d'un jour moyen de semaine d'automne. Pour se faire, l'enquête se déroule entre les mois de septembre et de décembre. Or, il a été décrit dans la revue de littérature que les conditions météorologiques, dont la température et les précipitations, font partie des facteurs les plus défavorables à la réalisation des déplacements avec des modes actifs. D'après les données des conditions météorologiques pour l'année 2008 à l'aéroport international de Montréal, les mois de novembre et de décembre sont parmi les mois les plus défavorables pour les modes actifs. La température moyenne en 2008 était de 3,4°C en novembre et -6,1°C pour décembre tandis que les précipitations cumulées pour ces deux mois étaient respectivement de 111 mm et 211 mm. À titre de comparaison, en avril 2008, la température moyenne était de 8,3°C et les précipitations de 169 mm. Ainsi, la période la plus favorable pour les modes actifs dans la grande région de Montréal se situe entre les mois

d'avril et de septembre. La période d'enquête défavorise donc les modes actifs par rapport aux autres modes de transport.

En outre, l'analyse des périodes d'enquête des ménages révèle que le nombre de ménages enquêtés n'est pas uniforme entre les quatre mois d'enquête. En septembre 9,6 % des ménages totaux ont été interrogés contre 26,7 %, 36,4 % et 27,3 % pour les trois mois suivants (Figure 4-16). Ainsi, pendant les mois de septembre et d'octobre, plus favorables aux modes actifs, seulement 36,3 % des ménages ont été questionnés. Ce constat met en lumière que près des 2/3 des ménages ont été questionnés pendant la période la plus défavorable pour les modes actifs, contribuant très fortement à la sous-estimation de la part des modes actifs. Ce constat est confirmé par l'évolution de la part modale du vélo au cours de la période d'enquête. Pour le mois de septembre, la part modale moyenne du vélo est de 4,4 %, contre 2,7 % en octobre, 1,9 % en novembre et 0,6 % en décembre. La période d'enquête joue alors un rôle majeur dans l'estimation des modes actifs puisque, dans la période favorable, le vélo représente plus de 4,4 % des déplacements contre moins de 0,6 % en hiver.

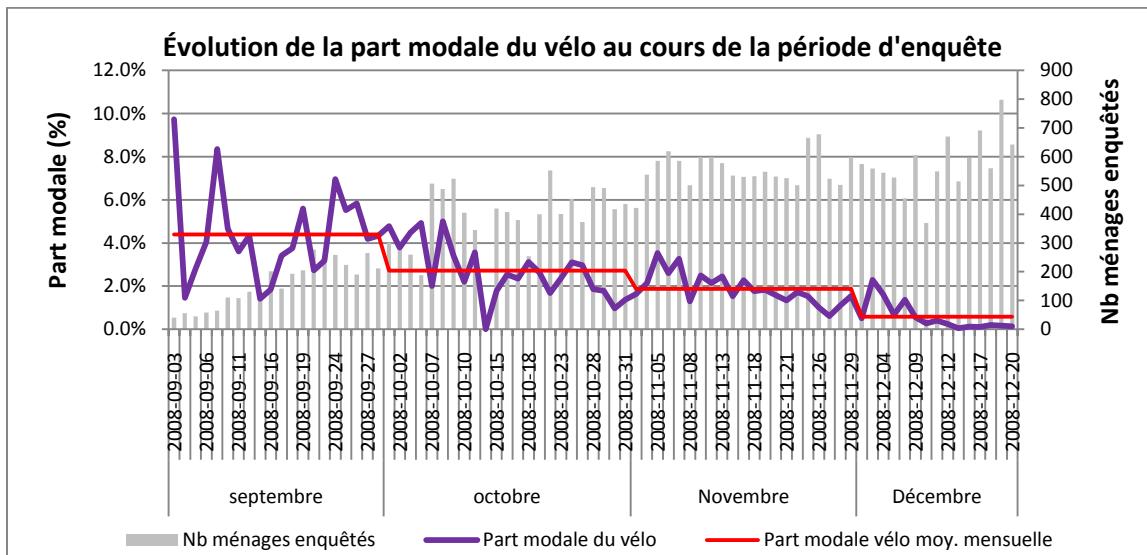


Figure 4-16 : Évolution de la part modale pour le vélo au cours de la période d'enquête

Cependant, il convient tout de même de constater que la part modale de la marche est beaucoup plus constante pour chacun des mois d'enquête (Figure 4-17). Le mode marche semble alors moins affecté par la saison que le mode vélo qui chute drastiquement au cours des quatre mois d'enquête. La Figure 4-17 présente l'évolution de la part modale du vélo au cours des semaines d'enquête. L'objectif consiste à rechercher le point à partir duquel les cyclistes réalisent un

transfert modal vers les autres modes de transport. On peut voir que le déclin commence à partir de la semaine 39 et s'intensifie sur les semaines 40 et 41. Ceci correspond à la dernière semaine du mois de septembre et aux deux premières du mois d'octobre. Parallèlement, on note que la part modale de la marche et du transport en commun connaissent un bon dans les semaines suivantes avant de se stabiliser de nouveau. Peut-être que le transfert modal des cyclistes est l'un des facteurs expliquant ce rebond. Ceci ne reste cependant qu'une hypothèse.

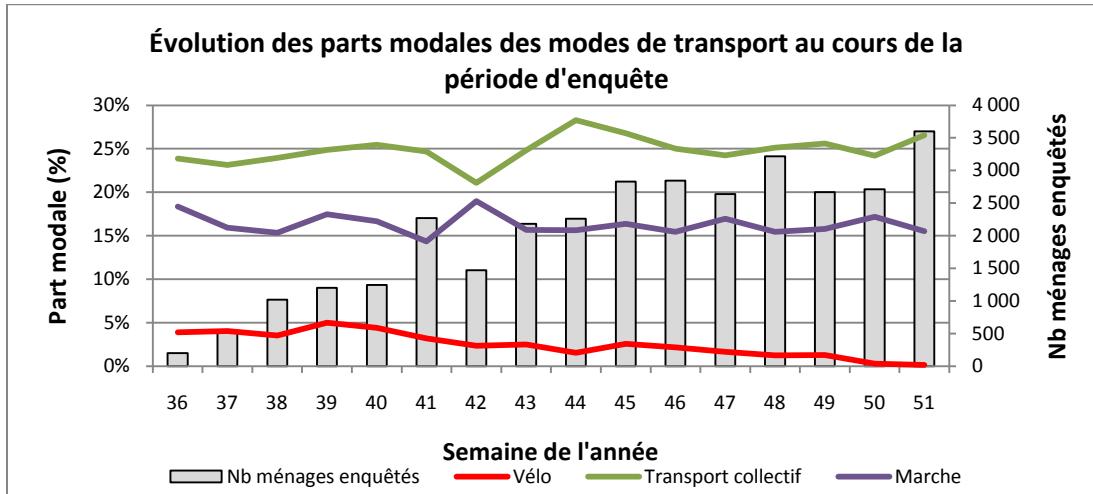


Figure 4-17 : Évolution des parts modales des modes en fonction des semaines d'enquête

Ensuite, une autre limite provient du moyen d'enquête à proprement parler. Comme il a déjà été mentionné, les ménages sont interrogés par téléphone et la personne répondante doit répondre aux questions concernant les déplacements accomplis la veille, par toutes les personnes du ménage. Cette méthode peut induire un biais dans les réponses aux questions pour les autres personnes du ménage. En effet, on suppose que le répondant connaît les heures de départ et de retour au domicile des différents individus de son ménage. Par contre, l'incertitude concernant les déplacements accomplis par les autres membres du ménage pendant la journée est beaucoup plus élevée. Par exemple, les déplacements effectués le midi pendant l'heure du dîner peuvent ne pas être déclarés, car le répondant n'en a pas eu connaissance. Or, ces déplacements sont plus susceptibles d'être réalisés à pied qu'avec un autre mode de transport. Ceci contribue alors à sous-estimer les déplacements avec les modes actifs.

Dans le même ordre d'idées, il faut préciser que les déplacements de très courtes distances, comme aller à l'épicerie au coin de la rue, sont également les déplacements les plus susceptibles d'être omis par le répondant. Encore une fois, ces déplacements de très courte distance ont plus

de chance d'avoir été accomplis avec un mode actif plutôt qu'avec un mode motorisé, pouvant également avoir pour effet de sous-estimer les déplacements en mode actif.

Finalement, la dernière contrainte provient de la codification des déplacements suivant les différents modes. En effet, un enregistrement est considéré comme étant un déplacement piéton lorsqu'il a été réalisé exclusivement à pied. Par conséquent, si une personne marche 20 minutes pour aller prendre le métro ou encore qu'elle gare sa voiture à 15 minutes à pied de son travail, ces trajets seront considérés comme des déplacements en transport en commun ou en automobile. Par le fait, une telle codification des déplacements tend à sous-estimer les modes actifs. Précisons toutefois que plusieurs recherches ont tenté d'estimer les volumes de déplacements et de « pas perdus», en l'occurrence, provenant de cette codification des enregistrements (Morency, et al., 2009; Morency, Trepanier, Tremblay, et al., 2011).

Ces éléments mettent en évidence que les enquêtes Origine-Destination sont des outils extrêmement intéressants pour examiner les modes motorisés. Par contre, ces enquêtes s'avèrent moins favorables à l'évaluation des modes actifs tant par la période d'enquête, que par le médium d'enquête choisi et la codification appliquée aux déplacements. En conclusion, précisions que la réalisation de l'enquête Origine-Destination en continu sur de longues périodes de temps permettrait d'apprécier les variations d'usage des modes au cours de l'année, ce qui affineraient notablement le portrait de la mobilité active de la grande région de Montréal.

4.5 Résumé

Dans ce chapitre, le portrait du vélo dans le contexte montréalais d'après l'enquête Origine-Destination de Montréal tenue en 2008 a été présenté. Le portrait sociodémographique des personnes, les niveaux de motorisation ainsi que la répartition modale des déplacements sur l'île ont été détaillés. Ensuite, les caractéristiques des déplacements cyclistes ont été présentées, pour terminer par une comparaison de deux affectations de ces déplacements sur le réseau routier. Finalement, les limites des enquêtes Origine-Destination pour estimer les modes actifs ont été résumées dans une dernière partie.

CHAPITRE 5 ÉVALUATION DU POTENTIEL DU VÉLO

Le chapitre précédent a permis de dresser le portrait du vélo sur l'île de Montréal d'après l'enquête Origine-Destination de 2008. Pour sa part, ce chapitre a pour but de compléter le portrait du vélo en définissant le potentiel de ce mode de transport. Évaluer le potentiel du vélo revient, d'une part, à expliciter les principaux facteurs influençant l'usage de ce mode de transport, et, d'autre part, à définir une méthodologie permettant d'évaluer le volume de déplacements motorisés qu'il serait possible de transférer en déplacements cyclistes. L'objectif consiste à élaborer un processus séquentiel pour sélectionner, parmi l'ensemble des déplacements motorisés, les déplacements qui pourraient être effectués en bicyclette plutôt qu'avec un mode motorisé selon des critères de transfert modal préalablement définis. La finalité de ce travail permet d'établir le niveau d'utilisation de la bicyclette qu'il serait possible d'obtenir dans le cas d'un usage optimal du vélo. Ce chapitre retrace les expérimentations opérées pour procéder à l'estimation du potentiel du vélo. Dans une première partie la méthodologie est présentée puis, dans un second temps, la démarche est appliquée au cas de l'île de Montréal.

5.1 Démarche globale pour l'estimation du potentiel du vélo

Dans cette étude, l'estimation du potentiel du vélo est divisée en deux parties (Figure 5-1). Dans un premier temps, un modèle sera construit reposant sur les enregistrements de déplacements de l'enquête Origine-Destination des résidents de l'île de Montréal, puis, dans un second temps, l'évaluation des volumes de déplacements motorisés transférables en vélo sera menée.

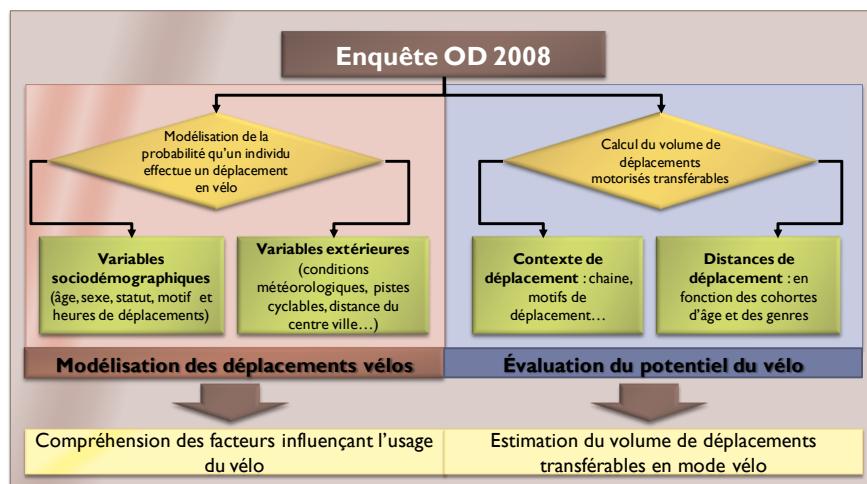


Figure 5-1 : Méthodologie d'estimation du potentiel du vélo d'après les données de l'enquête OD

5.2 Modélisation des déplacements en vélo

La première étape dans l'évaluation du potentiel du vélo consiste à analyser les facteurs déterminant du choix modal du vélo. Une telle estimation a été menée avec la création d'un modèle permettant de déterminer la probabilité qu'un individu effectue un déplacement en vélo en fonction d'une série de variables. Dans notre cas, l'usager a deux options possibles : soit d'effectuer son déplacement en vélo, soit d'utiliser un autre mode de transport. Ceci justifie le choix d'utiliser un modèle LOGIT pour modéliser les différents scénarios puisque ce type de modèle est adapté pour évaluer la relation entre une variable dépendante de type binaire et une série de variables indépendantes.

Le modèle proposé dans cette étude permet de modéliser les déplacements déclarés dans l'enquête Origine-Destination tenue en 2008. Grâce aux nombreuses informations contenues dans cette table de données, il est possible de modéliser les déplacements cyclistes en fonction de plusieurs types de variables explicatives.

Finalement, le modèle développé dans cette étude repose sur une méthodologie similaire à celle élaborée par Morency et al. (2011) dans l'estimation des déterminants du choix modal de la marche dans la grande région de Montréal d'après les données de l'enquête Origine-Destination de 2003. Les grandes lignes de la méthodologie de construction du modèle vont être résumées ici brièvement et sont tirés de Morency et al. (2011).

5.2.1 Définition du modèle

Le modèle de choix discret de type LOGIT élaboré repose sur le postulat voulant que l'usager tente de maximiser son utilité U parmi une série d'alternative. Ceci signifie que l'individu n va choisir entre deux alternatives indépendantes i et j de telle sorte que :

$$U_{ni} > U_{nj}, \forall i \neq j$$

Par conséquent, si on considère, dans notre cas, que l'alternative i est de faire le déplacement en vélo et que l'alternative j représente les autres choix modaux, on obtient :

$$y_{ni} = \begin{cases} 1 & \text{si } U_{ni} > U_{nj}, \quad \forall i \neq j \\ 0 & \text{dans tous les autres cas} \end{cases}$$

Ainsi, l'objectif du modèle consiste à expliquer le comportement observé y_{ni} grâce à une série de variables indépendantes.

Deux types de résultats ont été extraits du modèle LOGIT. Tout d'abord, des rapports de cotes (« odds ratio ») sont calculés et permettent d'évaluer la probabilité qu'un individu effectue un déplacement en vélo par rapport à un groupe de référence. Ensuite, des coefficients de probabilité sont calculés permettant de prédire, en fonction des attributs particuliers d'un individu, la probabilité qu'il effectue son déplacement en vélo par rapport aux autres modes. Cette probabilité se calcule comme suit :

$$Probabilité_{déplacement_vélo} = \frac{1}{1 + e^{-(const.+coef.1*(1 ou 0) + \dots + coef.n*(1 ou 0))}}$$

5.2.2 Définition des variables

Comme pour de nombreux systèmes de transport, de très nombreuses variables peuvent influencer le choix d'un individu d'effectuer son déplacement en vélo. Le Tableau 5-1 récapitule les variables retenues dans notre recherche. Elles permettent de caractériser quatre aspects différents : le profil de l'individu, les caractéristiques du déplacement, le quartier et les conditions météorologiques lors du déplacement. Ces variables sont considérés généralement comme étant les facteurs majeurs influençant les déplacements en vélo (voir revue de littérature paragraphe 2.2).

Tableau 5-1: Description des variables du modèle LOGIT

Type de variable	Nom des variables	Descriptions
Variables socio-démographiques	VELO	Variable dépendante : 1 déplacement en vélo; 0 autres modes
	RM20K	Revenu du ménage de moins de 20 000\$
	R2060K	Revenu du ménage entre 20 000\$ et 60 000 \$
	R60100K	Revenu du ménage entre 60 000\$ et 100 000 \$
	R100KP	Revenu du ménage de plus 100 000\$
	MEN1P	Ménage d'une seule personne
	MEN0A	Ménage sans automobile
	P517A	Personne âgée entre 5 et 17 ans
	P1844A	Personne âgée entre 18 et 44 ans
	P4559A	Personne âgée entre 45 et 59 ans
	P60AP	Personne âgée de plus de 60 ans

Tableau 5-1 : Description des variables du modèle LOGIT (suite)

	PCOND	La personne dispose d'un permis de conduire
	SEXЕ	La personne est un homme
Caractéristiques du déplacement	DOMCVM5KM	Distance entre le domicile et le centre-ville de moins de 5 km
	DOMCV510KM	Distance entre le domicile et le centre-ville entre 5 km et 10 km
	DOMCV1015KM	Distance entre le domicile et le centre-ville entre 10 km et 15 km
	DOMCV15PKM	Distance entre le domicile et le centre-ville de plus de 20 km
	DISV1MKM	Déplacement de moins de 1 km
	DISV13KM	Déplacement entre 1 et 3 km
	DISV35KM	Déplacement entre 3 et 5 km
	DISV5PKM	Déplacement de plus de 5 km
	DEPLNUIT	Déplacement effectué entre 22h et 6h du matin
	MOTIF_TR	Déplacement pour motif travail
	MOTIF_ET	Déplacement pour motif études
	MOTIF_RET	Déplacement pour motif retour au domicile
	MOTIF_LR	Déplacement pour motif loisirs
	MOTIF_MA	Déplacement pour motif magasinage
	MOTIF_AU	Déplacement pour motif autre
Caractéristiques des quartiers	DENSPOP_DOM	Densité moyenne de population dans le secteur du domicile
	KMORI1	Moins de 1 km de piste cyclable dans le secteur d'origine
	KMORI110	Entre 1 et 10 km de piste cyclable dans le secteur d'origine
	KMORI1020	Entre 10 et 20 km de piste cyclable dans le secteur d'origine
	KMORI20P	Plus de 20 km de piste cyclable dans le secteur d'origine
	KMDES1	Moins de 1 km de piste cyclable dans le secteur de destination
	KMDES110	Entre 1 et 10 km de piste cyclable dans le secteur de destination
	KMDES1020	Entre 10 et 20 km de piste cyclable dans le secteur de destination
	KMDES20P	Plus de 20 km de piste cyclable dans le secteur de destination
	DENSINTER	Densité d'intersections dans le secteur du domicile
	TORMOYSEC	Tortuosité du réseau dans le secteur du domicile
Conditions météorologiques	TEMP0M	Température moyenne de la journée de déplacement inférieur à 0°C
	TEMP020	Température moyenne de la journée de déplacement entre 0°C et 20°C
	TEMP20	Température moyenne de la journée de déplacement supérieur à 20°C
	PLUIE0	Aucune précipitation lors de la journée de déplacement
	PLUIE05	Entre 0 et 5 mm de précipitations lors de la journée de déplacement
	PLUIE5O	Plus de 5 mm de précipitations lors de la journée de déplacement
	VENT	Présence de rafale de vent de plus de 30 km/h lors de la journée de déplacement
	NEIGESOL	Présence de neige au sol lors de la journée de déplacement

Plusieurs informations complémentaires sont fournies pour les variables suivantes :

- variables des conditions météorologiques : toutes ces données sont issues du site Internet de Environnement Canada (2010) (présenté au paragraphe 3.3.);
- variables sociodémographiques et des caractéristiques des déplacements : toutes ces valeurs sont directement extraites de la table de données de l'enquête Origine-Destination;
- variables des caractéristiques des déplacements : l'intersection des rues Peel et Sainte-Catherine est considérée comme le point de référence pour calculer les distances du centre-ville.
- variables des caractéristiques des quartiers :
 - KMORI et KMDES ont été calculées avec le logiciel ArcGIS et les données des pistes cyclables en 2010 fournies par Vélo Québec ont été utilisées;
 - TORMOYSEC : représente le ratio entre la distance parcourue sur le réseau et la distance à vol d'oiseau. Le calcul de la distance sur le réseau a été réalisé par le calculateur développé par Chapleau et Trépanier (2002). Les données utilisées dans cette étude sont identiques à celle calculées par Morency et al. (2011);
 - DENSINTER : la densité d'intersection a été calculée grâce aux fonctionnalités du logiciel ArcGIS et les données proviennent des couches de données de Statistiques Canada fournies sur le site Internet du CREPUQ (<http://ivt.crepuq.qc.ca/>).

5.2.3 Échantillon de données

Le modèle construit repose sur les données provenant de l'enquête Origine-Destination de Montréal tenue en 2008. La table de données ne contient que les enregistrements concernant les résidents de l'île de Montréal. Précisons aussi que les enregistrements des résidents non mobiles ont été exclus. La table de données finale est composée de 145 953 enregistrements de déplacements (tous mode confondus), dont 2 883 enregistrements de déplacement à vélo (avant pondération).

Par ailleurs, l'analyse des corrélations a montré que certaines variables explicatives ne sont pas indépendantes. Ainsi, lorsque deux variables possèdent un fort degré de corrélation (indicateur de Pearson supérieur à 0,4), l'une d'entre elles a été exclue de l'étude (Tableau 5-2). Les variables omises servent de référence dans le calcul des coefficients du modèle.

Tableau 5-2 : Listes des variables corrélées pour l'évaluation du potentiel du vélo

Variable 1	Variable 2	Coefficient de corrélation	Variable conservée
Denspop_dom	Densinter	0,78	aucune
Densinter	Domcv15pk	0,40	Domcv15pk
Denspop_dom	Domcv15pk	0,49	Domcv15pk
Neigesol	Tempm0	0,50	Tempm0
pcond	P517a	0,59	P517a
Motif_et	P517a	0,48	P517a
Motif_tr	Motif_ret	0,43	Motif_tr
P1844a	P4559a	0,50	P1844a
Kmori110	Kmori1020	0,50	Kmori110
Kmori1020	Kmori20p	0,56	Kmori110
Kmdes110	Kmdes1020	0,50	Kmdes110
Kmdes1020	Kmdes20p	0,56	Kmdes110

5.2.4 Résultats du modèle

Tout d'abord, précisons que le modèle a été programmé et exécuté avec le logiciel STATA. La rapidité de compilation des résultats a permis d'effectuer de nombreuses simulations afin d'obtenir le résultat le plus significatif. Toutefois, il ne sera présenté ici qu'une seule exécution du modèle. Les résultats de la modélisation sont présentés dans le Tableau 5-3.

Comme il a été expliqué précédemment, le modèle LOGIT permet de calculer les coefficients de probabilité d'effectuer un déplacement en vélo en fonction de variables explicatives par rapport à des groupes témoins. Par conséquent, pour chaque type de variables, l'une d'entre elle agit comme référence. Par exemple, les variables « domcv510km », « domcv1015km » et « domcv15pk » ont été intégrées au modèle et la variable « domcvm5km » agit comme référence à ce groupe de variables. De plus, plusieurs variables ont été exclues du modèle final puisqu'elles n'étaient pas significatives étant donné que la valeur p-value calculée pour ces variables était supérieur au niveau de signification de 0,05.

Par ailleurs, précisons que le test statistique du Khi2 révèle que le modèle est significatif et toutes les variables incluses dans le modèle ont des p-value calculées inférieures au niveau de signification fixé à 0,05. Le modèle construit est capable d'expliquer près de 12,0 % de la variabilité de l'utilisation du vélo. Les principaux faits saillant issus des rapports de cotes sont les suivants :

- Les personnes vivant seules dans un ménage ont une probabilité 1,17 fois plus élevée de réaliser leur déplacement à vélo que ceux habitant dans un ménage de deux personnes et plus;
- Les ménages sans automobile ont une probabilité 2,35 fois plus élevée d'effectuer un déplacement à vélo que les ménages possédant au moins un véhicule;
- Les enfants âgés entre 5 et 17 ans ont une probabilité 0,68 moins importante d'accomplir un déplacement à vélo par rapport aux personnes de plus de 45 ans contre une probabilité 1,68 plus élevée pour les personnes âgées entre 18 et 44 ans;
- Les hommes ont une probabilité 1,99 fois plus grande d'effectuer un déplacement à vélo que les femmes;
- Un déplacement d'une distance comprise entre 1 et 3 km a une probabilité 2,65 fois élevée d'être accompli à vélo qu'un déplacement de plus de 5 km;
- Un déplacement pour motif travail a une probabilité 1,4 fois plus grande d'être accompli à vélo que pour un autre motif;
- Les personnes résidant entre 5 et 10 km ou entre 10 et 15 km ou à plus de 15 km du centre ville ont des probabilités respectives de 0,68, 0,25 et 0,29 fois moins grandes de faire un déplacement à vélo que les personnes résidant à moins de 5 km du centre-ville.
- Un déplacement dont l'origine est située dans une zone sans infrastructure cyclable a une probabilité 0,67 fois moins élevée d'être effectué à vélo par rapport à un secteur possédant des infrastructures cyclables. (même constat si la destination est située dans une zone sans infrastructure avec une probabilité de 0,64)
- Un déplacement réalisé lors d'une journée sans pluie a 1,46 fois plus de chance de s'effectuer à vélo par rapport à une journée avec des précipitations.
- Un déplacement réalisé alors que la température moyenne est inférieure à 0°C a une probabilité 0,28 fois moins grande d'être accompli à vélo par rapport au groupe de référence. Lorsque la température est supérieure à 20°C la probabilité augmente à 1,46.
- Un déplacement accompli lors d'une journée avec des rafales de vent à plus de 30km/h a une probabilité 0,90 fois moins élevée d'être réalisé à vélo par rapport à un jour sans vent.

Tableau 5-3 : Résultats obtenus du logiciel STATA à partir du modèle LOGIT pour l'explication des déplacements en vélo

Wald chi2(17) = 2922,67	Log likelihood = -331958,4	Nb obs. = 149543			
Prob>chi2 = 0,000	Pseudo R2 = 0,1200				
<u>Variables explicatives</u>	<u>Coef.</u>	<u>Odds Ratio</u>	<u>z</u>	<u>P> z </u>	<u>Valeur moyenne</u>
men1p	0,1566402	1,169575	3,01	0,003	0,1511
<i>men2p</i>		<i>Ref</i>			0,8489
men0a	0,8579281	2,35827	18,85	0,000	0,1833
<i>men1a</i>		<i>Ref</i>			0,8167
p517a	-0,3856293	0,6800225	-4,91	0,000	0,1501
p1844a	0,5192917	1,680837	11,81	0,000	0,4033
p4559a /p60a		<i>Ref</i>			0,4466
sexe	0,6889105	1,991544	16,53	0,000	0,4847
<i>sexe2</i>		<i>Ref</i>			0,5153
domcv510km	-0,373497	0,6883231	-8,46	0,000	0,4056
domcv1015k	-1,374231	0,2530342	-16,5	0,000	0,1820
domcv15pkm	-1,206123	0,2993557	-13,67	0,000	0,1791
<i>domcvm5km</i>		<i>Ref</i>			0,2333
disv1mkm	0,5950499	1,813121	9,1	0,000	0,2108
disv13km	0,9751219	2,65149	17,13	0,000	0,2513
disv35km	0,6647706	1,944044	10,43	0,000	0,1579
<i>disv5pkm</i>		<i>Ref</i>			0,3800
vent	-0,1043329	0,9009253	-2,52	0,012	0,5792
<i>vent1</i>		<i>Ref</i>			0,4208
temp0m	-1,239414	0,289554	-20,47	0,000	0,3079
temp20	0,3822955	1,465645	2,16	0,031	0,0062
<i>temp020</i>		<i>Ref</i>			0,6859
pluie0	0,3796103	1,461715	8,81	0,000	0,5415
<i>pluie05 / pluie50</i>		<i>Ref</i>			0,4585
motif_tr	0,3425277	1,408503	6,98	0,000	0,1871
<i>Autres motifs</i>		<i>Ref</i>			0,8129
kmori1	-0,4000879	0,6702611	-2,35	0,019	0,3255
<i>Kmori110/kmori1020/kmori20p</i>		<i>Ref</i>			0,6745
kmdes1	-0,437	0,6459714	-2,55	0,011	0,2596
<i>Kmdes110/kmdes1020/kmdes20p</i>		ref			0,7404
_cons	-3,527269				

Parallèlement à ces faits saillants, le modèle permet aussi de calculer la probabilité qu'un individu réalise un déplacement en vélo en fonction de ces attributs. Deux exemples vont illustrer les prévisions qu'il est possible de calculer.

On recherche la probabilité qu'un homme de 42 ans vivant seul, se déplaçant pour se rendre à son travail lors d'un jour d'été ensoleillé où le mercure dépasse les 20°C, effectue son déplacement à vélo. Précisons qu'il ne possède pas d'automobile et que le déplacement est de 4 km. Dans ce cas, la probabilité se calcule comme suit :

$$P_{depl_vélo} = \frac{1}{1 + e^{-(-3.53 + (0.16*1) + (0.86*1) + (0.52*1) + (0.69*1) + (0.66*1) + (0.38*1) + (0.38*1) + (0.34*1))}}$$

Les coefficients multipliés par 0 ont été omis de l'équation pour faciliter la lecture. Le résultat de l'équation donne une probabilité pour cet individu de 61,3 % de réaliser son déplacement en vélo.

Maintenant, on recherche la probabilité que cet individu effectue le même déplacement, mais lors d'un jour d'automne où le thermomètre indique 8°C et il pleut. Dans ce cas, l'équation donne une probabilité que l'individu effectue son déplacement à vélo de 42,6 %.

Pour conclure, la construction d'un tel modèle permet de déterminer les facteurs influençant le plus les individus de l'île de Montréal dans le choix d'utiliser le vélo pour se déplacer. Il ressort que la possession automobile, la distance du déplacement, la distance entre le domicile et le centre-ville ainsi que les conditions météorologiques sont les facteurs influençant le plus l'usage de la bicyclette comme mode de transport.

5.3 Évaluation du potentiel du vélo

Le second type d'analyse mené a pour but d'estimer les volumes de déplacements convertibles en déplacements cyclistes. Dans cette étude, l'intérêt porte uniquement sur les déplacements effectués en automobile (conducteur et passager). La démarche globale consiste alors à extraire l'ensemble des déplacements en automobile puis à exclure les déplacements ne répondant pas aux critères de transfert. Il faut alors passer en revue chacun des déplacements de l'enquête Origine-Destination pour déterminer le potentiel du vélo.

5.3.1 Méthodologie d'estimation du potentiel du vélo

La méthodologie proposée requiert alors trois étapes à mener successivement (Figure 5-2). La première étape consiste à faire l'extraction des déplacements en automobile de la table de données de l'enquête Origine-Destination.

Dans la seconde étape, il faut déterminer les critères de transferts modaux retenus. Dans la troisième étape, les déplacements automobiles sont injectés dans un processus opéré séquentiellement permettant de déterminer si le déplacement est transférable.



Figure 5-2 : Méthodologie d'estimation des volumes de déplacements transférables

5.3.2 Échantillon de données

L'évaluation du potentiel du vélo de cette étude n'est effectuée que pour les déplacements des résidents de l'île de Montréal. Dans la table de données de l'enquête Origine-Destination, on recense 2 883 déplacements cyclistes et 80 262 déplacements en automobile (avant pondération). C'est à partir de ces échantillons de données que nous estimerons le potentiel du vélo. Précisons également que le fichier des chaînes de déplacements a été utilisé pour cette estimation du potentiel du vélo. Ce fichier a été compilé grâce aux travaux de Valiquette (2010).

5.3.3 Critères de transferts modaux

Dans la revue de littérature, il a été présenté plusieurs études ayant accomplis des estimations similaires à celle que nous réalisons. Ainsi, les critères de transferts retenus pour convertir un déplacement motorisé en déplacement cycliste s'inspirent de ces recherches (voir paragraphe 2.3).

Pour être transférables, les déplacements motorisés devront répondre aux exigences des critères de distances, puis à celle des critères spécifiques. En effet, afin de rendre l'estimation de ce potentiel plus réaliste, deux estimations seront réalisées. Dans un premier temps, l'évaluation tiendra uniquement compte des critères de distances tandis que la seconde estimation inclura l'ensemble des critères spécifiques.

5.3.3.1 Critères de distances

Chaque mode de transport possède une distance franchissable, c'est-à-dire une distance qu'il est possible de franchir quotidiennement et dans un temps convenable. Les modes actifs comme la bicyclette et la marche se distinguent des modes motorisés par des distances franchissables beaucoup moins importantes. Cette notion de distance franchissable est alors considérée dans l'évaluation du potentiel du vélo par le concept des *distances seuils*.

Le premier critère permettant d'évaluer si le déplacement est potentiellement transférable consiste à comparer la distance du trajet motorisé avec une distance seuil à vélo. Chacun des déplacements de la table de données devra être inférieur ou égal à la distance seuil (applicable au déplacement) pour pouvoir être transféré. Les déplacements ne respectant pas cette condition seront exclus du potentiel du vélo.

Les distances seuils sont extraites de l'analyse des déplacements actuels des cyclistes. En effet, il faut savoir que les distances de parcours des cyclistes peuvent varier en fonction d'un grand nombre de facteurs comme l'âge de l'individu, le motif du déplacement, l'heure du déplacement ou autre. Du fait des limitations d'échantillon, les distances seuils de notre étude sont segmentées selon les genres et les cohortes d'âge. Par ailleurs, la distance seuil est telle que 80 % des cyclistes de l'enquête ont parcouru cette distance ou moins. Le Tableau 5-4 résume les distances seuils déterminées.

Tableau 5-4 : Résumé des distances seuils calculées par cohortes d'âge et par genre

Cohortes d'âge	Échantillons		Distances seuils (km)	
	Homme	Femme	Homme	Femme
5-12 ans	86	48	2,64	1,78
13-17 ans	79	25	4,48	4,00
18-44 ans	971	671	7,22	5,67
45-59 ans	490	261	7,35	6,67
60 ans et plus	193	59	4,74	3,00

5.3.3.2 Critères spécifiques

Divers critères, énumérés ci-dessous, sont documentés dans la littérature comme étant problématiques dans le calcul des transferts modaux. Dans la première estimation du potentiel

nous ne tiendrons pas compte de ces critères tandis qu'ils seront ajoutés un à un dans la seconde estimation afin que mesurer leur influence sur le potentiel du vélo :

- **Motif de déplacement « Magasinage » (critère 1):** le principal problème vient de l'impossibilité de transporter de grandes quantités de marchandises en bicyclette.
- **Motifs de déplacement « Raccompagner et chercher quelqu'un » (critère 2):** ces motifs posent un problème du fait que l'on ne peut transporter que difficilement une personne à bicyclette. Par conséquent, ces motifs seront exclus dans la seconde estimation du potentiel du vélo.
- **Les chaînes ouvertes (critère 3):** ce sont les déplacements n'appartenant pas à une boucle, c'est-à-dire qu'aucun trajet en sens inverse n'est enregistré. Ces déplacements posent problème puisqu'ils sous-entendent que si le déplacement est accompli en bicyclette, le vélo devra être abandonné à la destination.
- **Chaînes complexes (critère 4):** les chaînes complexes se définissent comme une suite de plus de deux activités consécutives sans retour au domicile. Lors du calcul du transfert modal, il est important de comprendre le contexte de mobilité dans lequel s'inscrivent les déplacements d'un individu, avant de procéder au transfert. L'exemple suivant illustre la problématique des chaînes complexes. Un individu effectue en automobile la suite de déplacements suivants : un premier déplacement de 2 km pour le travail puis un second de 15 km pour un loisir avant de retourner à son domicile. On s'aperçoit alors que son premier déplacement est transférable tandis que le second ne l'est pas. Or, si cette personne se rend au travail en bicyclette, elle ne peut plus aller à son loisir. Par conséquent, théoriquement, si un des déplacements de la chaîne n'est pas transférable, on ne doit transférer aucun déplacement de la chaîne.
- **Distance totale de parcours (critère 5):** cette contrainte concerne la chaîne de déplacements et a pour but de limiter la distance totale parcourue quotidiennement par un individu. Par exemple, un individu effectue en automobile huit déplacements de 5 km. Chacun de ses déplacements pris à l'unité est transférable. Néanmoins, ce transfert impliquerait que la personne parcourt 40 km quotidiennement, distance jugée trop importante pour des déplacements journaliers. Une limite de quatre fois la distance seuil est appliquée comme étant la distance totale parcourable quotidiennement. Précisons qu'il

est difficile de trouver dans la littérature une distance maximale journalière parcourable pour chaque cohorte d'âge. Plusieurs chercheurs utilisent des contraintes de budget-temps journaliers maximum, mais qui reste très variable selon les recherches (Bonnel, et al., 2005; Monzon & Vega, 2006).

5.3.4 Résultats du transfert modal

Dans ce paragraphe, seront présentés les résultats de l'évaluation du potentiel du vélo d'après les données de l'enquête Origine-Destination de 2008. Dans un premier temps, l'estimation ne tient compte que des distances seuils tandis que la seconde estimation inclura l'ensemble des critères spécifiques.

5.3.4.1 Estimation du potentiel du vélo sans critère

Pour cette première évaluation du potentiel du vélo, les résultats sont consignés dans le Tableau 5-5. Les trajets en automobile des résidents de l'île de Montréal représentent près de 2 053 920 déplacements quotidiens. En utilisant le critère de distances seuils par cohortes d'âge et de genre (défini au paragraphe 5.3.3.1), il apparaît que 61,8 % des déplacements en automobile sont transférables en vélo, soit près de 1 256 070 déplacements quotidiennement. Plus précisément, 62,8 % des déplacements accomplis en automobile par les hommes et 59,4 % des ceux des femmes sont transférables en déplacement cycliste. Ces résultats donnent une première idée de l'évolution possible du vélo sur l'île de Montréal. On s'aperçoit que les volumes de déplacements convertibles sont très importants, et ce, pour toutes les cohortes d'âges (entre 49,8 % et 69,4 % des déplacements par tranche d'âge sont convertibles). Il convient alors d'affiner cette première estimation en tenant compte des autres critères de transfert modal.

Tableau 5-5 : Résultats de l'évaluation du potentiel du vélo en n'incluant que les distances seuils

		Déplacements en automobile	Déplacements transférables	% déplacements transférables
Homme	5-12 ans	67 760	44 280	65,3 %
	13-17 ans	29 800	17 680	59,3 %
	18-44 ans	471 280	284 860	60,4 %
	45-59 ans	295 670	183 410	62,0 %
	60 ans et plus	190 630	132 230	69,4 %
	Sous-total	1 055 140	662 460	62,8 %
Femme	5-12 ans	62 550	31 880	51,0 %
	13-17 ans	37 860	19 570	51,7 %
	18-44 ans	440 610	265 070	60,2 %
	45-59 ans	276 870	187 050	67,6 %
	60 ans et plus	180 890	90 400	49,8 %
	Sous-total	998 780	593 610	59,4 %
TOTAL		2 053 920	1 256 070	61,2 %

5.3.4.2 Estimation du potentiel du vélo avec critères spécifiques

Cette seconde estimation du potentiel du vélo tient compte des cinq critères présentés au paragraphe 5.3.3.2. Par conséquent, le processus débute sur les résultats de la première estimation auxquels les critères vont être successivement testés (Figure 5-3 et annexe 8).

Le premier critère testé vise à supprimer tous les trajets dont le magasinage est le motif de déplacement. Ceci réduit le nombre de déplacements transférables de 61,2 % à 51,5 %. Dans la seconde étape, les motifs de déplacement « autres » ont été supprimés. Tous les trajets transférables sont conservés au terme de cette étape, ce qui signifie que les motifs comme « aller chercher quelqu'un » ne modifient aucunement le potentiel du vélo.

Par la suite, les déplacements accomplis dans le cadre d'une chaîne ouverte ont été retirés, réduisant de 0,4 % le potentiel du vélo. L'étape suivante est la plus restrictive puisque l'on ne conserve que les déplacements inclus dans une chaîne dont tous les déplacements sont transférables. À ce moment, 18,3 % des déplacements automobiles sont transférables.

Finalement, le critère visant à limiter la distance totale parcourue quotidiennement est appliquée, réduisant de 0,1 % le potentiel du vélo. Au terme de la procédure, près de 347 740 déplacements en automobile apparaissent comme étant transférable en vélo. Ces déplacements représentent 18,2 % des trajets accomplis quotidiennement en automobile par les résidants de l'île.

Cette estimation révèle l'ampleur des déplacements qu'il serait possible de convertir en vélo moyennant certains aménagements. Notons que deux tableaux présentés en annexe 8 résument les volumes de déplacements transférables selon les genres et les cohortes d'âges. Finalement, il semble intéressant de spatialiser les lieux de domicile des individus ayant réalisé des déplacements en automobile convertible en vélo (Figure 5-4). Contrairement à ce qui était anticipé, la concentration de personne est plus importante dans des secteurs du centre de l'île (Ahuntsic, Rosemont, Villerey, Côtes-des-neiges et Mont-Royal). Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les déplacements en automobile des résidents des extrémités de l'île sont plus longs que ceux des résidants du centre de l'île rendant impossible leur réalisation en vélo.

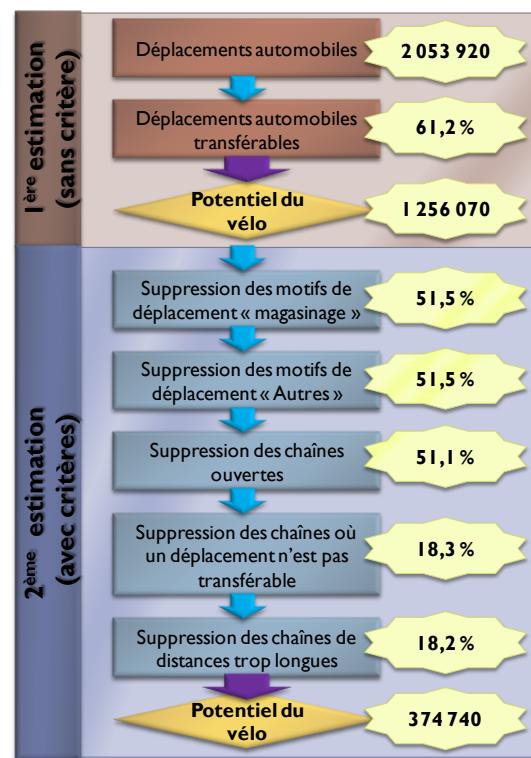


Figure 5-3 : Processus séquentiel d'estimation du potentiel du vélo

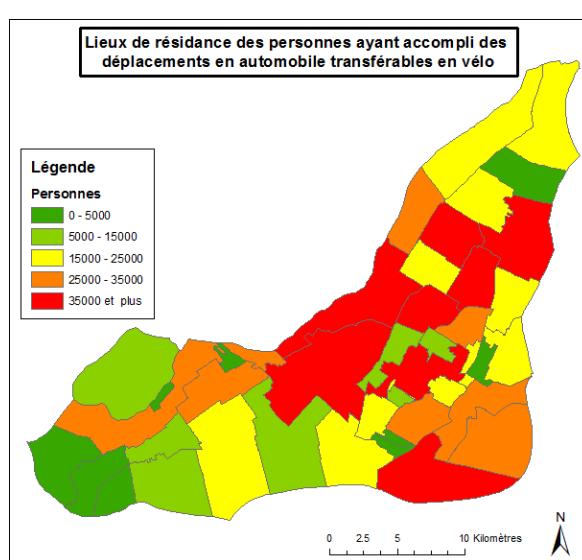


Figure 5-4 : Répartition spatiale des domiciles des personnes ayant accompli des déplacements en automobile convertibles en vélo

5.4 Résumé

Ce chapitre propose une méthodologie d'estimation du potentiel du vélo pour le cas des résidents de l'île de Montréal. Dans un premier temps, un modèle a été construit permettant d'évaluer les facteurs influençant l'usage du vélo sur l'île de Montréal. Comme anticipé, certains facteurs comme les conditions météorologiques lors du déplacement, le niveau de motorisation des ménages et l'aménagement des quartiers font partie des critères déterminants dans le choix modal du vélo. Dans un second temps, une estimation des déplacements effectués en automobile par les résidents de l'île de Montréal qu'il serait possible de transférer en vélo a été menée. Il ressort de cette évaluation que près de 18,2 % des déplacements automobiles pourraient s'effectuer en vélo. Cette étude donne un aperçu du potentiel de croissance du vélo sur l'île de Montréal et précise le contexte dans lequel s'est implanté le programme de vélopartage BIXI.

CHAPITRE 6 MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE DU VÉLOPARTAGE

Comme il a été mentionné à plusieurs reprises dans la revue de littérature, il est actuellement très difficile de trouver des études ayant porté sur l'analyse de données opérationnelles d'un opérateur de vélopartage. La majorité des informations et indicateurs de suivi des systèmes de vélopartage, dont nous disposons, à ce jour proviennent directement des opérateurs. Cette étude se voit alors comme une première étape dans la définition d'une méthodologie pour caractériser les systèmes de vélopartage en s'appuyant sur des données opérationnelles. À ce titre, l'objectif premier de cette étude consiste à proposer une série d'indicateurs de mesure permettant de suivre, de comparer et d'évaluer la performance des systèmes de vélopartage, reposant sur une approche systématique et facilement transposable à d'autres échantillons de données.

Ce chapitre a pour but, d'une part, de détailler la démarche générale d'analyse, et, d'autre part, de faire la définition formelle des indicateurs calculés pour chacun des objets étudiés. La définition de ces indicateurs s'appuie sur plusieurs définitions proposées par Martin (2007) et Grasset (2009) dans l'étude des systèmes d'autopartage. En effet, ces deux systèmes de transport présentent plusieurs points communs et il paraît intéressant de définir les objets d'une façon similaire afin de pouvoir procéder à d'éventuelles comparaisons.

De plus, comme pour l'autopartage, le problème majeur de l'analyse des systèmes de vélopartage vient de l'évolution constante de l'univers d'étude. Par conséquent, une attention toute particulière sera portée à la définition des échelles spatio-temporelles lors du calcul de chacun des indicateurs.

Finalement, les éléments méthodologiques concernant l'analyse et la caractérisation des stations et leur segmentation seront détaillés dans les Chapitre 8 et Chapitre 9.

6.1 Démarche générale d'analyse

Pour caractériser le système de vélopartage BIXI, la démarche comprend trois niveaux d'analyse réalisés successivement (Figure 6-1).

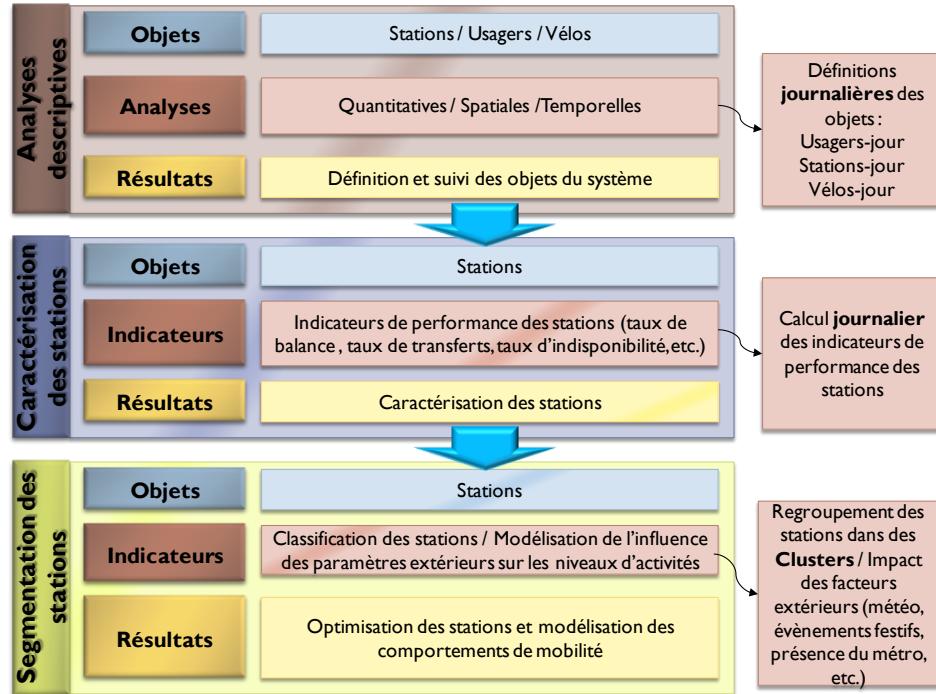


Figure 6-1 : Démarche générale de caractérisation du système de vélopartage BIXI

La première étape est une analyse descriptive des différents objets du système. Chacun des objets est caractérisé par une série d'indicateurs de plusieurs types : des indicateurs de volume, des indicateurs de croissance et d'évolution. Tous ces indicateurs sont aussi calculés sur différentes plages temporelles comme les jours, semaines ou mois ainsi qu'en tenant compte des localisations spatiales des objets. Ces premières analyses permettent de définir les objets et de suivre leur évolution dans le système.

Ensuite, la seconde étape caractérise les stations du réseau de vélopartage. Dans cette étape, des indicateurs plus complexes concernant les niveaux de remplissage et d'activité des stations sont définis. Les buts de développer des indicateurs sont, d'une part, de comparer la performance et l'activité des stations, et, d'autre part, de localiser et analyser les stations ayant des états problématiques. Par exemple, il sera possible de déterminer la localisation spatiale des stations nécessitant le plus souvent des remplissages par le personnel technique ou encore de regrouper les stations selon des niveaux d'activités et de remplissage. Au terme de cette phase, les stations pourront être comparées grâce à des indicateurs calculables sur différentes bases temporelles.

Enfin, la troisième et dernière étape abordée dans cette recherche consiste à faire la segmentation des stations en fonction des niveaux d'activités de celles-ci. Autrement dit, l'idée est de regrouper

les stations ayant des propriétés et comportements similaires. Ceci permet d'évaluer des patrons généraux d'activités en fonction de plusieurs paramètres extérieurs mesurables. À terme, l'objectif est de prévoir les niveaux d'activités pour pouvoir planifier les ajustements de service à opérer. En complément de la segmentation, un modèle explicatif des niveaux d'activité a été établi, permettant d'évaluer l'influence de plusieurs variables sur l'activité des stations lors des trois mois d'étude.

6.2 Définition générale des ensembles et indicateurs

En premier lieu, cette partie définit les grands ensembles utilisés dans l'étude. Les notations et définitions de ces ensembles sont adaptées des travaux de Martin (2007). En second lieu, nous expliciterons les définitions mathématiques des principaux indicateurs utilisés dans l'analyse descriptive du système.

6.2.1 Les ensembles du système

Les différents objets du système de vélopartage sont calculés grâce aux tables de données. Le Tableau 6-1 présente les notations génériques de plusieurs grandeurs du système.

Tableau 6-1 : Notation des grandeurs du système de vélopartage

Notation	Définition
u	une transaction
v	un vélo
s	une station
a	un abonné
oc	un usager occasionnel
nais_a	date de naissance de l'abonné dans le système
nais_v	date de mise en service du vélo
nais_s	date de mise en service de la station
pt	un point d'ancrage d'une station
deb	premier jour d'étude
fin	dernier jour d'étude
tu	le temps d'emprunt (en seconde)
jdu	Date de la transaction

Il est alors possible d'expliciter plusieurs ensembles pour étudier le système de vélopartage :

- soit $\mathbb{T} = \{u\}$ l'ensemble des transactions opérées dans le système

- soit $\mathbb{V} = \{v\}$ l'ensemble de la flotte de vélos mis en service au terme de la période d'étude.
- soit $\mathbb{S} = \{s\}$ l'ensemble des stations mises en service au terme de la période d'étude.
- soit $\mathbb{A} = \{a\}$ l'ensemble des abonnés existants au terme de la période d'étude. Il s'agit des personnes qui ont payé leur abonnement et qui ont réalisé au moins une transaction avant ou pendant la période d'étude.
- soit $\mathbb{O}_{ac} = \{oc\}$ l'ensemble des usagers occasionnels existant au terme de la période d'étude. Il s'agit des personnes ayant souscrit à au moins un abonnement de 24h au système avant ou pendant la période d'étude.
- soit $\mathbb{P} = \{pt\}$ l'ensemble des points d'ancrage mis en service au terme de la période d'étude. Il s'agit des points de stationnement disponibles pour déposer des bicyclettes.

Suite à la définition des ensembles généraux, il convient de définir les ensembles des objets actifs, c'est-à-dire les objets ayant été actifs pendant la période d'étude :

- soit $\mathbb{U} = \{u \mid fin > jdu > deb\}$ l'ensemble des transactions enregistrées pendant la période d'étude. Il faut noter que $\mathbb{U} \subset \mathbb{T}$.
- soit $\mathbb{V}_{ac} = \{v \mid \exists u_v \in \mathbb{U}\}$ l'ensemble des vélos ayant été utilisés au moins une fois pendant la période observée. On note que $\mathbb{V}_{ac} \subset \mathbb{V}$.
- soit $\mathbb{S}_{ac} = \{s \mid \exists u_s \in \mathbb{U}\}$ l'ensemble des stations ayant été utilisées au moins une fois pendant la période d'étude. On note que $\mathbb{S}_{ac} \subset \mathbb{S}$.
- soit $\mathbb{A}_{ac} = \{a \mid \exists u_a \in \mathbb{U}\}$ l'ensemble des abonnés actif, c'est-à-dire les abonnés ayant réalisé au moins une transaction pendant la période étudiée. On note que $\mathbb{A}_{ac} \subset \mathbb{A}$.

Ensuite, plusieurs sous-ensembles peuvent être précisés pour étudier des objets particuliers :

- soit $\mathbb{U}_a = \{u_a\}$ l'ensemble des transactions réalisées par un abonné a
- soit $\mathbb{U}_{oc} = \{u_{oc}\}$ l'ensemble des transactions réalisées par un usager occasionnel oc
- soit $\mathbb{U}_v = \{u_v\}$ l'ensemble des transactions accomplies avec une bicyclette v
- soit $\mathbb{U}_s = \{u_s\}$ l'ensemble des transactions opérées sur une station s

6.2.2 Définitions des unités spatiales et temporelles

6.2.2.1 Notation d'ordre temporel

L'étude du système de vélopartage repose sur un échantillon de données couvrant une période de trois mois d'exploitation du système de juillet à septembre 2009. Or, le programme ayant été déployé pour la première fois en mai 2009, de nombreux ajustements de dernières minutes ont été effectués par l'opérateur au cours de la première saison d'activité, que nous étudions.

Par exemple, une station est située dans le voisinage du domicile d'un abonné. Pendant une journée de la période d'étude, l'opérateur a subitement ajouté deux stations dans ce même secteur. On comprend alors que l'offre de transport a triplé en l'espace d'une journée. Par conséquent, le comportement de l'abonné peut changer radicalement suite à ces modifications. Ceci illustre parfaitement le problème majeur de l'analyse de ces nouveaux systèmes de transport, puisque contrairement au transport en commun (comme les bus ou métros), l'offre varie quotidiennement. Que ce soit le nombre de stations, la capacité de celles-ci ou encore le nombre de vélos disponibles, tous ces paramètres évoluent constamment. Ceci a pour conséquence d'entraîner une très forte variation de l'univers d'étude dans notre période d'analyse, nous obligeant à utiliser des découpages temporels particulièrement fins lors du calcul des indicateurs et d'éviter toute généralisation de comportements.

De ce fait, la majorité des indicateurs a été calculée sur une base journalière pour pallier ces problèmes d'évolution d'univers. Cependant, pour des fins d'illustrations des tendances lourdes de mobilité, nous avons régulièrement procédé à des moyennes de ces indicateurs journaliers. Ces valeurs doivent alors être analysées avec prudence puisqu'elles masquent les variations quotidiennes d'activités. Il sera également illustré autant que possible les variations quotidiennes des indicateurs pour mettre l'accent sur cette notion fondamentale, propre au vélopartage.

Les notations ci-dessous, visent à préciser les unités et notations utilisées dans les différents calculs :

- Soit h la variable de temps correspondant à une heure dans une journée ($h \in [0;24]$).
- Soit j la variable correspondant à une journée d'un mois ($j \in [1;31]$).

- Soit sem la variable correspondant à une semaine de l'année ($sem \in [1;53]$). On notera qu'avec notre échantillon d'étude $sem \in [27;40]$.
- Soit m la variable correspondant à un mois de l'année ($m \in [1;12]$). On notera qu'avec notre échantillon d'étude $m \in [7;9]$.

À titre d'exemple, on notera : $\mathbb{V}_{ac}(j) = \{v | \exists u_v(j) \in \mathbb{U}\}$ le sous ensemble des vélos v ayant été utilisés au moins fois lors de la journée j de la période d'étude.

6.2.2.2 Notation d'ordre spatial

Tout comme les unités temporelles, la notion de localisation spatiale est fondamentale dans l'analyse d'un système de vélopartage. En effet, la localisation géographique d'une station peut avoir une influence cruciale sur son fonctionnement. Par exemple, une station située en haut d'une cote aura tendance à avoir un déséquilibre entre le nombre de vélos déposés par rapport au nombre de vélos empruntés. Les usagers utiliseront davantage cette station comme station de départ plutôt que station d'arrivée. Ce comportement entraîne des problèmes de redistribution des bicyclettes sur le réseau, élément au cœur du fonctionnement du système. La notion de spatialité est donc essentielle pour analyser les indicateurs du vélopartage. Dans cette étude, plusieurs cartes et graphiques illustreront autant que possible les indicateurs en fonction de la localisation spatiale des objets.

Chacune des stations a été spatialisée dans le système de coordonnées MTM NAD 83 zone 8, système généralement utilisé pour représenter la ville de Montréal. Les coordonnées des stations dans ce système de projection ont été dérivées de leur position en longitude-latitude fournie par la société BIXI. Le changement de coordonnées a été opéré pour passer à un système de coordonnées métrique permettant de calculer les distances plus facilement.

Par ailleurs, la table des transactions fournit également les codes postaux des abonnés au système. Une conversion des codes postaux des abonnés en coordonnées MTM NAD 83 zone 8 aussi été entreprise afin de localiser les abonnés dans le même système de projection que les stations. Cette conversion a permis de réaliser des analyses concernant l'accessibilité des personnes au réseau ainsi que de créer divers indicateurs pour mesurer l'activité des stations en lien avec la position des domiciles des abonnés. Notons, par ailleurs, qu'aucune information sur les usagers

occasionnels n'est disponible, c'est pourquoi ils ne seront pas inclus dans la plupart des analyses spatiales.

Finalement, malgré la quantité abondante d'information sur les déplacements, nous ne connaissons pas les trajets empruntés par les usagers. Les seules informations dont nous disposons sont les stations d'emprunts et de dépôts des vélos. Grâce à la codification spatiale des stations, il est possible de calculer les distances inter-stations. Dans le cadre de cette étude, la distance Manhattan entre les stations d'origine et destination a été calculée et sera considérée comme la distance parcourue par l'usager. Une erreur par rapport à la distance réelle de parcours est donc systématiquement commise, c'est pourquoi les distances de déplacements seront intitulées : « pseudo-distance de parcours ».

Notons aussi que la distance est nulle dans le cas des boucles (stations d'origine et de destination identiques). C'est pour cette raison que les boucles ont été exclues de l'étude lors des analyses des distances de parcours afin de ne pas réduire les valeurs des indicateurs calculés. La définition des pseudo-distances de parcours est la suivante :

- soit $(X_k; Y_k) | k \in \{s\}$ les coordonnées des stations d'origine et de destination des déplacements en mètre.
- soit $du = \frac{|X_{s_{ori}} - X_{s_{des}}| + |Y_{s_{ori}} - Y_{s_{des}}|}{1000}$ la pseudo-distance parcourue lors d'un déplacement entre deux stations S_{ori} et S_{des} (en km)

6.2.3 Définitions des indicateurs

Ce paragraphe établit les définitions mathématiques des principaux indicateurs calculés dans cette étude. Les indicateurs détaillés dans cette étude concerteront : les usagers, les stations et les vélos.

6.2.3.1 Indicateurs des usagers

6.2.3.1.1 Concept d'usagers-jour

Pendant les n_j jours d'observation, des indicateurs ont été calculés pour caractériser les usagers du système ($n_j=92$ dans notre étude):

- soit A_{ac} le nombre d'abonnés actifs sur la période d'étude ($A_{ac} = \text{Card}(\mathbb{A}_{ac})$)

- soit OC_{ac} le nombre d'usagers occasionnels sur la période d'étude ($OC_{ac} = \text{Card}(\mathbb{O}_{ac})$)
- soit USA_{ac} le nombre d'usagers actifs sur la période d'étude ($USA_{ac} = \mathbb{A}_{ac} \cup \mathbb{O}_{ac}$)

Pour pallier aux problèmes d'évolution constante des objets du système, nous sommes obligés d'opter pour un découpage temporel très fin afin d'apprécier au maximum les variations d'activités. Au lieu de se limiter au nombre total d'usagers au terme de la période d'étude, nous introduisons le concept d'usager-jour. Cette grandeur indique le nombre d'usagers présent dans le système pour un jour j donné. Par exemple, si un usager réalise deux transactions sur deux jours différents, il sera comptabilisé comme 2 abonnés-jour-actifs tandis que s'il effectue ses deux transactions lors d'une même journée, il ne comptera que pour 1 abonné-jour-actif. On peut alors définir les sous-ensembles :

- $\mathbb{A}(j) = \{a | \text{nais_a} \leq j\}$ le sous ensemble des abonnés inscrit dans le système lors de la journée j de la période d'étude.
- $\mathbb{A}_{ac}(j) = \{a | \exists u_a(j) \in \mathbb{U}\}$ le sous ensemble des abonnés ayant été actifs au moins une fois lors de la journée j de la période d'étude.
- $\mathbb{O}_{ac}(j) = \{oc | \exists u_{oc}(j) \in \mathbb{U}\}$ le sous ensemble des usagers occasionnels actifs lors de la journée j de la période d'étude.

Les indicateurs reposant sur les sous ensembles sont les suivants :

- soit $AB_{jour}(j)$ le nombre d'abonnés-jour lors de la journée j . ($AB_{jour}(j) = \text{card}(\mathbb{A}(j))$)
- soit $AB_{jour_ac}(j)$ le nombre d'abonnés-jour actif lors de la journée j . ($AB_{jour_ac}(j) = \text{card}(\mathbb{A}_{ac}(j))$)
- soit $OC_{jour}(j)$ le nombre d'usagers occasionnels-jour lors de la journée j . ($OC_{jour}(j) = \text{card}(\mathbb{O}_{ac}(j))$)
- soit $USA_{jour}(j)$ le nombre d'usagers-jour pour un jour j de la période d'étude. ($USA_{jour}(j) = \mathbb{A}_{ac}(j) \cup \mathbb{O}_{ac}(j)$)

6.2.3.1.2 Volume d'activité

Des indicateurs ont été construits pour mesurer les volumes d'activités généraux des usagers :

- soit U_a le nombre d'utilisations de l'abonné a (avec $U_a = \text{Card}(\mathbb{U}_a)$)
- soit U_{oc} le nombre d'utilisations de l'usager occasionnel oc (avec $U_{oc} = \text{Card}(\mathbb{U}_{oc})$)
- $\mathbb{U}_{a_tot} = \{u \mid \exists u_a \in \mathbb{U}\}$ l'ensemble des utilisations réalisées par les abonnés dans le système.
- $\mathbb{U}_{oc_tot} = \{oc \mid \exists u_a \in \mathbb{U}\}$ l'ensemble des utilisations réalisées par les usagers occasionnels dans le système.
- soit U_{a_tot} le nombre total d'utilisations réalisées par les abonnés ($U_{a_tot} = \text{card}(\mathbb{U}_{a_tot})$)
- soit U_{oc_tot} le nombre total d'utilisations réalisées par les usagers occasionnels ($U_{oc_tot} = \text{card}(\mathbb{U}_{oc_tot})$)
- soit U_{usa_tot} le nombre total d'utilisations réalisées par les usagers du système ($U_{usa_tot} = \mathbb{U}_{oc_tot} \cup (\mathbb{U}_{a_tot})$)

Ensuite, plusieurs indicateurs renseignent sur les niveaux d'activités par jour et par type d'usagers :

- soit $f_{usa} = \frac{U_{usa_tot}}{nj} * k \in \{1; 7; 30; 31\}$ la fréquence d'utilisation du service par les usagers du système en nombre de transactions par période de temps. Le coefficient k est introduit pour calculer des fréquences sur différents niveaux de résolution (comme les jours, les semaines, ou le mois). Généralement, on calculera des fréquences quotidiennes de déplacement (avec $k=1$ et $nj=92$) comme 4 325 transactions par jour pour tous les usagers du système.
- soit $f_a = \frac{U_a}{nj} * k \in \{1; 7; 30; 31\}$ la fréquence d'utilisation du service par l'abonné a. Par exemple : 3,2 transactions par jour pour l'abonné a.
- soit $f_{moy_usa}(j) = \frac{U_a(j) + U_{oc}(j)}{USA_{jour}(j)}$ le nombre moyen de transactions par usager lors de la journée j. Par exemple, 10,3 transactions par usager par jour. Cette fréquence peut aussi être calculée séparément pour les abonnés ou pour les usagers occasionnels en utilisant une formule similaire.

- soit $USA_{pt}(j) = \frac{USA_{jour}(j)}{Pt(j)}$ le nombre d'usagers par point d'ancrage lors d'une journée j.

Cet indicateur peut aussi être calculé pour le nombre d'abonnés et d'usagers occasionnels par point d'ancrage.

6.2.3.1.3 Les indicateurs opérationnels des déplacements

Une série d'indicateurs a été développée pour résumer les caractéristiques opérationnelles des déplacements des usagers.

Les indicateurs de durée de déplacement pour les usagers sont les suivants :

- soit $T_a = \sum t_{u_a}$ la durée totale d'emprunt de l'abonné a
- soit $T_{oc} = \sum t_{u_{oc}}$ la durée totale d'emprunt de l'usager occasionnel oc
- soit $T_{moya} = \sum \frac{T_a}{U_a}$ la durée moyenne d'emprunt de l'abonné a (en heure)
- soit $T_{moyoc} = \sum \frac{T_{oc}}{U_{oc}}$ la durée moyenne d'emprunt de l'usager occasionnel oc (en heure)
- soit $T_{mina} = \min(T_a)$ et $T_{maxa} = \max(T_a)$ les durées minimum et maximum d'emprunt de l'abonné a (en heure)
- soit $T_{minoc} = \min(T_{oc})$ et $T_{maxoc} = \max(T_{oc})$ les durées minimum et maximum d'emprunt de l'usager occasionnel oc (en heure)

Les indicateurs de pseudo-distances parcourues par les abonnés sont les suivants :

- soit $D_a = \sum_a du$ la pseudo-distance totale parcourue par l'abonné a (en km)
- soit $D_{oc} = \sum_{oc} du$ la pseudo-distance totale parcourue par l'usager occasionnel oc (en km)
- soit $D_{moya} = \sum \frac{D_a}{U_a}$ la pseudo-distance moyenne parcourue par l'abonné a (en km)
- soit $D_{moyoc} = \sum \frac{D_{oc}}{U_{oc}}$ la pseudo-distance moyenne parcourue par l'usager occasionnel (en km)
- soit $D_{mina} = \min(D_a)$ et $D_{maxa} = \max(D_a)$ les pseudo-distances minimum et maximum parcourues par l'abonné a (en km)

- soit $D_{minoc} = \min(D_{oc})$ et $D_{maxoc} = \max(D_{oc})$ les pseudo-distances minimum et maximum parcourues par l'usager occasionnel oc (en km)

Grâce à la définition de ces indicateurs, il est possible de dériver une vitesse virtuelle de déplacement :

- soit $VV_{ua} = \frac{D_{ua}}{t_{ua}}$ la vitesse virtuelle de déplacement de l'abonné a pendant un déplacement u
- soit $VV_{oc} = \frac{D_{uoc}}{t_{uoc}}$ la vitesse virtuelle de déplacement de l'usager occasionnel oc pendant un déplacement u

6.2.3.2 Indicateurs des stations

6.2.3.2.1 Concept de stations-jour

Pour les stations, il convient de préciser que nous considérons qu'une station est active lors d'une journée si au moins une opération d'emprunt ou de dépôt de bicyclette a eu lieu sur cette station. Le premier indicateur calculé permet de connaître le nombre de stations mis en service au cours de la période d'étude et le nombre d'entre elles ayant été actives.

- soit S le nombre de stations mises en service au terme de la période d'étude ($S = \text{Card}(\mathbb{S})$)
- soit S_{ac} le nombre de stations actives sur la période d'étude ($S_{ac} = \text{Card}(\mathbb{S}_{ac})$)

En plus des indicateurs généraux définissant l'état global du système au terme de la période d'étude, il est important de pouvoir mesurer les variations quotidiennes d'offre de transport. En effet, entre le premier et le dernier jour d'étude près de 94 stations ont été mis en service. Pour mesurer ces variations, le concept de stations-jour et de stations-jour actives a été développé. Ces indicateurs représentent le nombre de stations en service quotidiennement. Les indicateurs sont calculés comme suit :

- $\mathbb{S}(j) = \{s | nais_s \leq j\}$ le sous ensemble des stations existant dans le système lors de la journée j de la période d'étude.
- $\mathbb{S}_{ac}(j) = \{s | \exists u_s(j) \in \mathbb{U}\}$ le sous ensemble des stations ayant été actifs au moins une fois lors de la journée j de la période d'étude.

Les indicateurs reposant sur les sous ensembles sont les suivants :

- soit $S_{jour}(j)$ le nombre de stations-jour lors de la journée j. ($S_{jour}(j) = \text{card}(\mathbb{S}(j))$)
- soit $S_{jour_ac}(j)$ le nombre de stations-jour actives lors de la journée j. ($S_{jour_ac}(j) = \text{card}(\mathbb{S}_{ac}(j))$)

6.2.3.2.2 Volume d'activité

Chaque station dispose d'un certain nombre de points d'ancrage pour accueillir des bicyclettes. Ces points d'ancrage sont regroupés sous le terme de « capacité de la station ». La capacité sera définie par :

- soit $Cap_s(j) = \sum Pt_s(j)$ la capacité d'une station pour une journée j.

Ensuite, des indicateurs ont été construits pour mesurer les volumes d'activités généraux des usagers :

- soit U_s le nombre d'utilisations faites sur la station s
- soit Emp_s le nombre d'emprunts faits sur la station s
- soit Dep_s le nombre d'emprunts faits sur la station s
- soit Tf_{Dep_s} le nombre de vélos déposés par le personnel technique sur la station s
- soit Tf_{Emp_s} le nombre de vélos empruntés par le personnel technique sur la station s
- soit $V_s(h,j)$ le nombre de vélos stationnés à la station s à l'heure h de la journée j
- soit $f_s = \frac{U_s}{n_j} * k \in \{1; 7; 30; 31\}$ la fréquence de transactions sur la station s par période de temps.
- soit $f_{moy_s}(j) = \frac{U_a(j) + U_{oc}(j)}{S_{jour_ac}(j)} * k \in \{1; 7; 30; 31\}$ la fréquence moyenne de transactions par station active lors de la journée j.

6.2.3.2.3 Indicateurs opérationnels des stations

Pour les stations, divers indicateurs ont été développés pour suivre l'évolution de l'activité de la station en fonction du temps. Ces indicateurs sont définis de la manière suivante :

- soit $T_{ser_s} = \begin{cases} si \ nais_s \geq deb ; T_{serv_s} = 24 * (92 - nais_s) \\ si \ nais_s < deb ; T_{serv_s} = 24 * 92 = 2208 \text{ h} \end{cases}$ la durée totale de service de la station s (en station-heure).
- soit $T_{vide_s}(j)$ la durée pendant laquelle la station s a été totalement vide $V_s=0$ (en station-heure) pour le jour j.
- soit $T_{pleine_s}(j)$ la durée pendant laquelle la station s a été totalement pleine $V_s=Cap_s$ (en station-heure) pour le jour j.
- soit $f_{u_ser_s} = \frac{U_s}{T_{ser_s}}$ le nombre de transactions par heure de service sur la station s (en transactions par heure)
- soit $Pt_s(j) = \frac{Pt_{anc}(j)}{S_{jour(j)}}$ le nombre moyen de points d'ancrage par station lors d'une journée j
- soit $\Gamma_s(h,j) = \frac{V_s(h,j)}{Cap_s(h,j)}$ le taux de remplissage de la station s à l'heure h de la journée j (en %). Ce taux représente le nombre de points d'ancrage de la station s occupés par une bicyclette.
- soit $V_{Tot_s}(j) = \frac{V_{jour(j)}}{S_{jour(j)}}$ le nombre de vélos par station pour une journée j.

6.2.3.2.4 Indicateurs des abonnés et des stations

Dans cette étude, une partie se consacre à l'étude des relations entre les usagers et les stations. Pour analyser ces relations, le premier indicateur construit est l'usager-station. Cet indicateur correspond au nombre d'usagers différents ayant utilisé une station. Dans le cas des usagers-station, une personne est comptabilisée plusieurs fois suivant les stations qu'elle a visitées, tandis que les usagers-jour ne sont comptabilisés qu'une seule fois lorsqu'ils sont actifs dans la journée. Par exemple, un usager emprunte une première bicyclette à la station 5 qu'il dépose à la station 48. Il emprunte ensuite une seconde bicyclette à la station 225 qu'il dépose à la station 149. Cet usager comptera alors pour 4 usagers-station puisqu'il a visité quatre stations différentes. Autrement dit, chacune des quatre stations a vu un usager supplémentaire l'utiliser. S'il avait déposé le second vélo à la station 48, il n'aurait compté que pour 3 usagers-station. Enfin, précisons que le comptage est effectué pour chaque jour. C'est pourquoi, si l'usager visite la

station 48 trois jours consécutifs, il sera comptabilisé pour chacune des journées comme un usager-station. Ces indicateurs sont alors définis comme suit :

- $\mathbb{A}_s(j) = \{a | \exists u_s(j) \in \mathbb{U}\}$ le sous ensemble des abonnés ayant utilisé la station s pendant la journée j.
- $\mathbb{O}_{ac_s}(j) = \{oc | \exists u_s(j) \in \mathbb{U}\}$ le sous ensemble des usagers occasionnels ayant utilisé la station s pendant la journée j.
- soit $A_s(j)$ le nombre d'abonnés ayant utilisé la station s lors de la journée j (en abonné-station) ($A_s(j) = \text{card}(\mathbb{A}_s(j))$)
- soit Oc_s le nombre d'usagers occasionnels ayant utilisé la station s lors de la journée j (en usager-occasionnel-station) ($Oc_s(j) = \text{card}(\mathbb{O}_{ac_s}(j))$)
- soit $USA_s(j) = (\mathbb{A}_s(j)) \cup (\mathbb{O}_{ac_s}(j))$ le nombre d'usagers ayant utilisé la station s (en usager-station)

Des analyses plus approfondies permettront de mesurer l'influence des abonnés à proximité d'une station sur les niveaux d'activités de celle-ci. Pour ce faire, la distance domicile-station doit être calculée. Le calcul de ces distances a été réalisé avec ArcGIS, c'est pourquoi les distances calculées ne sont plus les distances Manhattan, mais les distances Euclidiennes définies par :

- soit $(X_k; Y_k) | k \in \{s; a\}$ les coordonnées des stations et des domiciles des abonnés (en mètre).
- soit $d_{a_s} = \frac{\sqrt{(X_s - X_a)^2 + (Y_s - Y_a)^2}}{1000}$ la distance entre le domicile de l'abonné a et la station s (en km)
- soit $d_{a_s_moy} = \frac{\sum_a d_{a_s}}{A_s}$ la distance moyenne entre le domicile des abonnés et les stations les plus proches (en km).

Suite au calcul de cette distance, il est possible de déterminer avec ArcGIS la station la plus proche du domicile de l'abonné qui sera définie par :

- soit $SP_a = \min(d_{a_s})$ la station la plus proche du domicile de l'abonné a

De plus, le potentiel d'attraction des stations sera estimé avec deux indicateurs :

- soit $A_{s_r} = \sum_{d_{s,a}=0}^{d_{s,a}=r} a$ le nombre d'abonnés dont le domicile est situé dans un rayon r autour d'une station s .
- $\mathbb{A}_{\text{sp}} = \{a | \exists SP_a = s\}$ le sous ensemble des abonnés dont s est la station la plus proche du domicile.
- soit A_{sp} le nombre d'abonnés dont s est la station la plus proche du domicile ($A_{sp} = \text{Card}(\mathbb{A}_{\text{sp}})$)

Finalement, le dernier indicateur calculé permet de mesurer l'influence du déploiement sur le niveau d'abonnement des usagers :

- soit $date_{a_s} = nais_a_{d_{a,s} \leq r} - nais_s$ le nombre de jours entre l'abonnement de l'abonné, dont le domicile est situé dans un rayon maximal de r autour de la station, et la station s

6.2.3.3 Indicateurs des vélos

Pour les vélos, un problème majeur apparaît étant donné qu'aucune table de données ne fournit d'information sur le nombre de vélos en service quotidiennement. Ceci nous oblige à poser une hypothèse pour déterminer ce volume de vélos. L'hypothèse établie veut que le nombre de vélos stationnés à 4h du matin soit égal au nombre de bicyclettes en service pour la journée. Cette hypothèse repose sur le fait que c'est statistiquement à 4h du matin qu'il y a le moins de transactions effectuées et, par le fait même, le maximum de vélos stationnés. Ceci permet d'obtenir une valeur représentative de l'offre pour la journée.

Cependant, cette hypothèse induit deux biais majeurs. D'une part, aucun des vélos en déplacement à 4h du matin n'est considéré comme étant en service pour la journée. Comme la majorité des transferts ont lieu pendant la nuit, le biais peut s'avérer beaucoup plus important pour certains jours où les transferts ont été plus nombreux. D'autre part, l'hypothèse retenue inclut l'ensemble des vélos hors d'usage encore stationnés à une station. Ainsi, ce manque d'information peut avoir tendance à sous-estimer ou surestimer certains indicateurs suivant les journées d'étude.

6.2.3.3.1 Concept de vélos-jour

Les indicateurs développés pour les vélos sont sensiblement similaires à ceux des usagers. Par conséquent, le concept de vélo-jour est aussi introduit. De façon analogue aux usagers et aux stations, cette notion comptabilise les vélos en service lors d'une journée j . Deux indicateurs seront calculés en tenant compte de l'activité des vélos pendant la journée. Un vélo en service sur le réseau pendant 2 jours représentera 2 vélos-jour. Cependant, s'il n'a été emprunté qu'une seule fois sur les deux jours, il correspondra à 1 vélo-jour actif.

Les sous-ensembles ont alors été définis comme suit :

- $\mathbb{V}(j)$ représente l'ensemble des vélos stationnés à 4h du matin lors d'une journée j de la période d'étude.
- $\mathbb{V}_{ac}(j) = \{v | \exists u_v(j) \in \mathbb{U}\}$ le sous ensemble des vélos ayant été actifs au moins fois lors de la journée j de la période d'étude.

Sur la période nj d'étude, les indicateurs calculés sont les suivants ($nj=92$) :

- soit $V_{jour}(j)$ le nombre de vélos-jour pour un jour j de la période d'étude ($V_{jour}(j) = \text{Card}(\mathbb{V}(j))$)
- soit $V_{jour_ac}(j)$ le nombre de vélos-jour actifs pour un jour j de la période d'étude ($V_{jour_ac}(j) = \text{Card}(\mathbb{V}_{ac}(j))$)

6.2.3.3.2 Volume d'activité

Une série d'indicateurs a été développée permettant de résumer les caractéristiques opérationnelles des vélos :

- soit U_v le nombre d'utilisations observées sur le vélo v ($U_v = \text{Card}(\mathbb{U}_v)$)
- soit $\mathbb{A}_v = \{a | \exists u_v \in \mathbb{U}\}$ le nombre d'abonnés ayant emprunté le vélo v
- soit $\mathbb{O}_v = \{oc | \exists u_v \in \mathbb{U}\}$ le nombre d'usagers occasionnels ayant emprunté le vélo v
- soit $USA_v = \text{card}(\mathbb{A}_v) \cup \text{card}(\mathbb{O}_v)$ le nombre d'usagers ayant emprunté le vélo v
- soit V_s le nombre de stations visitées par le vélo v
- soit $f_v = \frac{U_v}{nj} * k \in \{1; 7; 30; 31\}$ la fréquence d'utilisation du vélo v par période de temps.

- soit $f_{moyv}(j) = \frac{U_a(j) + U_{oc}(j)}{V_{jour}}$ le nombre moyen de transactions par vélo pour la journée j d'étude.

6.2.3.3.3 Indicateurs opérationnels des vélos

Les indicateurs de durée pour les vélos sont les suivants :

- soit $T_v = \sum \frac{tu_v}{3600}$ la durée totale d'utilisation du vélo v (en vélo-heure)
- soit $T_{moyv} = \sum \frac{T_v}{U_v}$ la durée moyenne d'utilisation du vélo v (en vélo-heure)
- soit $T_{minv} = \min(T_v)$ et $T_{maxv} = \max(T_v)$ les durées minimum et maximum d'utilisation du vélo v (en vélo-heure)

Les indicateurs de distance parcourue pour les vélos sont les suivants :

- soit $D_v = \sum_{u_v} du$ la pseudo-distance totale parcourue par le vélo v (en vélo-km)
- soit $D_{moyv} = \sum \frac{D_v}{U_v}$ la pseudo-distance moyenne parcourue par le vélo v (en vélo-km)
- soit $D_{minv} = \min(D_v)$ et $D_{maxv} = \max(D_v)$ les pseudo-distances minimum et maximum parcourues par le vélo v (en vélo-km)

Trois autres indicateurs opérationnels ont été calculés pour évaluer la performance des vélos sur le réseau :

- soit $Pt_v(j) = \frac{Pt_{anc}(j)}{V_{jour}(j)}$ le nombre de points d'ancrage par vélo lors d'une journée j
- soit $AB_v(j) = \frac{AB_{jour}(j)}{V_{jour}(j)}$ le nombre d'abonnés par vélo lors d'une journée j
- soit $Tf_v = \sum_{i=1}^{92} Tf_v(i)$ le nombre de transferts du vélo v pour la période d'étude.

6.2.3.3.4 Temps de service et taux d'utilisation des vélos

Les indicateurs concernant les temps de service pour les vélos sont les suivants :

- soit $T_{ser_v} = nais_v * 24 - Tf_v$ la durée totale de service du vélo v (en vélo-heure).
Le temps de service contient la somme du temps pendant lequel une bicyclette est

disponible pour les usagers moins le temps de transfert puisque les bicyclettes ne sont pas accessibles aux clients pendant ces périodes.

- soit $T_{rv} = \sum \frac{tu_v}{3600}$ la durée totale d'utilisation (roulée) du vélo v (en vélo-heure)
- soit $T_{stv} = T_{ser_v} - T_{rv}$ la durée totale de stationnement du vélo v (en vélo-heure)
- soit $\Gamma_v = \frac{T_{rv}}{T_{ser_v}}$ le taux d'utilisation du vélo v (en %). Ce taux exprime le pourcentage du temps pendant lequel le vélo a été emprunté par un usage par rapport au temps de service du vélo. Par ailleurs, ce taux a été calculé pour deux plages temporelles : sur 24h et entre 7h et 21h.

6.3 Résumé

La méthodologie d'analyse du système de vélopartage BIXI a été présentée dans ce chapitre. Dans un premier temps, il a été exposé les différents types d'analyses proposées dans cette recherche. Dans un second temps, nous avons défini les grands ensembles ainsi que les indicateurs développés pour caractériser les trois objets du système. Les chapitres suivants vont alors décrire les résultats obtenus au cours de cette recherche sur les trois mois d'exploitation du système BIXI entre juillet et septembre 2009.

CHAPITRE 7 ANALYSE DESCRIPTIVE DU SYSTÈME DE VÉLOPARTAGE BIXI

Le programme de vélopartage BIXI a été mis en service au mois de mai 2009. Pendant toute la première saison d'exploitation (jusqu'à mi-décembre 2009), le programme a connu un essor considérable tant au point de vue de l'offre avec l'augmentation du nombre de stations et bicyclettes disponibles qu'au niveau de la demande avec un nombre toujours plus important d'abonnés et d'usagers occasionnels. Cependant, bien que le service ait reçu un franc succès au cours de la première année d'exploitation, plusieurs questions demeurent : est-ce que la hausse d'activité est constante ? Qui sont les principaux utilisateurs du système ? La demande est-elle identique au cours d'une semaine ? Quelles sont les caractéristiques des déplacements (au niveau des distances, durées et lieux) ? etc. Cette étude va répondre à certaines interrogations concernant l'exploitation du système et s'attardera à définir chacun des objets composant le programme de vélopartage de Montréal. Rappelons que les principaux indicateurs seront calculés sur une base journalière (unité-jour) afin d'évaluer précisément la croissance au cours du temps.

7.1 Croissances et évolutions des principaux objets

Tout d'abord, il paraît intéressant de quantifier les objets au terme de la période d'étude (Tableau 7-1). Ainsi, le 30 septembre 2009, le réseau est constitué de 369 stations (\mathbb{S}) représentant une capacité de 6 518 points d'ancrage (\mathbb{P}) et près de 4 397 vélos (\mathbb{V}_{ac}) ont fait l'objet d'au moins une transaction. Le nombre d'abonnés ayant réalisé au moins une transaction dans le système depuis leur inscription s'élève à 8 833 (\mathbb{A}) tandis que l'on recense 89 867 (\mathbb{O}_{ac}) usagers occasionnels.

Maintenant, concernant les objets actifs, près de 640 014 transactions (\mathbb{U}) ont été réalisées pendant la période d'étude (57,9 % des transactions totales de la saison 2009). Le nombre d'abonnés actifs, ayant effectué une opération pendant la période d'étude, est de 8 634, soit 97,7 % des abonnés au système. De même, 67,9 % des usagers occasionnels ayant réservé une bicyclette du programme l'ont fait au cours de la période d'étude. Les usagers ont utilisé 4 397 bicyclettes différentes et l'ensemble des 369 stations du réseau ont fait l'objet d'au moins une opération pendant ces trois mois.

Durant les trois mois d'analyse, le nombre d'abonnés est passé de 4755 à 8850 (+86 %), soit un taux de croissance de l'ordre de 38,9 nouveaux abonnés par jour d'exploitation (Figure 7-1). Pour les usagers occasionnels, le taux de croissance est encore plus important avec en moyenne 571,0 nouveaux usagers occasionnels par jour.

Tableau 7-1 : Bilan des indicateurs sur les objets du système le 30 septembre 2009

Objets	
Nombre de stations	369
Nombre de points d'ancrage	6 518
Nombre d'abonnés	8 833
Nombre d'usagers occasionnels	89 867
Objets actifs	
Nombre de transactions	640 014
Nombre de transactions par les abonnés	434 117
Nombre de transactions par les usagers occasionnels	205 897
Nombre abonnés actifs	8 634
Usagers occasionnels actifs	61 055
Nombre de stations actives	369
Nombre de vélos actifs	4 397
Caractéristiques des déplacements	
Km totaux parcourus	1 419 210
Km totaux parcourus par les abonnés	963 752
Km totaux parcourus par les usagers occasionnels	455 458
Durée totale d'utilisation (heures)	182 369
Durée totale d'utilisation par les abonnés (heures)	84 828
Durée totale d'utilisation par les usagers occa. (heures)	97 541

D'après le nombre de bicyclettes stationnées dans le réseau à 4 heures du matin, il apparaît que les vélos ont suivi un taux de croissance de l'ordre de 22 nouvelles bicyclettes par jour.

Finalement, pour ce qui est des stations, le nombre de stations est relativement stable pendant les trois premières semaines de juillet, puis 17 nouvelles stations sont instaurées. Par la suite, à partir de mi-août, la seconde phase de déploiement est réalisée, d'où un taux de croissance moyen de 2,3 nouvelles stations par jour.

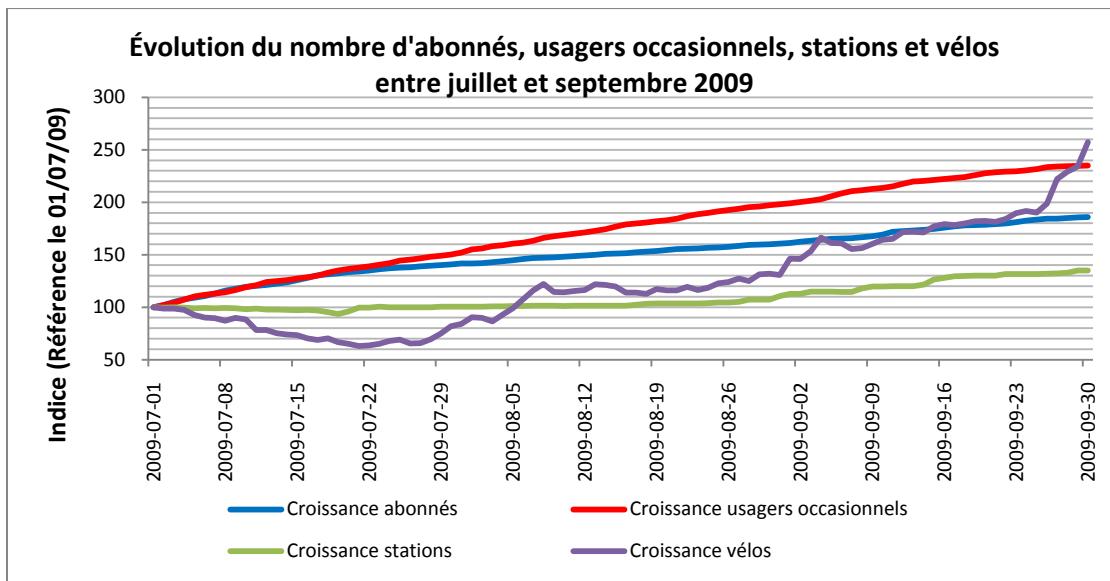


Figure 7-1 : Évolution du nombre d'abonnés, usagers occasionnels, stations et vélos

Comme pour d'autres systèmes de transport, plusieurs ratios permettent de mesurer le niveau d'utilisation du service. Pour le vélopartage, trois ratios ont été calculés : le nombre d'abonnés par vélo, le nombre de points d'ancrage par station et le nombre de points d'ancrage par vélo (Figure 7-2). L'analyse longitudinale de ces ratios, si on fait abstraction des variations ponctuelles sur des intervalles temporels très courts, révèle que :

- **Nombre d'abonnés par vélo ($AB_v(j)$)**: ce ratio permet d'évaluer l'écart entre l'offre et la demande. Ce ratio varie entre 3,27 et 5,71 (écart type $\pm 1,22$) pendant la période d'étude, avec une moyenne de 4,49 abonnés par vélo. Toutefois, en ne considérant que les abonnés actifs, le ratio tombe à 1,48 abonné par vélo en moyenne (écart type $\pm 0,56$). Finalement, en incluant les usagers occasionnels, le ratio augmente à 2,30 personnes actives par bicyclette (écart type $\pm 0,82$).
- **Nombre de points d'ancrage par station ($Pt_s(j)$)** : ce ratio indique la capacité moyenne des stations et permet de mesurer le niveau d'accessibilité au service pour les usagers (plus la taille des stations est importante plus il y a de chance que des vélos ou points d'ancrage soient disponibles). Ce ratio varie entre 11,5 en début juillet et 17,7 à la fin du mois de septembre (écart type $\pm 1,54$). Plusieurs autres informations sur ce ratio sont indiquées lors de la caractérisation des stations.

- **Nombre de points d'ancrage par vélo ($Pt_v(j)$)**: ce ratio permet d'évaluer la facilité pour un usager à trouver une place pour déposer sa bicyclette. Ce ratio décroît légèrement au cours de la période d'étude du fait de l'augmentation significative du nombre de bicyclettes sur le réseau. Initialement, le ratio est de 2,25 points d'ancrage par bicyclette le 1^{er} juillet contre 1,80 en fin de période d'étude. On note un pic à 3,69 points d'ancrage par vélos le 27 juillet 2009. Ce ratio est largement supérieur à ceux rencontrés dans d'autres systèmes : 1,73 à Lyon, 1,56 à Rennes, 1,2 à Oslo, 1,56 à Prague (Beroud, 2007).

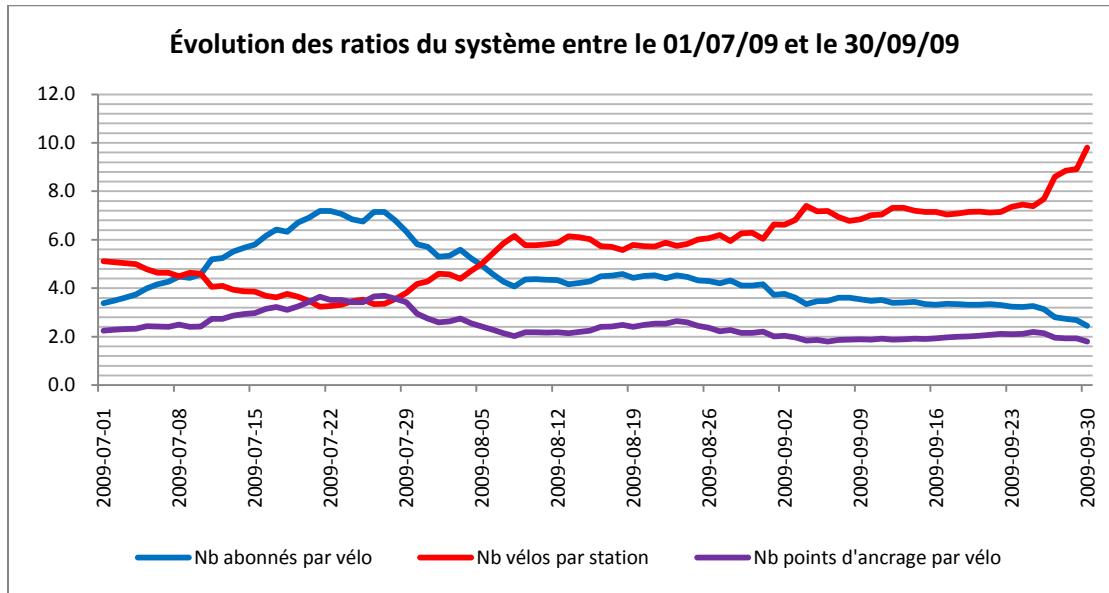


Figure 7-2 : Évolution des ratios d'abonnés par vélo, de vélos par station et de points d'ancrage par station

7.2 Caractéristiques et évolution des usagers

Les usagers sont l'un des trois principaux objets du système de vélopartage. Cette section vise à mettre en avant les distinctions de comportements entre ces deux types de clientèle. Il faut remarquer que pour les usagers occasionnels nous ne disposons d'aucune information particulière sur leurs profils et lieux de résidence, c'est pourquoi plusieurs analyses ne concerneront que les abonnés.

7.2.1 Nombre d'usagers-jour dans le système

Les premiers indicateurs calculés pour mesurer l'évolution de l'activité des usagers sont les usagers-jour, abonnés-jour et usagers-occasionnels-jour. Pendant les 92 jours d'étude, on recense

327 409 usagers-jour, dont 213 096 abonnés-jour (65,1 %) et 114 313 usagers-occasionnels-jour (34,9 %). L'activité du système est telle que l'on dénombre quotidiennement en moyenne 2 316 abonnés-jour (écart-type $\pm 555,6$) et 1 243 usagers-occasionnels-jour (écart-type $\pm 395,2$). Par ailleurs, les abonnés-jour peuvent être subdivisés suivant les genres : 145 105 abonnés-hommes-jour (68,1 %) et 67 991 (31,9 %) abonnées-femmes-jour.

Finalement, l'observation de l'évolution de l'activité des usagers au cours de la période d'étude permet de faire plusieurs constats (Figure 7-3). D'une part, l'activité des abonnés et usagers occasionnels semble s'opposer puisque les abonnés apparaissent comme étant principalement actifs pendant la semaine et inactifs en fin de semaine tandis que l'inverse est relevé pour les usagers occasionnels. D'autre part, l'activité des abonnés s'intensifie au cours de la saison avec une amplitude de variation plus importante alors qu'elle décroît pour les usagers occasionnels. Une description approfondie de ces comportements sera présentée dans les paragraphes suivants.

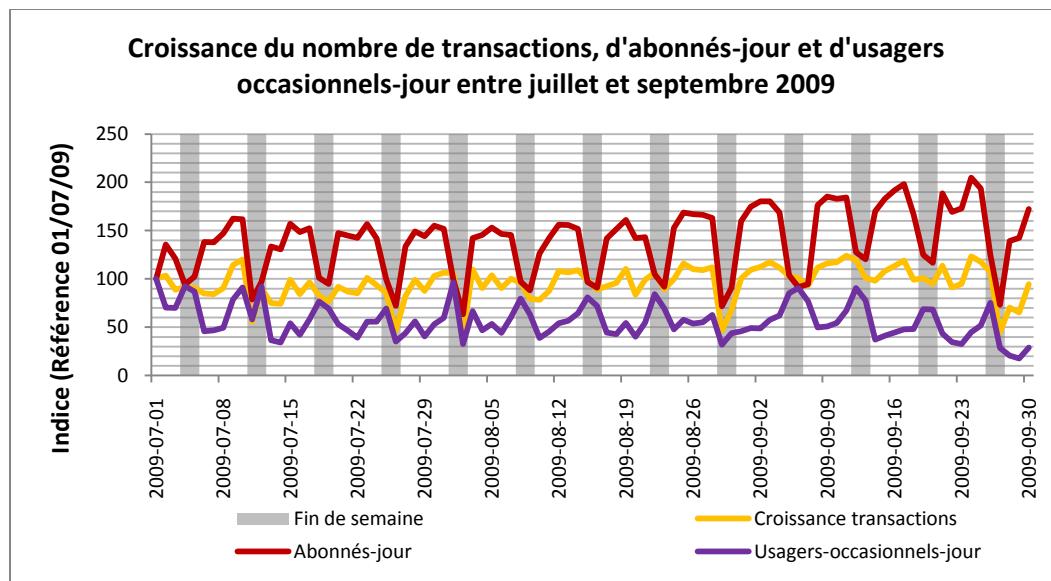


Figure 7-3 : Évolution du nombre de transactions, du nombre d'usagers actifs et du nombre de vélos actifs

7.2.2 Profils sociodémographiques et répartition spatiale des abonnés

7.2.2.1 Profils sociodémographiques des abonnés

Grâce aux informations contenues dans la table de données des transactions, il est possible de dresser le portrait des abonnés du système BIXI. Le Tableau 7-2 présente les principales caractéristiques des différentes populations et plusieurs constats peuvent être énoncés.

Tout d'abord, que ce soit les cyclistes de l'île Montréal (cyclistes réguliers) ou ceux de BIXI, on remarque une disproportion entre les genres : 63,4 % des abonnés BIXI et 64,1 % des cyclistes de l'île de Montréal sont des hommes alors qu'ils ne comptent que pour 48,1 % de la population totale. Soulignons que les proportions entre les genres pour les cyclistes réguliers et les cyclistes BIXI sont très comparables. Ces taux sont également très similaires à ceux rencontrés dans les autres programmes de vélopartage (paragraphe 2.4.9).

Tableau 7-2: Comparaison des profils des la population de Montréal et des abonnés BIXI

INDICATEURS	Enquête OD 2008 (île de Montréal)	Cyclistes Enquête OD (2008)	Abonnés BIXI
Nombre d'hommes (+ 15 ans)	892 400 (48,1 %)	19 090 (65,2 %)	5 472 (63,4 %)
Nombre de femmes (+15 ans)	962 000 (51,9 %)	10 205 (34,8 %)	3 162 (36,6 %)
Ratio homme/femme	0.93	1.87	1.73
Âge moyen	37.9	36.7	34.0
Âge moyen des hommes	40.8	37.3	34.5
Âge moyen des femmes	39.4	35.4	33.1
Homme le plus âgé	99	82	71
Femme la plus âgée	99	76	69

Ensuite, les abonnés au système BIXI sont particulièrement jeunes puisqu'ils sont âgés en moyenne de 34,0 ans. La moyenne d'âge chez les femmes (33,1 ans) est plus faible que celle des hommes (34,5 ans). À titre de comparaison, les cyclistes réguliers ont un âge moyen de 36,7 ans et celui de la population totale est de 37,9 ans. L'âge distingue alors les cyclistes réguliers de ceux du programme de vélopartage. Encore une fois, les taux sont très similaires à ceux rencontrés dans les autres programmes de vélopartage (paragraphe 2.4.9).

La comparaison des démographies des abonnés BIXI avec les résidents de Montréal et les cyclistes réguliers est présentée sur la Figure 7-4. Pour les abonnés BIXI hommes, on note une surreprésentation des cohortes de 25 à 39 ans puisqu'ils représentent 57,2 % des abonnés hommes alors qu'ils ne comptent que pour 28,6 % de la population homme. En revanche, les abonnés BIXI hommes de plus de 50 ans sont sous-représentés comparativement à la population totale.

Pour les abonnées BIXI femmes, le constat est similaire à celui des hommes, à savoir que les femmes de 25 à 35 ans (59,7 % des abonnées femmes) sont surreprésentées par rapport à la population totale (25,9 % de la population totale des femmes) tandis que les femmes de plus de 40 ans sont sous-représentées comparativement à la population totale.

Finalement, en comparant avec les cyclistes réguliers, on remarque pour les abonnés BIXI hommes une sous-représentation des cohortes de moins de 25 ans tout comme les cohortes de plus de 40 ans. À l'inverse, les abonnés entre 25 et 39 ans sont surreprésentés. Pour les abonnées femmes, on note une surreprésentation de toutes les cohortes d'âge jusqu'à 40 ans puis une sous-représentation.

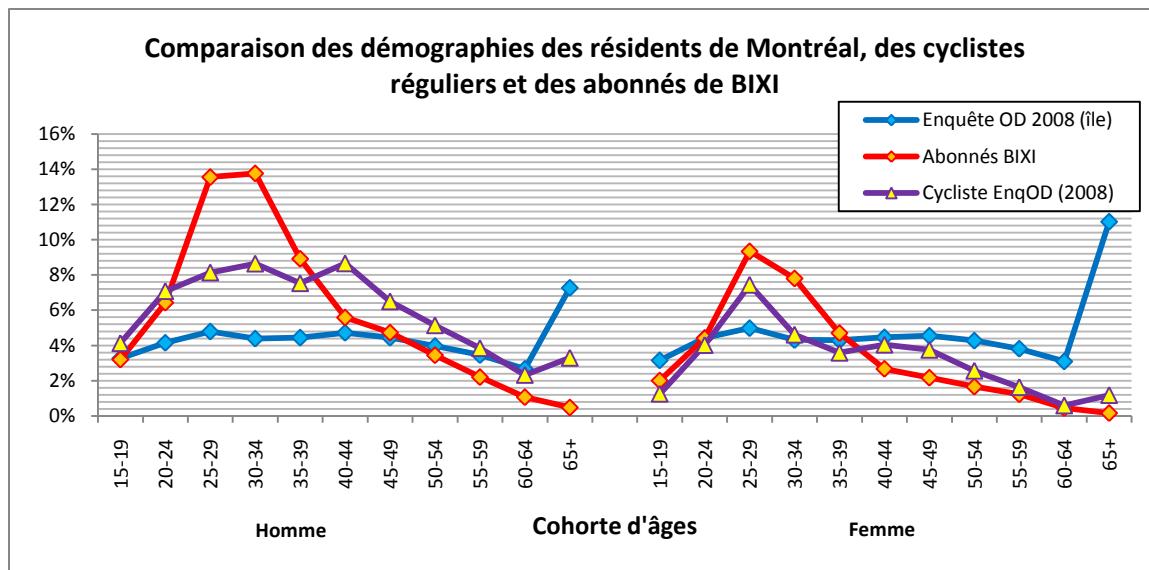


Figure 7-4 : Comparaison des démographies des résidents de Montréal, des cyclistes de Montréal et des abonnés BIXI

7.2.2.2 Répartition spatiale des abonnés

La localisation spatiale des abonnés permet d'observer une très grande similarité dans les dispersions spatiales de ces deux types de cyclistes. Une différence notable peut toutefois être relevée pour le secteur municipal du centre-ville, pour lequel on recense une proportion comparable d'abonnés BIXI par rapport aux secteurs comme Plateau-Mont-Royal et Villeray. En revanche, la proportion de cyclistes réguliers résidant dans ce secteur est beaucoup plus faible que celle des secteurs Plateau-Mont-Royal et Villeray (Figure 7-5).

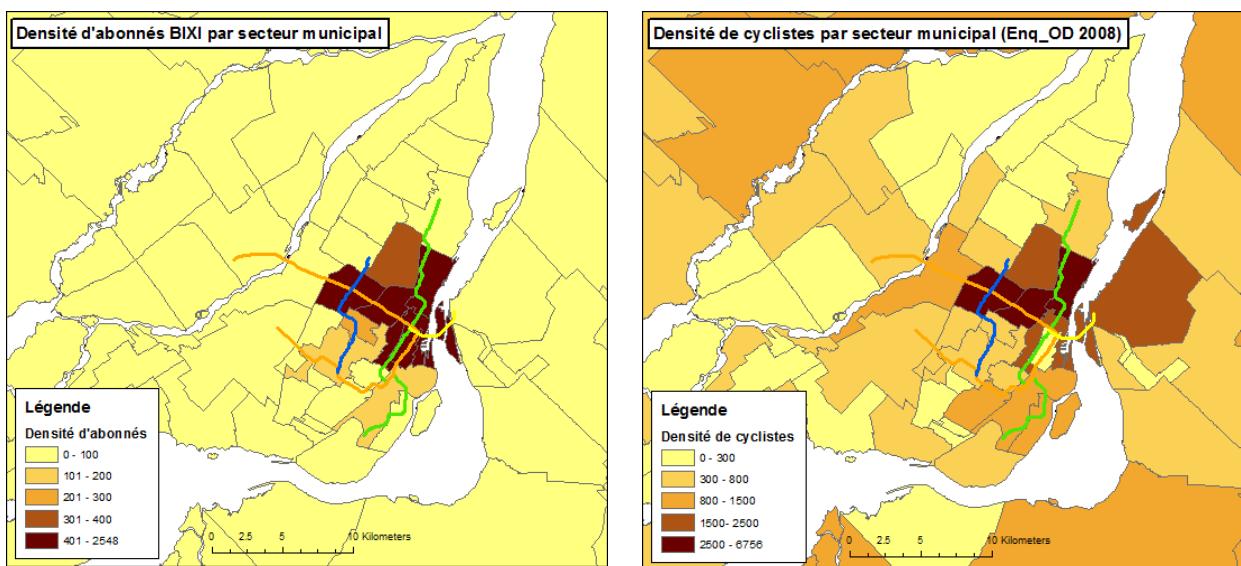


Figure 7-5 : Comparaison des densités de cyclistes et d'abonnés selon les secteurs municipaux

De plus, il existe une forte corrélation entre la zone de déploiement du programme et les lieux de domicile des abonnés. Près de 86,1 % des abonnés ont leur domicile à moins de 500 mètres d'une station et 93,5 % à moins de 5 kilomètres. Ce taux est similaire à ce qui a été constaté dans les différents programmes de vélopartage (paragraphe 2.4.9). Il est alors possible de supposer que la présence d'une station a un impact sur l'abonnement des personnes dans un quartier et les niveaux d'activité des stations. Ces hypothèses seront étudiées plus en détails au paragraphe 7.3.3.

7.2.3 Comportements de mobilités des différents types d'usagers

7.2.3.1 Volume de transactions

Pendant ces trois mois d'étude, les 8 634 abonnés actifs (\mathbb{A}_{ac}) et les 61 055 usagers occasionnels (\mathbb{O}_{ac}) ont accomplies 640 014 transactions (\mathbb{U}), dont 19 003 de moins de deux minutes (3,0 %) (Tableau 7-3). Ceci représente un taux journalier de l'ordre de 6 957 transactions (écart-type \pm 1 269,4). L'ensemble des déplacements représente une distance totale de près de 1 419 210 kilomètres pour une durée totale d'utilisation de l'ordre de 182 369 heures.

Plus précisément, les abonnés actifs sont responsables de 67,8 % des transactions, parcouruent 67,9 % de la distance totale alors qu'ils ne consomment que 46,5 % du temps total d'utilisation. On remarquera que 199 abonnés (2,3 %) n'ont pas réalisé de transactions pendant la période d'étude. À l'inverse, les usagers occasionnels effectuent 47,3 % des transactions pour parcourir 47,0 % de la distance totale pendant une durée totale d'utilisation de près de 97 541 heures (53,5 %). Ainsi, une première distinction apparaît entre les usagers puisque les abonnés semblent se déplacer plus rapidement que les usagers occasionnels et sur des distances plus importantes (cette distinction sera présentée plus en détails dans les paragraphes 7.5.2 et 7.5.3).

Tableau 7-3 : Indicateurs des volumes de transactions entre juillet et septembre 2009

INDICATEURS	Valeur	(%)
Nb transactions abonnés actifs	434 117	67.8 %
Nb transactions hommes actifs	302 892	47.3 %
Nb transactions femmes actives	131 225	20.5 %
Nb transactions usagers occasionnels	205 897	32.2 %
Nb moy transactions journalières/ abonnés	2.03	—
Nb moy transactions journalières / abonnés hommes	2.08	—
Nb moy transactions journalières / abonnés femmes	1.93	—
Nb moy transactions journalières / usagers occasionnels	1.79	—
Distance totale parcourue abonnés actifs	963 752	67.9 %
Distance totale parcourue abonnés actifs hommes	666 385	47.0 %
Distance totale parcourue abonnées actives femmes	297 367	21.0 %
Distance totale parcourue usagers occasionnels	455 458	32.1 %
Durée totale emprunt abonnés actifs	84 828	46.5 %
Durée totale emprunt abonnés actifs hommes	56 502	31.0 %
Durée totale emprunt abonnées actives femmes	28 326	15.5 %
Durée totale emprunt usagers occasionnels	97 541	53.5 %

De plus, afin d'illustrer les niveaux d'utilisation des usagers du système BIXI, la courbe de Lorenz est adaptée au système BIXI (Figure 7-6). Cette figure permet de mesurer la disproportion entre les différents composants du système et les déplacements accomplis. Il est alors possible de visualiser que :

- 19,4 % des abonnés (les plus actifs) effectuent 50,0 % des transactions (des abonnés)
- 15,3 % des usagers occasionnels (les plus actifs) réalisent 50,0 % des transactions (des usagers occasionnels)
- 50,0 % des abonnés (les plus actifs) accomplissent 84,0 % des transactions (des abonnés)
- 50,0 % des usagers occasionnels (les plus actifs) opèrent 81,8 % des transactions (des usagers occasionnels)

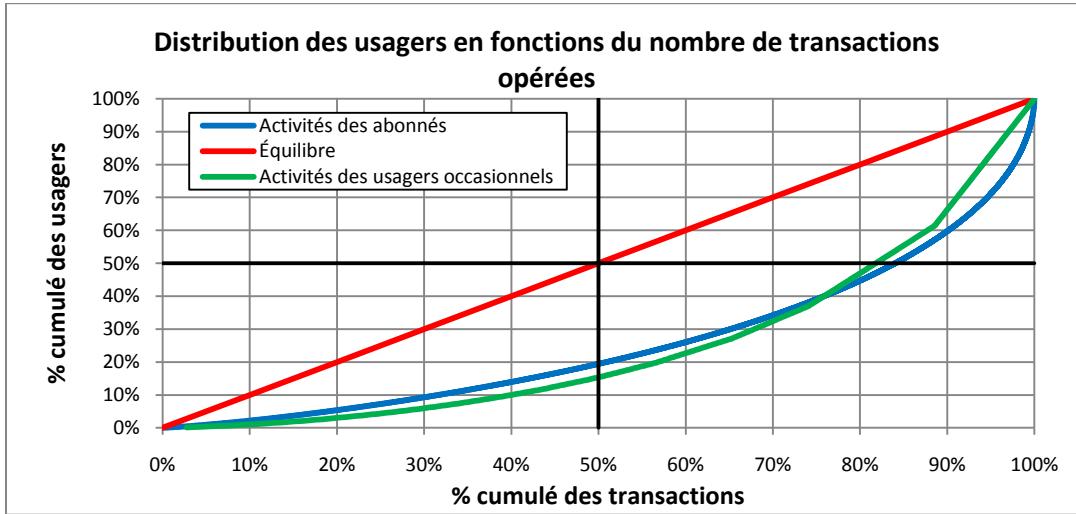


Figure 7-6 : Proportion des déplacements en fonction de la proportion des abonnés et usagers occasionnels

Ces résultats illustrent les disparités de niveau d'utilisation du système. Certains usagers sont très actifs dans le système puisque moins de 50,0 % des abonnés réalisent plus de 84,0 % des transactions. Ceci signifie que l'autre moitié des abonnés n'effectuent que 16,0 % du volume de transactions. L'abonné le plus actif a réalisé 428 transactions.

En outre, le résultat obtenu pour les usagers occasionnels est particulièrement surprenant étant donné que les personnes doivent payer pour chaque utilisation. En effet, le fait que 15,3 % des usagers occasionnels réalisent 50,0 % des transactions signifie en valeur numérique que 9 341

usagers occasionnels effectuent 102 948 transactions, soit près de 11,0 transactions par usager occasionnel. Ce taux semble particulièrement élevé, mais l'hypothèse suivante pourrait expliquer un tel phénomène : dans le système BIXI, il est possible pour un usager occasionnel d'emprunter deux bicyclettes avec une même carte de crédit pour une durée de 24h. Cette autorisation pourrait masquer une partie des comportements réels de mobilité. Par exemple, deux usagers décident d'avoir recours au système BIXI. Arrivés à la borne transactionnelle, ils choisissent de n'utiliser qu'une seule carte de crédit pour procéder à l'emprunt des vélos. Au terme de leur premier trajet, ils reposent les vélos dans une station. Ils peuvent alors réemprunter de nouvelles bicyclettes dès qu'ils le souhaitent étant donné qu'ils ont accès au service pour 24h. Or, au moment de la libération des bicyclettes, deux transactions sont enregistrées dans la base de données des transactions pour un même identifiant de carte bancaire. Si les personnes réempruntent deux bicyclettes, ce sera alors quatre transactions qui seront attribuées à un seul identifiant de carte de crédit et ainsi de suite. Ceci pourrait être une explication des niveaux particulièrement élevés des taux d'utilisation de certains usagers occasionnels.

7.2.3.2 Fréquence de déplacements

Le nombre de déplacements par abonné est assez stable dans le temps avec une moyenne de 0,99 déplacement par abonné par jour (écart-type $\pm 0,21$). En n'incluant que les abonnés actifs, le taux est de 2,03 déplacements par abonné actif par jour (écart-type $\pm 0,10$). Par ailleurs, on note une très faible distinction entre les hommes et les femmes au niveau du nombre de déplacements par abonné par jour avec une moyenne de 2,08 transactions par jour pour les hommes (écart-type $\pm 0,10$) contre une moyenne de 1,93 transaction par jour pour les femmes (écart-type $\pm 0,10$). En revanche, l'écart est plus significatif avec les usagers occasionnels dont la moyenne est de 1,79 transaction par jour et par usager (écart-type $\pm 0,18$). Pour les usagers occasionnels, on remarque une légère évolution entre le début du mois de juillet (1,59 transaction par usager occasionnel par jour au plus bas) avant de se stabiliser autour de 1,86 déplacement par usager occasionnel pour les deux mois suivants (Figure 7-7). L'étude des distributions des déplacements en fonction des jours et de l'heure sera présentée au paragraphe 7.5.1.

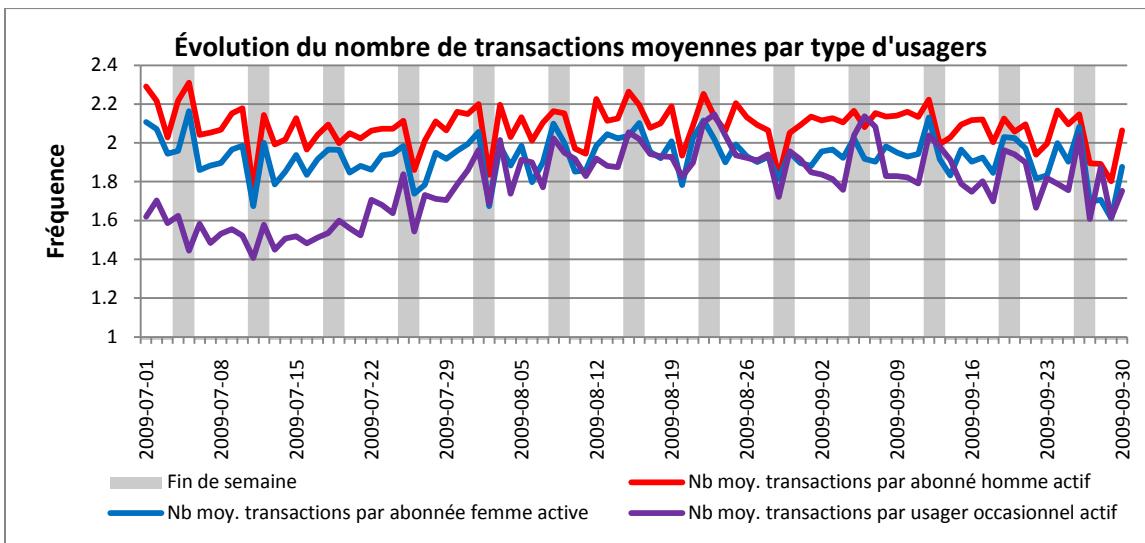


Figure 7-7 : Évolution de la fréquence de déplacement par usager entre juillet et septembre 2009

La distribution des fréquences de déplacements permet de constater des inégalités au niveau de l'utilisation du système par les différents types de clientèles (Figure 7-8). Il apparaît alors une distinction majeure entre les abonnés au système et les usagers occasionnels. En effet, seulement 15,4 % des abonnés actifs hommes et 22,0 % des abonnées actives femmes ont réalisé moins de 10 transactions contre 94,9 % pour les usagers occasionnels.

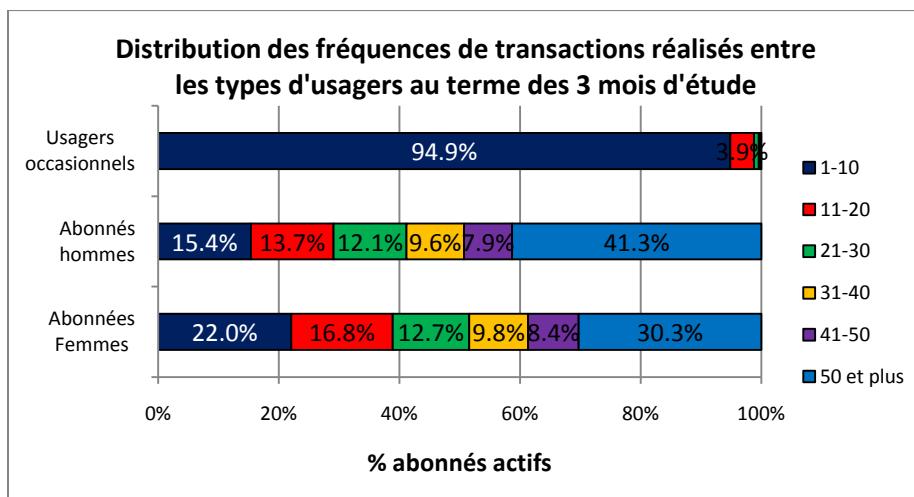


Figure 7-8 : Distribution des fréquences de transactions entre les différents types d'usagers

Cette tendance est logique puisque les usagers occasionnels ont accès au service pour 24h alors que les abonnés peuvent avoir recours au système en tout temps. De plus, près de 56,0 % des usagers occasionnels n'accomplissent qu'une seule transaction dans le système bien qu'ils aient accès au service pour 24 heures. Ce taux monte à 83,3 % d'usagers occasionnels n'effectuant que

deux transactions ou moins. Ces informations sont importantes pour l'analyse de la distribution des bicyclettes sur le réseau puisque plus le nombre d'usagers occasionnels ne réalisant qu'une seule transaction est important plus la redistribution des vélos risque d'être désordonnée, étant donné qu'il n'y a pas de trajets en sens inverse.

De plus, 51,5 % des abonnées actives (femmes) et 41,2 % des abonnés actifs (hommes) ont réalisé 30 transactions ou moins pendant la période d'étude ce qui signifie que ces abonnés ont recours au système environ deux fois par semaine. Il y a donc une large partie de la clientèle qui est abonnée au système sans l'utiliser de façon régulière. En outre, 41,3 % des abonnés actifs hommes ont réalisé plus de 50 transactions contre 30,3 % pour les abonnées actives femmes. La période d'étude étant de 13 semaines, ces abonnés accomplissent en moyenne 3,8 transactions par semaine.

Finalement, l'évolution de la proportion de clients utilisant le système plus de trois fois par jour est illustrée sur la Figure 7-9. On remarque alors que la proportion de personnes réalisant plus de trois transactions diminue régulièrement pendant les fins de semaines. Comme indiqué précédemment, la proportion d'abonnés hommes est la plus importante, et ce, pratiquement tous les jours. On note également une légère croissance pour les usagers occasionnels au cours du temps avec une moyenne de 6,8 % d'usagers occasionnels réalisant plus de trois transactions par jour en juillet contre 7,7 % en août et 8,1 % en septembre.

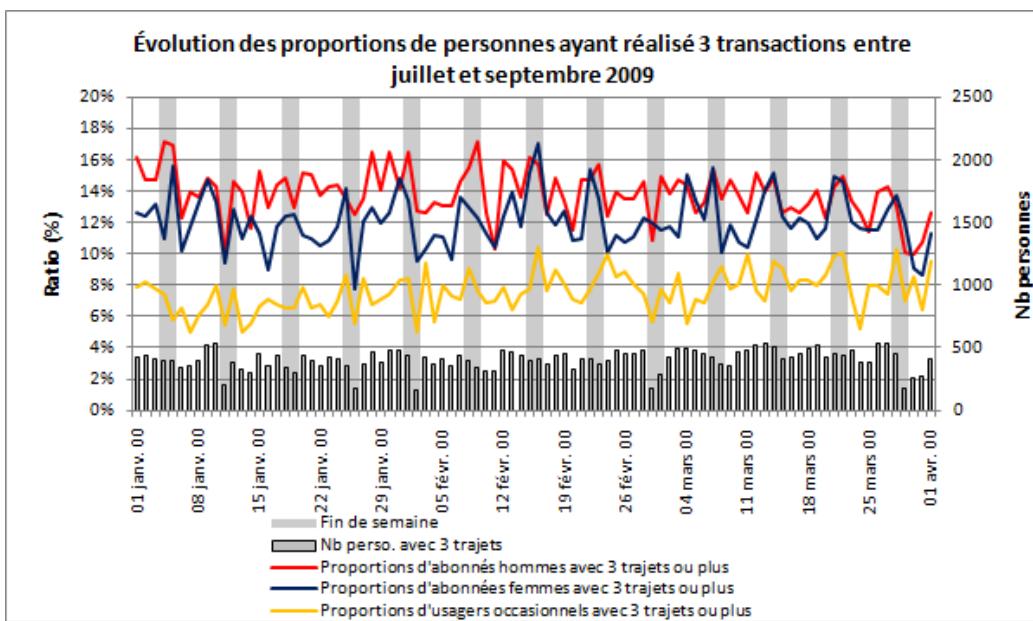


Figure 7-9 : Évolution de la proportion de personnes réalisant 3 transactions et plus

Enfin, l'analyse ANOVA des fréquences de transactions en fonction des cohortes d'âge révèle qu'il n'y a pas de différences significatives entre les cohortes tant pour les hommes que pour les femmes (Figure 7-10). Les abonnés hommes les plus actifs sont les 65 ans et plus avec une moyenne de 2,1 transactions par jour par abonné. Cependant, il faut noter qu'ils ont générés beaucoup moins de transactions que les autres cohortes d'âge.

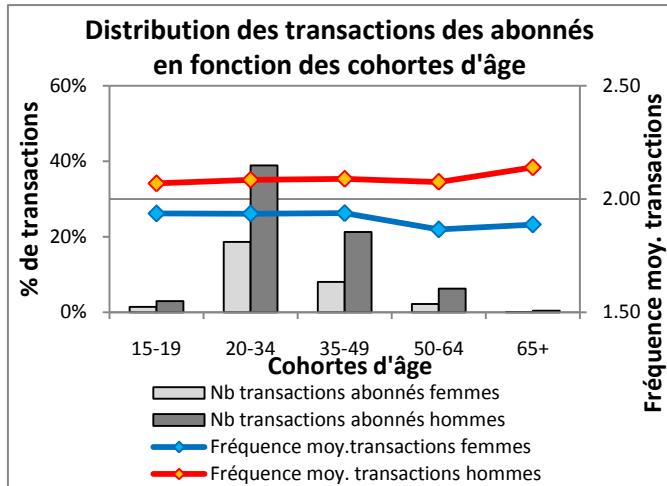


Figure 7-10 : Distribution des transactions des abonnés en fonction des cohortes d'âge

Les abonnées femmes de moins de 50 ans sont les plus actives avec une moyenne de 1,9 transaction par jour alors que la fréquence diminue pour les femmes plus âgées.

7.2.3.3 Type de déplacements

Une des particularités des programmes de vélopartage réside dans le fait que les usagers ayant emprunté une bicyclette ont deux options pour mettre fin à la transaction : soit déposer le vélo dans la station d'emprunt, soit le poser dans n'importe quelle autre station du réseau. De ce constat, on pourra alors classer les déplacements dans deux catégories suivant les stations d'origine et de destination. Un déplacement dont la station d'origine est identique à la station de destination sera appelé « une boucle » alors qu'il sera dit « à sens unique » si les stations sont différentes.

Lors de cette analyse, il est important d'exclure un certain nombre de déplacements. En effet, un problème apparaît lorsque l'on inclut les transactions de très courtes durées. Par exemple, dans notre échantillon, 9 354 déplacements font moins d'une minute, dont 97,8 % sont des boucles de très courtes durées, réalisées dans 87,3 % par des abonnés. On peut alors poser l'hypothèse que ces transactions n'ont pas donné lieu à des déplacements et que les usagers, très majoritairement abonnés, ont seulement débloqué une bicyclette puis l'ont reposée dans la station après s'être aperçus d'un problème technique par exemple. Ainsi, les trajets de moins d'une minute et ceux de plus de 10h d'emprunt consécutif ont été exclus lors de l'analyse.

L'étude de toutes les transactions de notre échantillon indique que 3,8 % des déplacements sont des boucles et 96,2 % des trajets en sens unique (Figure 7-11). Plusieurs différences notables entre les deux types de déplacements peuvent alors être mises en évidence. Tout d'abord, il apparaît que les 64,0 % des boucles sont réalisées pendant les fins de semaine dont une majorité est réalisée par les usagers occasionnels. 71,9 % des boucles de fins de semaine et 57,4 % des boucles de semaine sont réalisées par les usagers occasionnels. À l'inverse, 75,3 % des trajets en sens unique sont accomplis pendant la semaine dont 73,5 % ont été opérés par les abonnés. Parmi les 24,7 % des trajets en sens unique réalisés pendant les fins de semaine, 54,9 % sont effectués par les abonnés.

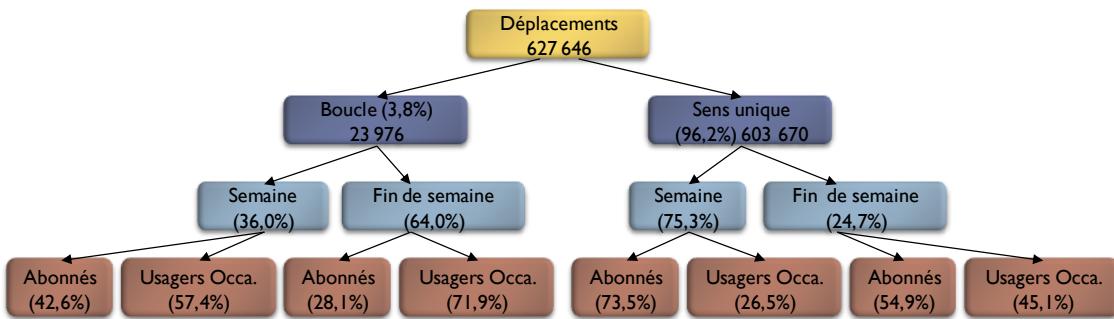


Figure 7-11 : Classification des types de déplacements entre juillet et septembre 2009

Enfin, les abonnés hommes et femmes réalisent dans des proportions similaires les boucles (3,9 % de leur déplacement total sont des boucles) tandis que les usagers occasionnels effectuent davantage de boucles, 7,9 % de leurs déplacements totaux sont des boucles.

7.3 Caractéristiques et évolutions des stations

Les stations sont les objets principaux des systèmes de vélopartage de troisième et quatrième générations. Tous les usagers du système, qu'ils soient abonnés ou simplement usagers occasionnels, doivent se rendre aux stations pour emprunter et déposer les bicyclettes. Le choix de la localisation spatiale de la station ainsi que du nombre de bicyclettes et de points d'ancrage disponibles sont les paramètres sur lesquels les opérateurs de vélopartage peuvent assurer une partie du succès du programme. Il est alors fondamental de déterminer des indicateurs permettant de caractériser les stations et de suivre leur fonctionnement au cours du temps. Par conséquent, les paragraphes suivants décrivent les stations et leurs niveaux d'utilisation au cours du temps.

7.3.1 Nombre et localisation spatiale des stations

Comme mentionné précédemment, le réseau de stations va croître pendant toute la période d'étude. Le 1 juillet 2009 le réseau comporte 275 stations en service alors qu'il y en aura 369 le 30 septembre 2009, soit 34,2 % d'augmentation (Figure 7-12). Pendant la période d'étude, il apparaît également qu'en moyenne 97,7 % des stations étaient actives quotidiennement (dont au moins une opération de dépôt ou d'emprunt a été effectuée par jour). Ceci représente un total de 28 611 stations-jour et une moyenne de 291,4 stations-jour par journée d'activité.

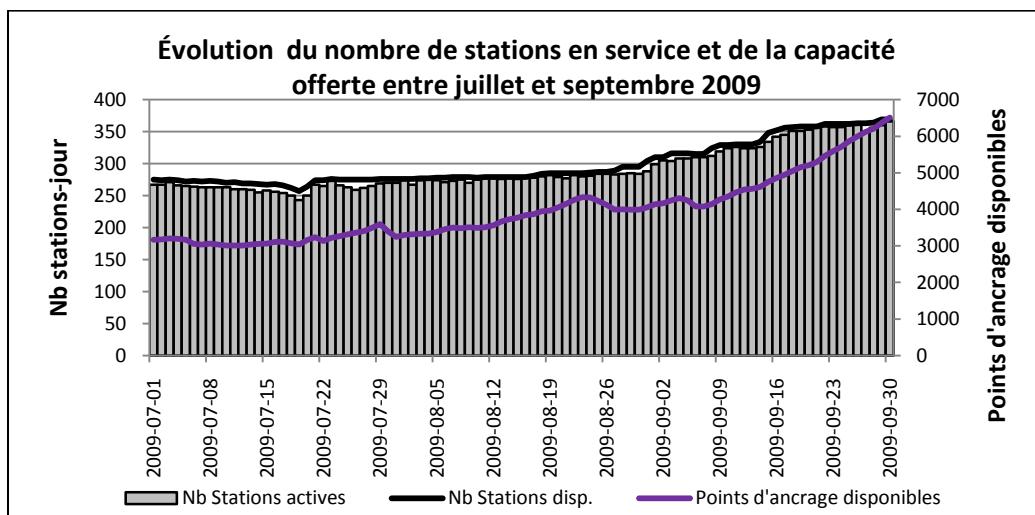


Figure 7-12 : Évolution du nombre de stations en service et actives entre juillet et septembre 2009

Le programme BIXI a été déployé dans le centre-ville de Montréal. Le 1^{er} juillet le territoire de déploiement est de 38,1 km² tandis qu'il sera de 46,8 km² le 30 septembre 2009 (Figure 7-13), soit une expansion de 22,8 %. Le calcul des superficies de déploiement repose sur des enveloppes convexes pour lesquelles plusieurs modifications ont été apportées manuellement pour mieux tenir compte de la position de certaines stations éloignées. Ceci induit une densité de 7,2 stations par km² le 1^{er} juillet contre 7,8 stations par km² le 30 septembre 2009. Ainsi, malgré l'expansion du territoire de déploiement, l'augmentation du nombre de stations a permis de conserver une densité stable dans le temps.

Enfin, il est possible de calculer les distances entre les stations afin de déterminer l'écart moyen entre les stations. À la fin du mois de septembre, la position des stations fait en sorte que chaque station du réseau contient en moyenne une autre station dans un rayon de 245 m. L'étude de la

densité des stations sur le niveau d'activité sera détaillée au Chapitre 9 tandis que l'étude de l'accessibilité des personnes au réseau sera présentée au paragraphe 7.3.5.2.

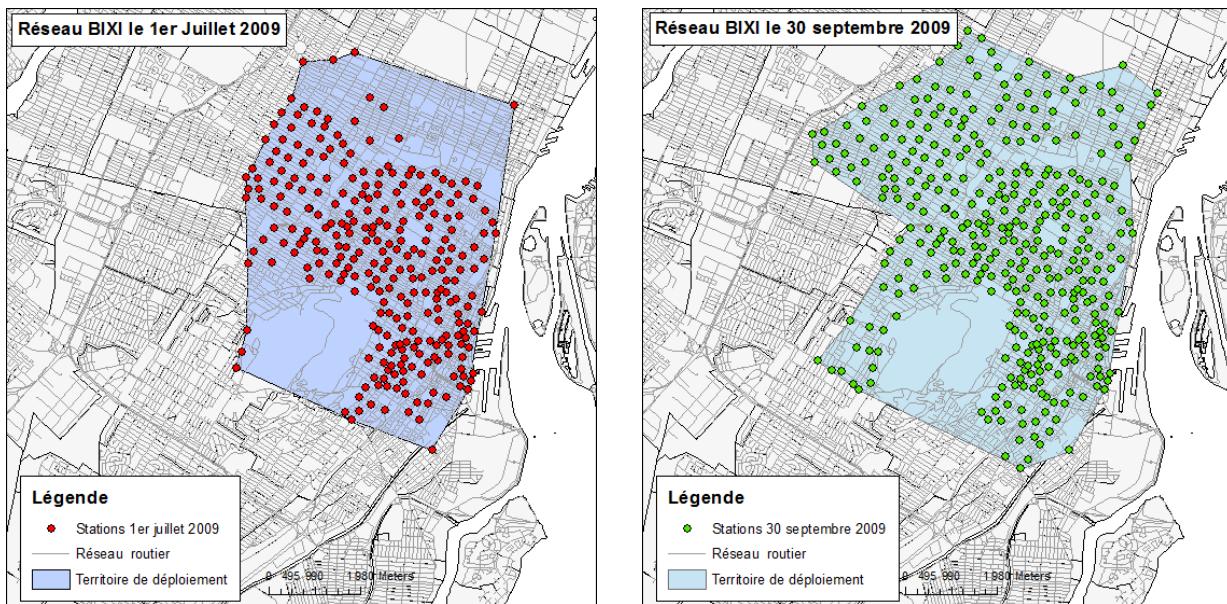


Figure 7-13 : Évolution des territoires de déploiement entre juillet et septembre 2009

7.3.2 Capacités des stations

La capacité des stations équivaut au nombre de points d'ancrage disponibles pour déposer ou emprunter les vélos. Pour la période d'étude, la croissance de la capacité totale du réseau est de 105,9 %, soit une augmentation moyenne de 30,5 nouveaux points d'ancrage par jour de service. Il apparaît aussi sur la Figure 7-12 des variations ponctuelles de capacité totale. Pour expliquer ces variations, il faut rappeler que les évolutions des programmes de quatrième génération de vélopartage permettent aux opérateurs de modifier au besoin le nombre de points d'ancrage par station ainsi que le nombre de stations en service. Ces augmentations ponctuelles ou permanentes permettent d'expliquer les variations quotidiennes de capacité observées sur le réseau.

Il apparaît aussi que la proportion de stations de petites capacités (0-10 points d'ancrage) tend à diminuer avec l'évolution du système. En effet, le 1^{er} juillet 2009 le système comptait 30,3 % de stations de moins de 10 points d'ancrage et 4,0 % de stations de plus de 20 points d'ancrage alors que les taux seront respectivement de 6,0 % et 28,5 % à la fin du mois de septembre. Ainsi, non seulement le nombre de stations augmente, mais la capacité moyenne des stations présentes sur le réseau est, elle aussi, plus importante (Figure 7-14).

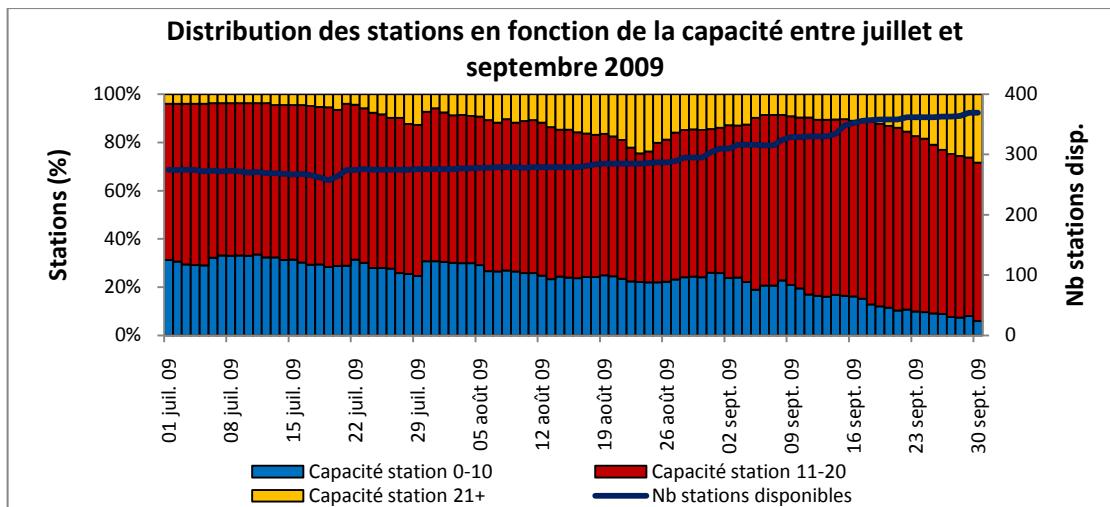


Figure 7-14 : Distribution des stations en fonction des capacités entre juillet et septembre 2009

L'augmentation du nombre de points d'ancrage par station se traduit par une croissance de la capacité moyenne des stations du réseau. La Figure 7-15 illustre l'évolution de la capacité des stations pour les trois mois à l'étude. Au début du mois de juillet, la capacité moyenne est de 11,5 points d'ancrage par station contre 17,7 au terme du mois de septembre.

De plus, la courbe illustrant l'évolution de la capacité maximale d'une station sur le réseau a aussi été tracée. On relève deux pics à la fin du mois de juillet et pendant le mois d'août pendant lesquels au moins une station a vu sa capacité augmentée considérablement pour atteindre 70 points d'ancrage au mois de juillet et 84 au mois d'août.

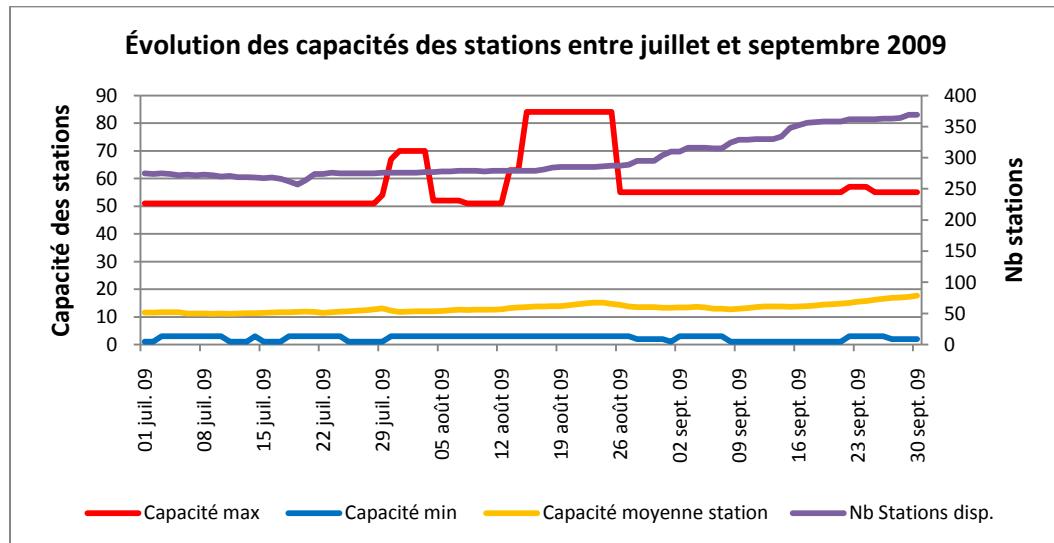


Figure 7-15: Évolution des capacités des stations entre juillet et septembre 2009

Soulignons aussi que seulement 12 stations (3,3 %) n'ont connu aucune modification de capacité sur toute la période d'étude.

Par ailleurs, la Figure 7-16 permet de localiser spatialement les zones d'évolution de capacité entre juillet et septembre 2009. Il faut noter que les stations ayant été déployées après le 1^{er} juillet sont représentées sur la figure, mais aucune information sur leur croissance n'a été calculée du fait qu'elles n'ont pas toute la même durée de service. Les statistiques calculées ici ne concernent alors que les stations en service le 1^{er} juillet 2009. La croissance moyenne de la capacité pour l'ensemble de ces stations est de 89,2 % entre juillet et septembre et 23 stations (8,3 %) ont vu leur capacité diminuée sur la période d'étude (réduction entre -5,6 % et -46,2 %). On remarque que plusieurs stations ayant subi une réduction de capacité sont situées aux abords du parc Lafontaine et de la rue De Lorimier (en bleu sur la figure). Cependant, les plus importantes variations concernent les augmentations de capacité puisque pas moins de 11 stations du centre-ville, 4 stations au nord du réseau et 7 stations du Plateau-Mont-Royal ont connu des croissances supérieures à 200 % (en rouge sur la carte). Il est aussi important de préciser que la croissance de capacité d'une station dépend fortement de sa date de mise en service. En effet, une station instaurée quelques jours avant le 1^{er} juillet avec seulement quelques points d'ancrage a beaucoup plus de chance de voir croître sa capacité qu'une station déjà en place depuis des mois. Par exemple, la station 147, situé à l'intersection des rues Calixa-Lavallée et Sherbrooke a été mise en service le 1^{er} juillet. Ce jour-là seulement un point d'ancrage était fonctionnel. Ainsi, au terme de la période d'étude, des composants supplémentaires ont été ajoutés à la station pour que la station soit réellement opérationnelle créant une augmentation de 4 200 % de sa capacité.

Ensuite, les évolutions présentées sur la Figure 7-16 concernent l'ensemble de la période d'étude. Or, la plupart des stations du réseau ont subi plusieurs modifications de capacité au cours de la période d'étude qui ne sont pas visibles par un simple calcul de croissance de capacité. Pour illustrer ces phénomènes, l'analyse de l'évolution des capacités de cinq stations du réseau est présentée sur la Figure 7-17. Les cinq stations choisies permettent de visualiser les différents types d'évolution que l'on retrouve sur le réseau. Par exemple, la station 35, située à l'intersection des rues de la commune et Saint-Sulpice, voit sa capacité augmenter considérablement à partir de la mi-août, puis diminuer légèrement pour le mois de septembre. La station 369, située au coin de la 16^{ème} avenue et de la rue Beaubien n'a été mise en service qu'au mois de septembre d'où la capacité nulle sur une large période de l'étude.

On remarque aussi que la station à l'intersection Émile Duployé et Sherbrooke a connu plusieurs modifications au cours de la saison et a même été hors service pour une journée. Finalement, la station 239 au coin Bloomfield et Bernard n'a connu aucune évolution au cours de la période d'étude. Ce graphique illustre le problème majeur apparaissant dans l'analyse des systèmes de vélopartage puisque l'offre de transport évolue constamment.

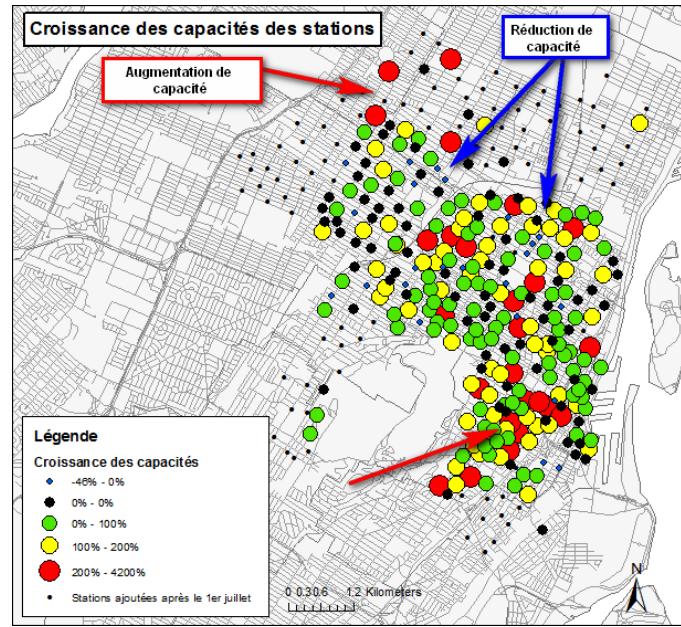


Figure 7-16 : Croissance des capacités des stations du réseau BIXI entre juillet et septembre 2009

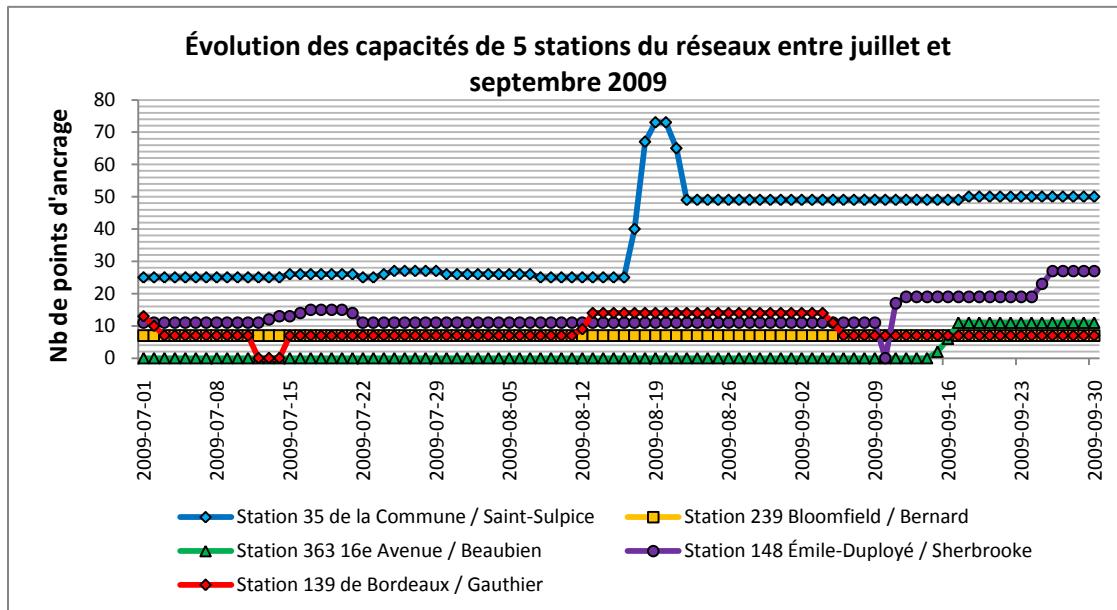


Figure 7-17: Évolution des capacités de 5 stations du réseau entre juillet et septembre 2009

7.3.3 Volume d'utilisation des stations

Tout comme les variations de capacités, les niveaux d'utilisation des stations connaissent une très grande variabilité au cours de la période d'étude. Pour l'ensemble du réseau l'activité

moyenne s'élève à 3 469 opérations par station (écart-type $\pm 3 450$) pour les trois mois d'étude, incluant toutes les opérations de dépôts et d'emprunts de bicyclettes. Ceci donne un taux moyen de 48,0 opérations par station et par jour (écart-type $\pm 8,8$).

Par ailleurs, la Figure 7-18 illustre la répartition des opérations d'emprunts et de dépôts entre les différentes stations du réseau au terme de la période d'étude. On s'aperçoit alors que les stations les plus actives sont principalement situées autour de certaines rues comme : Avenue Mont-Royal, Saint-Denis, Saint-Laurent, De Maisonneuve et De la Commune. La majorité des stations en périphérie de réseau ont des niveaux d'activités moins importants que celles du centre. Encore une fois, il faut être vigilant dans cette analyse, car les stations n'ont pas toutes le même temps de service. Les stations les plus anciennes (celles du centre) ont normalement servi à accomplir plus d'opérations que celles plus récemment déployées (celles de périphérie). On note toutefois une similitude entre les deux cartes, ce qui signifie que les stations les plus actives pour les emprunts le sont également pour les dépôts.

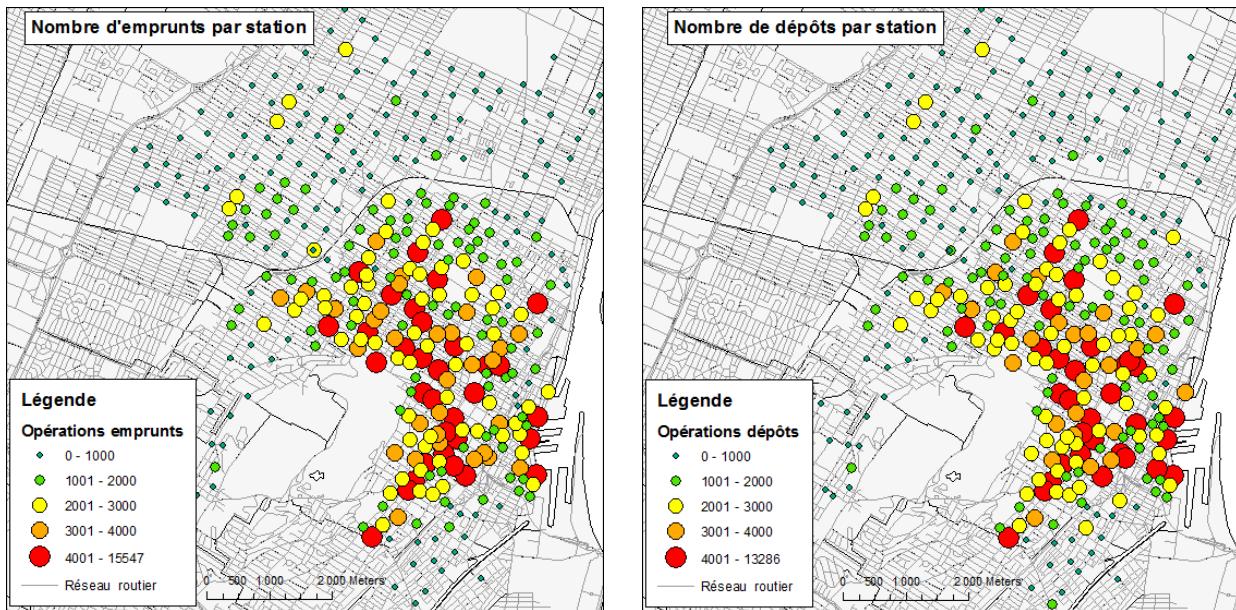


Figure 7-18: Répartition spatiale des opérations d'emprunts et de dépôts entre les stations de juillet à septembre 2009

Parallèlement, la Figure 7-19 permet de mesurer la distribution des opérations entre les différentes stations du réseau pour toute la période d'étude.

Il ressort que 27,9 % des stations du réseau ont permis d'accomplir entre 0 et 1000 opérations tandis que 5,4 % des stations ont été responsables de plus de 10 000 opérations. Il y a donc des écarts particulièrement importants des niveaux d'activité entre les stations.

Ensuite, afin de mesurer l'écart entre les niveaux d'activités des stations, la courbe de Lorenz a été adaptée à l'activité des stations (Figure 7-20). Deux précisions doivent être ajoutées : les stations sont cumulées de la plus active à la moins active et l'ordre des stations peut être différent entre les opérations d'emprunts et de dépôts. Le premier constat concerne la similitude entre les deux courbes puisque les courbes sont parfaitement superposées. Ceci est confirmé par les constats suivants :

- 50,2 % des opérations d'emprunts sont réalisées sur 20,0 % des stations les plus actives
- 50,0 % des opérations de dépôts sont effectuées sur 19,5 % des stations les plus actives
- 85,6 % des opérations d'emprunts sont réalisées sur 50,0 % des stations les plus actives
- 85,6 % des opérations de dépôts sont accomplies sur 50,0 % des stations les plus actives

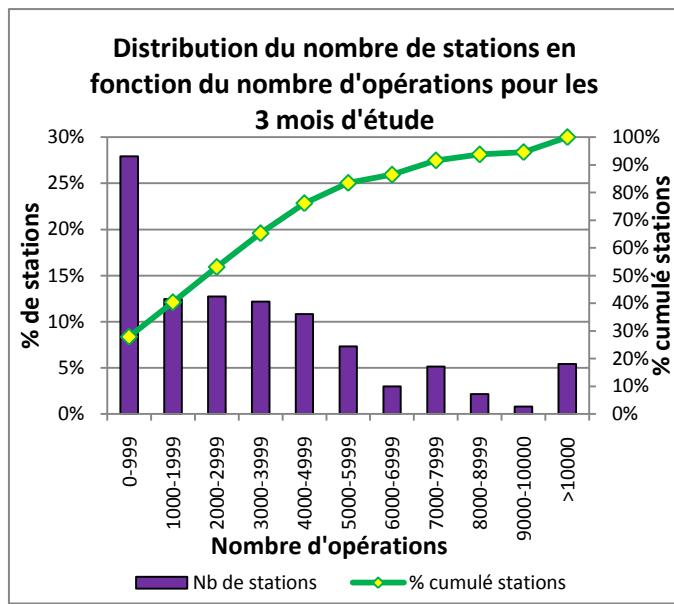


Figure 7-19 : Distribution des stations en fonction du nombre d'opérations entre juillet et septembre 2009

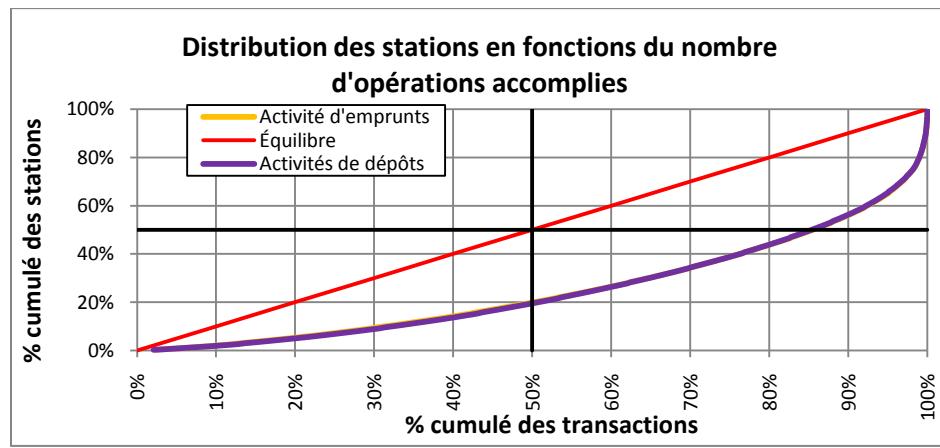


Figure 7-20 : Distribution des stations en fonction du nombre d'opérations accomplies

Tout comme les usagers, on note une très grande disparité entre les niveaux d'activité des stations. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces différences comme le temps de service, la position des stations ou autres. Cependant, il faut tout de même remarquer qu'au début de la période d'étude 74,5 % des stations étaient en activité. Ainsi, le temps de mise en service ne semble pas être le seul facteur ayant une influence sur le niveau d'activité d'une station. À titre d'exemple, les trois stations les plus actives étaient en service dès le début de la période d'étude et cumulent à elles seules 10,9 % des opérations d'emprunts ce qui est très loin des taux observés pour les autres stations en service au début de la période d'étude.

Par ailleurs, comme l'illustre la Figure 7-21, présentant les variations quotidiennes d'activités des stations sur réseau, le nombre d'opérations varie énormément au cours du temps pour chacune des stations. Par exemple, l'activité de la station 42, située aux abords du Square Victoria, semble être particulièrement sensible au type de jour de semaine alors que ce constat est moins marqué pour les deux autres stations. Ainsi, une multitude de facteurs, dont le temps de mise en service ou le type de jour, peuvent jouer un rôle dans les niveaux d'activité des stations. C'est pourquoi, l'analyse de plusieurs paramètres sur les différents niveaux d'utilisation des stations sera détaillée dans le Chapitre 9.

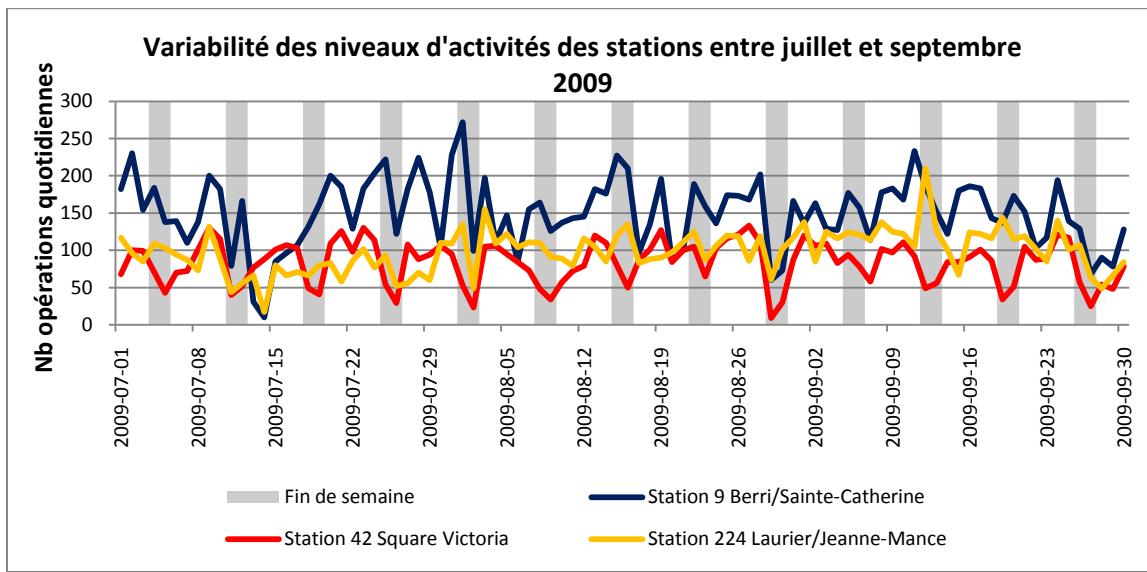


Figure 7-21 : Évolution des niveaux d'activités de trois stations entre juillet et septembre 2009

Finalement, la Figure 7-22 représente la croissance du nombre d'opérations en fonction du temps de service de la station pour cinq stations différentes. Par exemple, au bout de 1 000 heures de service la station 184 avait permis la réalisation de 13 161 opérations contre 1 305 pour la station

139 et 8 061 pour la station 35. Ce graphique permet alors de comparer les niveaux d'activités des stations pour un nombre d'heures de service équivalent. Cette analyse pourrait être particulièrement pertinente pour mesurer les effets d'une augmentation de capacité de la station ou un changement de position de la station. Il serait aussi envisageable de tracer une courbe de référence par taille de station et pouvoir ainsi comparer les activités des stations nouvellement implantées.

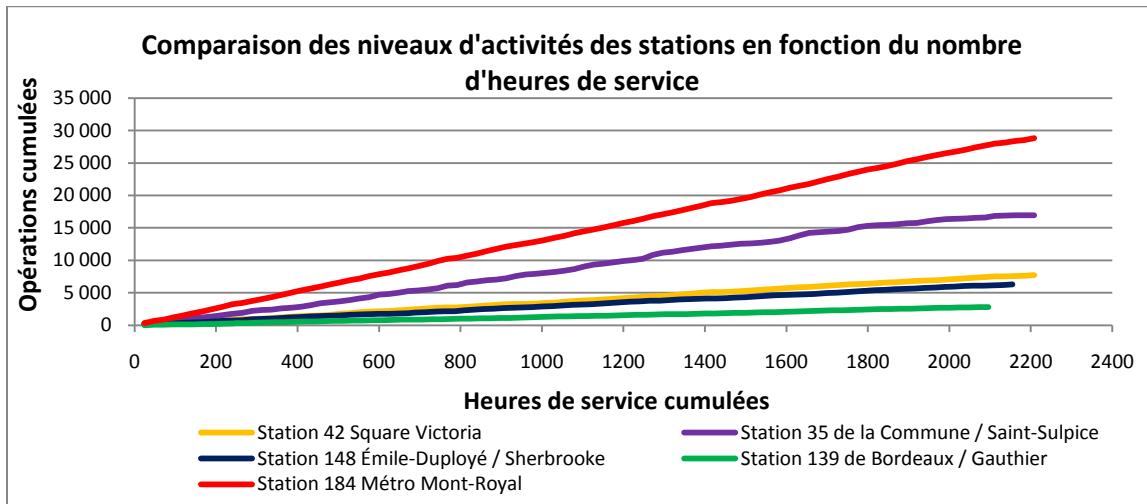


Figure 7-22 : Comparaison de l'activité des stations en fonction du nombre d'heures de service

7.3.4 Taux de remplissage des stations

Comme il a été détaillé précédemment, les stations sont constituées d'une série de points d'ancrage. Ces points d'ancrage peuvent être vides ou bien contenir un vélo. Le taux de remplissage des stations se voit alors comme un indicateur permettant de mesurer la proportion de points d'ancrage contenant un vélo par rapport au nombre de points d'ancrage vides. Ce taux est particulièrement intéressant, car plusieurs problèmes majeurs apparaissent lorsque tous les points d'ancrage sont totalement vides ou totalement pleins (voir Chapitre 8).

Pour l'ensemble du système le taux moyen de remplissage (Γ_s) est de 42,8 % pour toute la période d'étude. De plus, 4,1 % des stations du réseau ont un taux moyen de remplissage inférieur à 25 %. Ceci signifie que ces stations ont, en moyenne, plus des trois quarts de leurs emplacements vides. Ces stations ont alors plus de risque de subir une pénurie de bicyclettes. Au niveau de la localisation géographique, trois de ces stations sont situées aux abords du Mont-Royal, quatre autres sont disposées en périphérie nord du réseau tandis qu'un groupe de trois

stations est établi à proximité des rues Berri et Sherbrooke (Figure 7-23). Pour les stations aux alentours du Mont-Royal et celles proches de la rue Berri, la topographie pourrait expliquer ces taux moyens de remplissage particulièrement bas puisque les personnes empruntent les vélos pour descendre, mais peu d'entre eux remontent les bicyclettes dans le sens inverse.

À l'inverse, 3,8 % des stations ont des taux moyen de remplissage supérieurs à 65 %. Ces stations sont principalement situées aux extrémités du réseau. On note qu'une seule station à un taux anormalement élevé (81,1 %), sans qu'aucun facteur particulier n'explique un tel remplissage. Toutefois, il faut être vigilant dans l'interprétation de cet indicateur, car ces taux sont des moyennes sur la période d'étude. Par conséquent, ils inhibent les variations réelles de remplissage des stations.

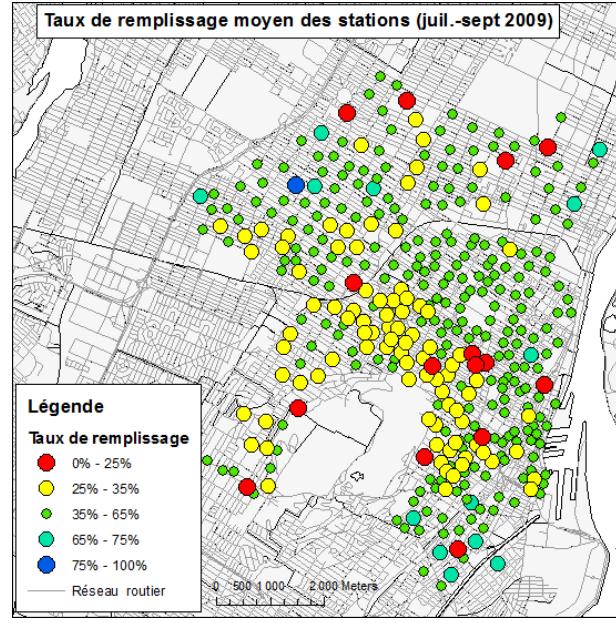


Figure 7-23: Répartition spatiale des stations en fonction du taux moyen de remplissage

À titre d'exemple, la Figure 7-24 illustre les variations journalières de remplissage de trois stations et nous permettent de visualiser les différents cas de figure de remplissage des stations. La première station analysée est celle située au métro Mont-Royal lors de la journée du 14 juillet 2009 (en haut à gauche). La figure révèle alors que la station a connu deux ajouts successifs de points d'ancrage à 17h puis à 21h. On s'aperçoit alors qu'au sein d'une même journée l'offre peut varier à plusieurs reprises rendant le calcul des taux très complexe.

La seconde station, déployée au Square Victoria permet de mesurer l'importance des mouvements pendulaires des usagers du système. En effet, la station est totalement vide de minuit à 6h00 du matin, puis à partir de 7h les travailleurs arrivent remplissant en une heure l'ensemble des points d'ancrage. À l'inverse, à la fin de la journée de travail, la station se vide très rapidement et à partir de 20h plus aucun vélo n'est disponible. Or, le calcul du taux moyen de remplissage pour la journée est de 43,6 % pour la journée, ce qui pourrait laisser penser que le

remplissage de la station est bien ajusté sur la journée alors qu'en réalité la station n'a subi que des états extrêmes de remplissage.

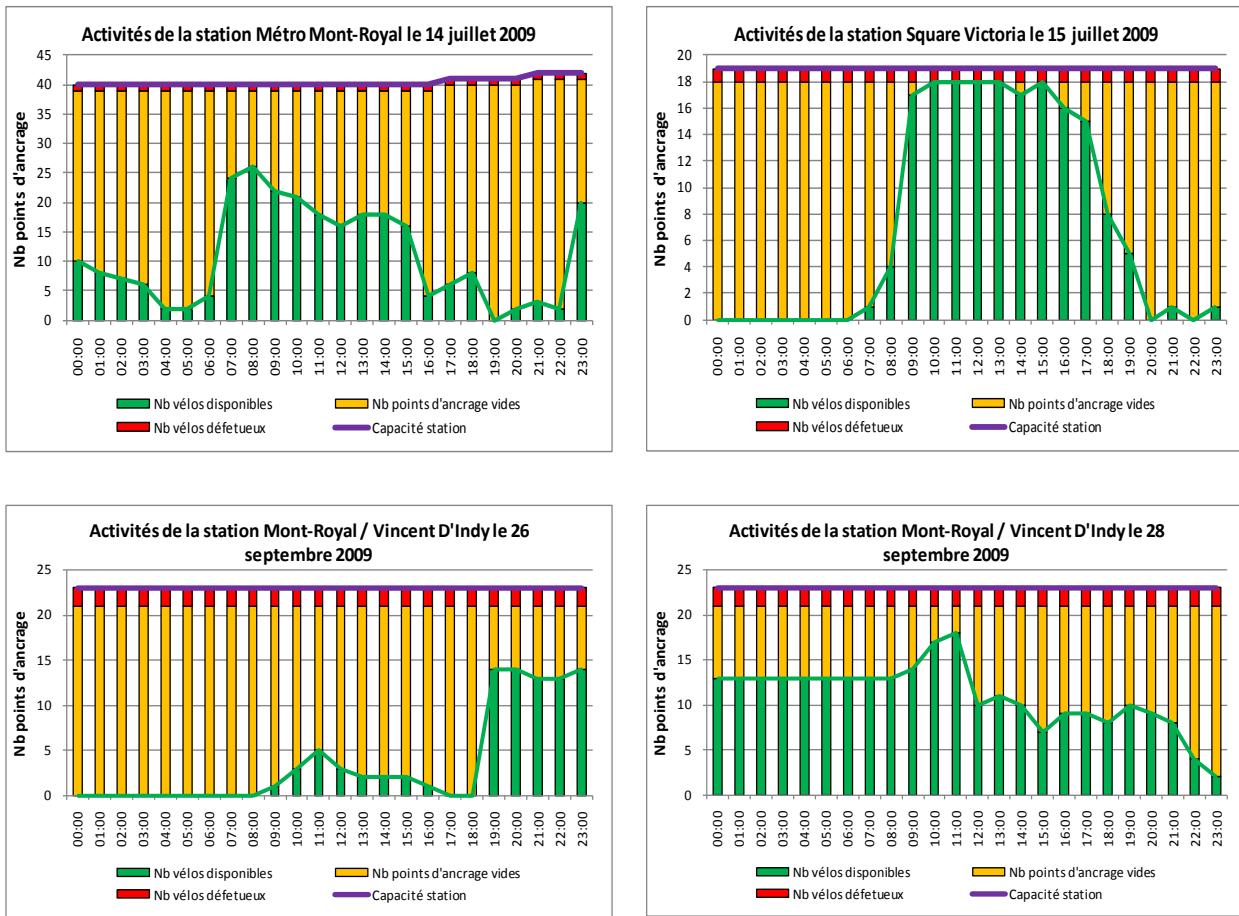


Figure 7-24 : Évolution des niveaux de remplissage de trois stations sur une journée

Finalement, la dernière station a pour but de montrer l'influence des remplissages planifiés par les équipes techniques. En effet, les taux de remplissage des stations permettent de connaître l'état d'une station à un moment donné. Or, l'état d'une station dépend, d'une part, des mouvements réalisés par les usagers, et, d'autre part, des déplacements opérés par les équipes techniques pour redistribuer les bicyclettes. Le problème du taux de remplissage vient du fait qu'il ne tient pas compte du type de mouvements réalisés. Les mouvements par le personnel technique sont donc considérés comme des déplacements usagers, ce qui peut créer des erreurs d'analyse de l'activité de certaines stations. L'évolution de l'état de la station située à l'intersection des rues Mont-Royal et Vincent D'Indy, à proximité de l'Université de Montréal, illustre ces problèmes et les limites du taux de remplissage. La première figure (en bas à gauche)

montre l'état de remplissage de la station le samedi 26 septembre 2009. La station est pratiquement vide toute la journée jusqu'à 19h00 où le personnel vient déposer 14 bicyclettes en même temps. Le taux moyen de remplissage pour la journée est alors de 24,5 % alors qu'il n'aurait été que de 10,3 % si le personnel n'était pas intervenu. Cette intervention a donc pour effet de masquer une partie de l'état réel des stations présentes sur le réseau. Par la suite, il est intéressant de noter que l'état de la station sera invariant pendant tout le dimanche alors que le lundi 28 septembre, à partir de 12h, le nombre de bicyclettes diminuera jusqu'à 0 puisque les usagers empruntent des bicyclettes pour descendre de la montagne, mais très peu d'entre eux remontent les vélos. Le taux moyen de remplissage est alors de 56,3 % pour cette journée bien que l'ensemble des mouvements soit uniquement des départs.

Pour conclure, à travers l'analyse des taux de remplissage, il a été décrit brièvement plusieurs problématiques majeures d'utilisation du système et l'ensemble de ces points seront abordés plus en profondeur dans le Chapitre 8.

7.3.5 Les stations et leurs usagers

Ce paragraphe a pour objectif de présenter l'interaction entre l'offre de transport et la demande. Plusieurs indicateurs seront explicités afin de mesurer et quantifier les relations entre les stations et usagers. Il sera, entre autres, abordé certains aspects permettant d'évaluer la pression établie par les usagers sur le système au cours de la première saison d'exploitation ainsi que l'influence de l'implantation d'une nouvelle station sur les niveaux d'utilisation du service.

7.3.5.1 Nombre d'usagers par station et par point d'ancrage

Pendant les trois mois d'étude, le nombre de stations a augmenté de 34,2 % tandis que, dans le même temps, le nombre d'abonnés s'est accru de 85,8 %. Dans un premier temps, il est possible de calculer les ratios du nombre d'abonnés et usagers actifs par station et par point d'ancrage. Pour l'ensemble du réseau, les ratios s'élèvent à 23,9 abonnés par station (écart-type $\pm 1,99$), 1,8 abonné par points d'ancrage (écart-type $\pm 0,18$) et 12,0 usagers actifs par station (écart-type $\pm 2,03$). Les évolutions globales de ces ratios sont présentées sur la Figure 7-25. On constate une croissance du nombre d'abonnés par station et une diminution du nombre d'abonnés par point d'ancrage. Ceci s'explique par le fait que la croissance du nombre de points d'ancrage (105,9 %) est supérieure à celle du nombre d'abonnés (85,8 %) d'où une diminution du ratio.

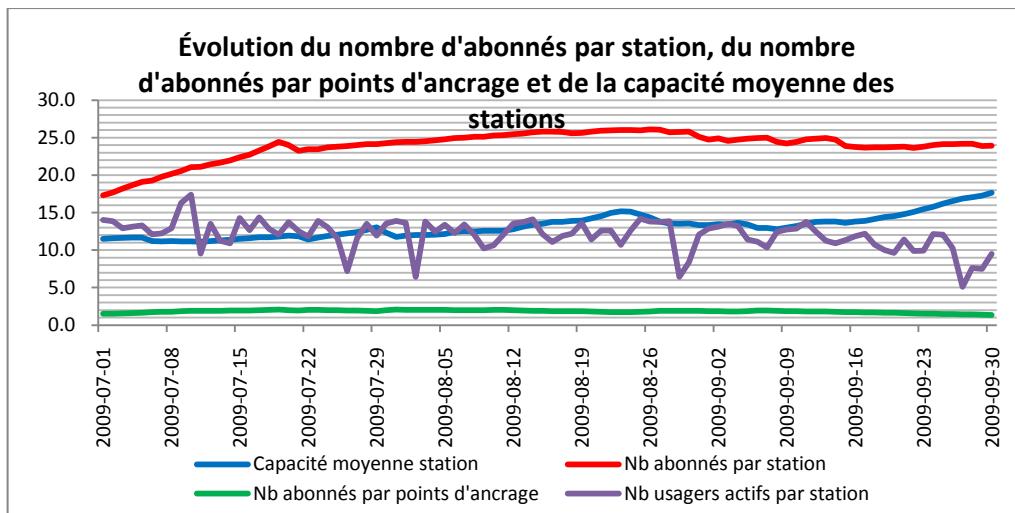


Figure 7-25 : Évolution du nombre d'abonnés par station, du nombre d'abonnés par point d'ancrage et de la capacité moyenne des stations

Cependant, ces ratios renseignent de façon statique sur la pression exercée par les usagers sur le système. En effet, dans un système de vélopartage, chaque usager peut utiliser la ou les stations de son choix sans aucune restriction tant au niveau de l'espace que du temps. D'ailleurs, dans la majorité des cas, l'usager emprunte le vélo dans une station et le dépose dans une station différente. Il paraît alors important d'affiner l'étude en abordant une approche dynamique.

Dans ce cas, il faut déterminer le nombre d'usagers différents utilisant chaque station. Pour ce faire, l'indicateur des usagers-station est construit, améliorant considérablement l'analyse de la pression des usagers sur le système.

Les calculs révèlent qu'il y a 1 177 730 usagers-station pour les 92 jours d'étude. Ces usagers-station ne sont pas distribués de façon uniforme entre les stations comme l'illustre la Figure 7-26, présentant le nombre moyen d'usagers-station pour les trois mois d'étude.

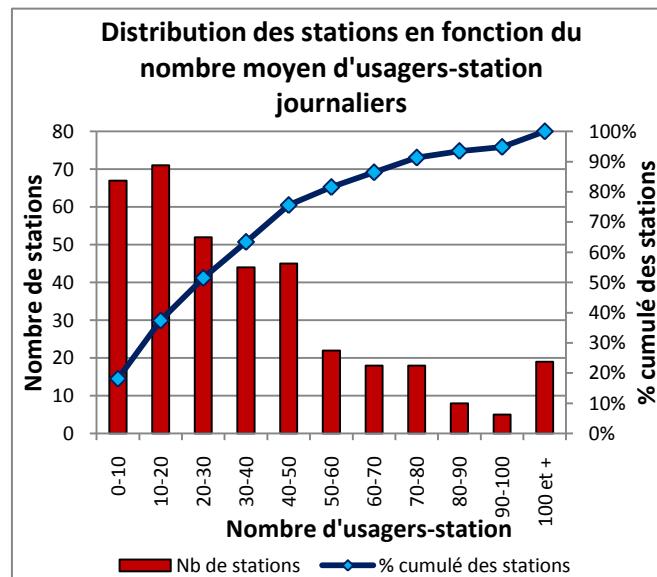


Figure 7-26 : Distribution des stations en fonction du nombre moyen d'usagers-station

Ainsi, chacune des stations est, en moyenne, utilisée par 37,4 personnes différentes chaque jour (écart-type $\pm 33,0$). Il apparaît que près de 18,2 % des stations sont utilisées en moyenne par moins de 10 usagers différents tandis que 5,1 % des stations sont utilisées quotidiennement par plus de 100 usagers différents. On s'aperçoit alors que la pression exercée par les usagers sur le système est beaucoup plus importante (37,4 usagers par station) que celle mesurée de façon statique (12,0 usagers par station).

De plus, la distribution présentée sur la Figure 7-26 est une moyenne des usagers-station journaliers. Tout comme les autres indicateurs, les variations quotidiennes du nombre d'usagers-station sont très importantes comme l'illustre la Figure 7-27. Cette figure explicite encore une fois la pertinence de calculer les indicateurs sur une base journalière.

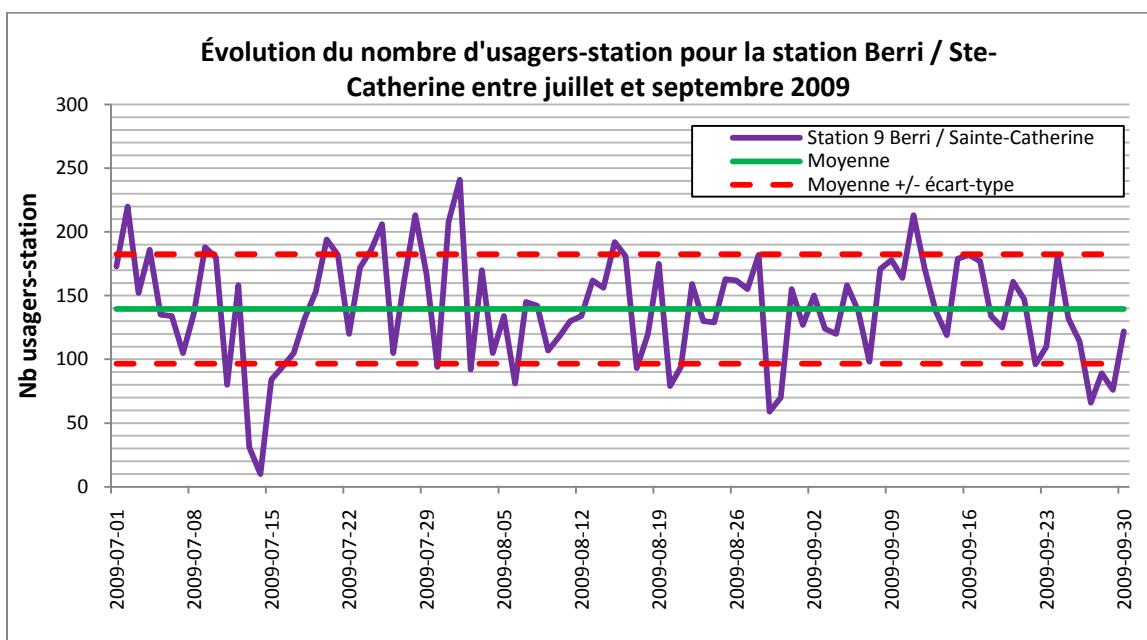


Figure 7-27 : Évolution de nombre d'usagers-station pour la station 9 entre juillet et septembre 2009

Finalement, les stations pour lesquelles le nombre d'usagers-station est le plus élevé sont principalement localisées dans le centre du réseau (Plateau-Mont-Royal et centre-ville) tandis que les stations en périphérie de réseau ont généralement moins de 20 usagers-station par jour (Figure 7-28).

Un complément de cette approche est détaillé dans le paragraphe 7.3.5.3.1 traitant du choix des stations par les usagers où il sera question des différents choix de stations par les abonnés et les usagers occasionnels.

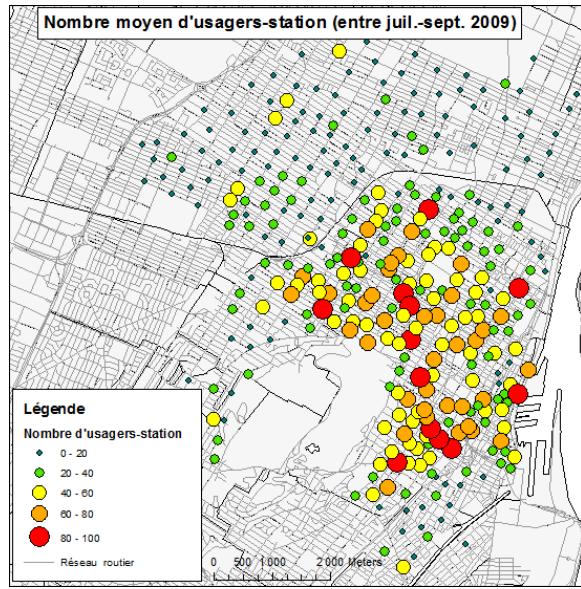


Figure 7-28 : Visualisation du nombre moyen d'usagers-station entre juillet et septembre 2009

7.3.5.2 Accessibilité des usagers aux stations

Comme la plupart des systèmes de transport, une grande partie du succès des programmes de vélopartage réside dans l'accessibilité du service auprès de la population. Cette section vise alors à analyser de façon plus approfondie l'accessibilité du système BIXI. Il faut préciser que, dans cette section, seuls les abonnés ayant mentionné un code postal valide (91,2 %) seront inclus dans l'étude (les 8,8 % d'abonnés restant ne pouvant être localisés spatialement).

L'étude de l'accessibilité au système est particulièrement importante dans la mesure où l'on fait l'hypothèse que l'usager souhaite constamment augmenter son utilité. Par conséquent, la réduction du temps total de parcours favorise ce mode de transport en compétition avec l'ensemble de l'offre se présentant à l'usager. Or, dans les programmes de vélopartage le temps total de déplacement est la somme de plusieurs temps élémentaires et peut être défini par :

$$T_{parcours} = T_{accès\ origine} + T_{attente} + T_{paiement} + T_{en\ vélo} + T_{stationnement} + T_{accès\ destination}$$

Pour les abonnés, les temps d'attente et de paiement sont nuls puisqu'ils disposent d'une passe leur permettant d'emprunter directement une bicyclette même si quelqu'un procède à une transaction. Pour les usagers occasionnels, ces temps sont également minimes puisqu'il est très rare de devoir attendre longtemps pour effectuer une transaction. De plus, le temps de paiement

reste marginal du fait de la facilité d'utilisation du système. Ensuite, le temps en vélo dépend de plusieurs facteurs comme l'aménagement du territoire et des rues, de l'itinéraire choisi et surtout de la condition physique de l'usager. L'étude du temps en vélo est détaillée au paragraphe 7.5.3. Enfin, pour ce qui est du temps de stationnement et des temps d'accès à l'origine et à la destination, ils dépendent en grande partie de la densité et capacité des stations sur le réseau. En effet, plus le nombre de stations est important, plus l'usager a de chance de trouver une station à proximité de sa destination pour y déposer sa bicyclette. L'analyse proposée ici s'intéresse alors aux temps d'accès à l'origine et à la destination.

L'hypothèse retenue consiste à dire qu'un piéton se déplace à une vitesse moyenne de 1,2 mètre par seconde (FHWA, 2009). Ainsi, le territoire couvert par le service pour plusieurs temps d'accès à pied est présenté sur la Figure 7-29. Le territoire de couverture est de 47 km² lorsque le temps d'accès est de 5 minutes contre 228 km² pour une heure de marche. Le bassin de population pouvant avoir accès au système (personne âgée de plus de 13 ans) est de 407 700 personnes résidant à moins de 5 minutes à pied d'une station BIXI et près de 671 700 à 30 minutes (Tableau 7-4). En outre, 84,8 % des abonnés vivent à moins de 5 minutes à pied d'une station et 92,0 % à moins de 45 minutes.

Ceci indique que les bassins d'attraction des stations sont locaux, car une très forte majorité des abonnés habitent à proximité des stations (paragraphe 7.2.2.2). Concernant les parts de marché, 1,64 % des personnes résidant à moins de 5 minutes d'une station sont membres de BIXI. Ce taux passe à 1,05 % lorsque le temps d'accès est de 30 minutes. On s'aperçoit alors que la proximité d'une station augmente le ratio du nombre d'abonnés par rapport à la population totale.

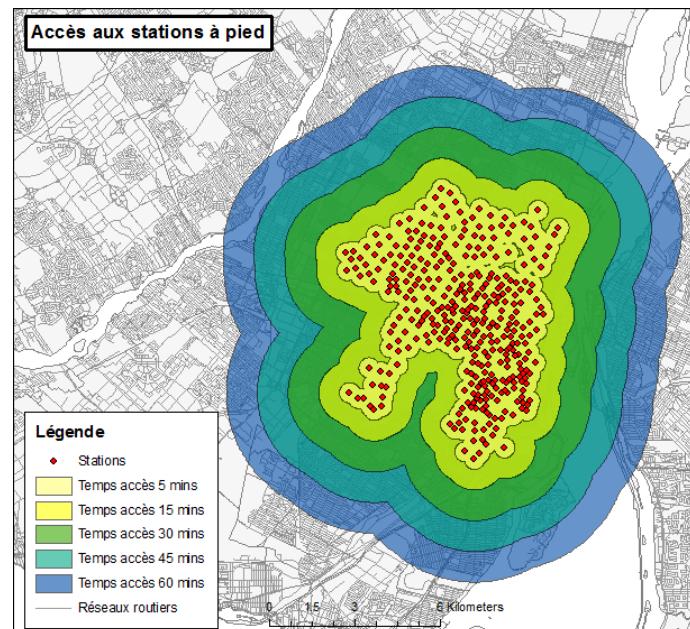
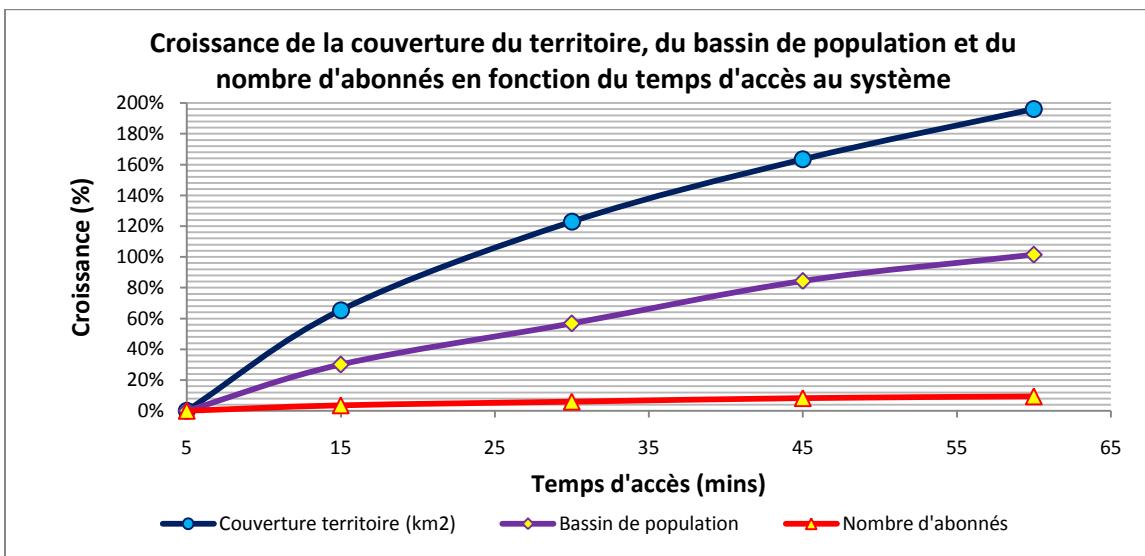


Figure 7-29 : Visualisation de l'accessibilité aux stations BIXI en fonction du temps de marche

Tableau 7-4 : Caractéristiques de l'accessibilité aux stations du système BIXI

Temps d'accès (min)	5	15	30	45	60
Distance d'accès (km)	0.36	1.08	2.16	3.24	4.32
Couverture territoire (km ²)	47.0	77.7	122.3	171.8	228.0
Bassin de population (+ 13 ans)	407 700	530 300	671 700	856 900	1 003 600
Nombre d'abonnés	6 678	6 915	7 080	7 243	7 325
	(84,8 %)	(87,8 %)	(89,9 %)	(92,0 %)	(93,1 %)
Densité de population	8683	6828	5492	4987	4403
Densité d'abonnés	142.2	89.0	57.9	42.2	32.1
Part de marché	1.64 %	1.30 %	1.05 %	0.85 %	0.73 %

L'augmentation du temps d'accès de 5 minutes à 15 minutes a pour effet d'accroître la couverture de territoire de 65,4 %, le bassin de population de 30,1 % et le nombre d'abonnés de 3,55 % (Figure 7-30). Ensuite, l'augmentation du temps d'accès de 15 minutes à 30 minutes induit une croissance de la couverture du territoire de 57,5 %, du bassin de population de 26,7 % et du nombre d'abonnés de 2,4 %. Il apparaît alors que plus le temps d'accès est élevé moins la probabilité qu'un individu soit abonné au système est élevée. L'accessibilité semble être un critère dominant dans l'utilisation de ce mode de transport puisqu'au-delà de 30 minutes de marche pour se rendre à une station, le nombre d'abonnés est très faible.

**Figure 7-30: Croissance de la couverture du territoire, du bassin de population et du nombre d'abonnés en fonction du temps d'accès au système**

Par ailleurs, l'analyse de la distribution des distances entre les domiciles des abonnés et la station la plus proche confirme la tendance relevée. En effet, la distance moyenne entre le domicile des

abonnés et la station la plus proche est très faible : 1 115 mètres (écart-type $\pm 3 935,0$) (soit 15,5 minutes à pied). Ceci confirme que les abonnés résident dans un périmètre proche du réseau. En outre, l'évolution de la distance moyenne entre la station la plus proche et le domicile des abonnés révèle que les nouveaux abonnés habitent toujours à proximité de la zone de déploiement (Figure 7-31). Le 1^{er} juillet la distance moyenne (pour les 4 144 abonnés) est de 1,24 km contre 1,1 km le 30 septembre. L'accroissement du nombre de stations aura permis d'augmenter le nombre d'abonnés, mais le rayon d'attraction des stations semble constant au cours du temps.

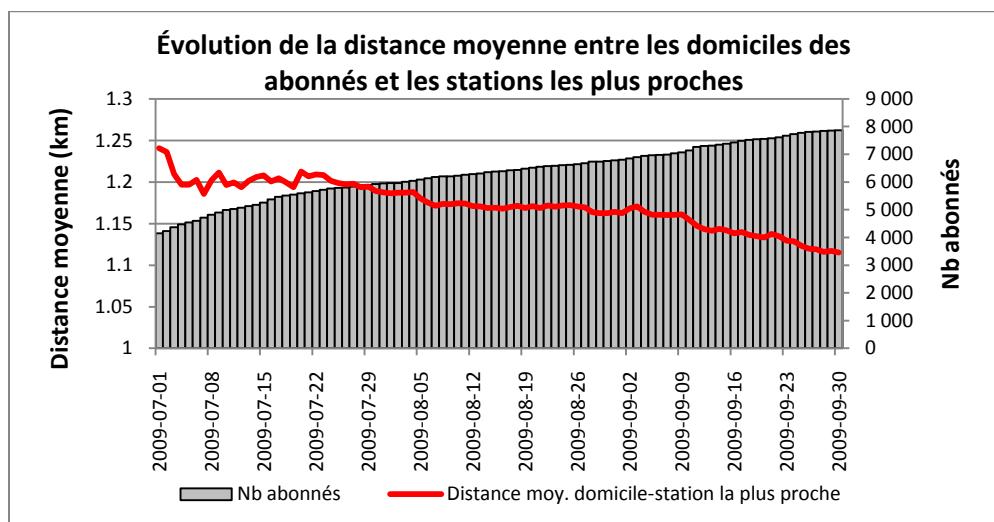


Figure 7-31 : Évolution de la distance moyenne entre les domiciles des abonnés et les stations les plus proches

7.3.5.3 Choix des stations par les usagers

Ce paragraphe s'intéresse principalement aux choix des stations par les usagers du système. La première partie examine les principaux lieux de transactions en fonction du type de clientèle (abonnés et usagers occasionnels) tandis que la seconde partie traite de l'utilisation des stations les plus proches du domicile des abonnés.

7.3.5.3.1 Clientèle des stations

Tout d'abord, il semble intéressant d'essayer de répondre à la question : est-ce que les usagers occasionnels et abonnés utilisent systématiquement les mêmes stations du réseau ou bien y a-t-il des stations principalement utilisées par un des types de clientèle ? L'examen de la distribution

des stations en fonction du type de clientèle permet de répondre en partie à la question (Figure 7-32).

En effet, il apparaît que 9,8 % des stations du réseau ont des taux d'abonnés-station de plus de 80 %. Autrement dit, ceci signifie que ces stations ont quotidiennement plus de 80 % de leurs usagers qui sont abonnés au système. À l'inverse, près de 1,4 % des stations du réseau ont des taux d'usagers-occasionnels-station de plus de 70 %. Ces valeurs extrêmes mettent en évidence que certaines stations ont une clientèle spécifique.

La localisation de ces stations permet de constater que les stations avec des taux d'abonnés-station particulièrement faibles sont principalement situées dans les zones touristiques de la ville (Figure 7-33). Aux abords du stade olympique tout comme dans le vieux port ou à proximité du canal Lachine, les stations ont des taux d'usagers-occasionnels-station très élevés. Par opposition, cette caractéristique permet de faire l'hypothèse que les stations des quartiers Hochelaga-Maisonneuve, Rosemont et Villeray ont des abonnés fidèles puisque les taux d'abonnés-station sont très importants.

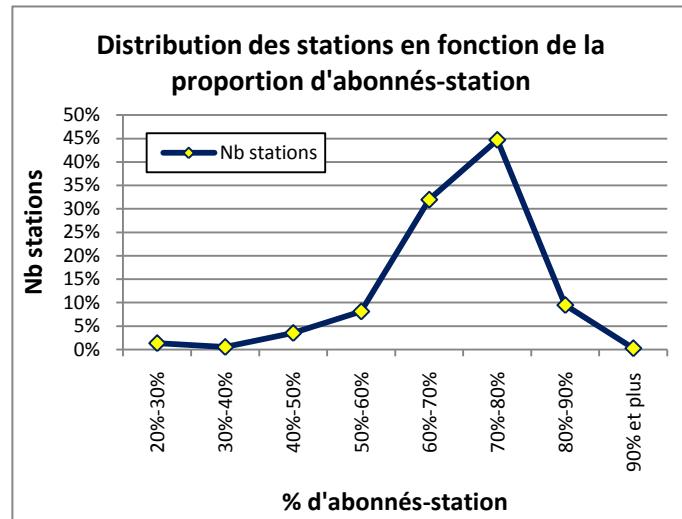


Figure 7-32 : Distribution des stations en fonction de la proportion d'abonnés-station

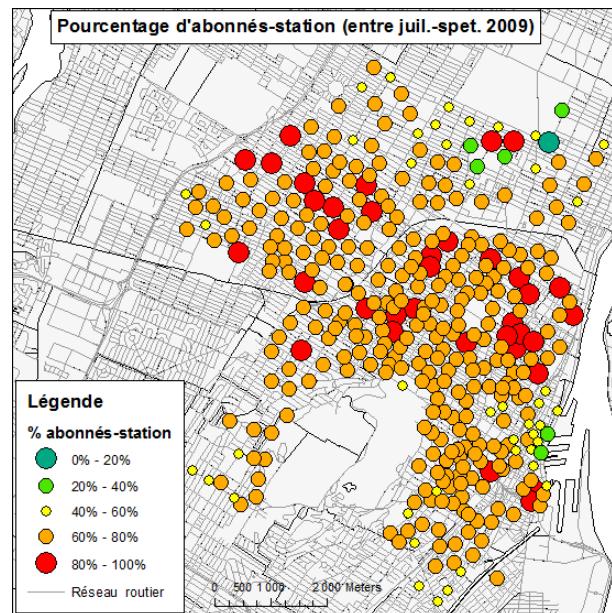


Figure 7-33 : Visualisation des stations en fonction du pourcentage d'abonnés-station

Cependant, des analyses supplémentaires devraient être menées sur ce sujet pour conclure sur les causes réelles faisant que ces quartiers ont proportionnellement plus de stations avec des taux d'abonnés-station élevés. À ce stade, nous pouvons simplement conclure que certaines stations sont anormalement utilisées par une proportion élevée d'un certain type de clientèle.

7.3.5.3.2 Nombre de stations visitées et utilisation de la station la plus proche

La suite de l'analyse porte exclusivement sur les abonnés du système BIXI et s'intéresse aux choix effectués par les abonnés lors de leurs utilisations. En effet, la densité élevée de stations implique que les usagers ont plusieurs choix de stations pour chacun de leur déplacement. La compréhension des comportements de mobilités des abonnés passe alors par l'analyse de leurs choix de stations. Plusieurs questions demeurent : combien de stations différentes les abonnés utilisent-ils ? Est-ce qu'ils utilisent la station la plus proche de leur domicile ? etc. Plusieurs analyses vont alors être présentées afin de donner des pistes de réponses à ces questions.

Pendant les trois mois d'étude, les abonnés ont le choix parmi 369 stations pour effectuer leurs déplacements. En moyenne, les abonnés ont visité 22,6 stations (écart-type $\pm 15,3$) pendant la période d'étude alors que l'abonné le plus mobile a visité 103 stations différentes en trois mois. L'examen des stations utilisées par les abonnés met en évidence qu'un grand nombre d'abonnés n'emprunte et ne dépose leur vélo que sur un nombre restreint de stations.

En effet, 9,5 % des abonnés n'ont visité que 5 stations ou moins pour réaliser l'ensemble de leurs déplacements et 52,6 % en ont utilisé moins de 20 (Figure 7-34). Il apparaît également que 0,6 % des abonnés n'ont employé qu'une seule station, c'est-à-dire que tous leurs déplacements sont des boucles. Cependant, l'analyse révèle qu'une très grande majorité de ces abonnés n'a accompli qu'une seule transaction.

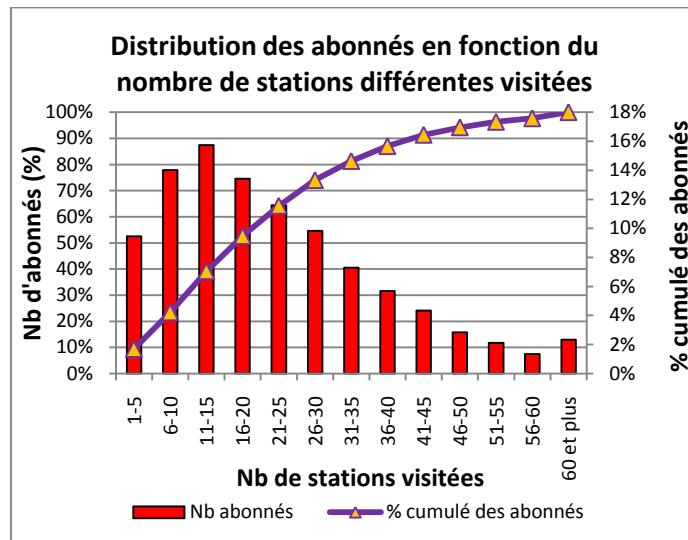


Figure 7-34 : Distribution des abonnés en fonction du nombre de stations différentes visitées

De plus, près de 2,0 % des abonnés n'ont utilisé qu'une seule paire de stations. Ces abonnés réalisent donc un itinéraire exclusif pour tous leurs déplacements. Parmi ces personnes, 40,4 % n'ont accompli qu'une seule opération, mais 17,0 % en ont effectué plus de deux. D'ailleurs, un abonné a réalisé l'intégralité de ses 16 trajets entre la même paire d'origine-destination au cours des trois mois d'étude. L'examen des paires de stations avec des abonnés exclusifs révèle que ceux-ci sont répartis sur tout le territoire et qu'il n'y a pas une paire de stations disposant d'un nombre plus élevé d'abonnés exclusifs.

Ainsi, il ressort de cette analyse que les membres circulent principalement entre un nombre relativement restreint de stations. Il convient tout de même de préciser que le nombre de stations visitées est un indicateur dont l'interprétation doit être menée avec précaution puisque plusieurs usagers se sont probablement servis de plus de stations qu'ils ne l'auraient souhaité du fait des problèmes causés par le manque d'espace de stationnement ou de pénurie de bicyclettes sur les stations qu'ils empruntent généralement.

Dans un second temps, l'analyse des transactions opérées sur les stations les plus proches des domiciles des abonnés met en évidence différents comportements de mobilité. En premier lieu, près de 62,5 % de l'ensemble des membres du système BIXI ont réalisé au moins une opération sur la station la plus proche de leur domicile.

Cette information indique que le positionnement d'une station dans un quartier est primordial, car plus des deux tiers (62,5 %) des personnes à proximité l'utiliseront au moins une fois.

En outre, 1,4 % des abonnés ont utilisé systématiquement la station la plus proche de leur domicile comme origine ou destination de tous leurs déplacements. Ces abonnés effectuent toujours leurs départs ou bien leurs retours à proximité de chez eux.

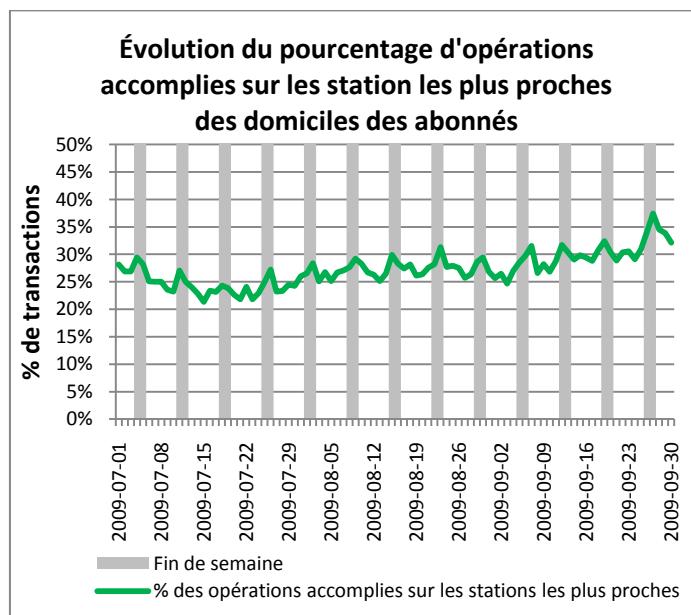


Figure 7-35 : Évolution de la proportion d'opérations accomplies sur les stations les plus proches

Il ressort aussi que 27,2 % des transactions totales (écart-type $\pm 3,0 \%$) ont été opérées sur les stations les plus proches des domiciles des abonnés. La Figure 7-35 met en évidence les variations quotidiennes de la proportion de déplacements réalisées sur les stations les plus proches des domiciles des abonnés. On note qu'il y a régulièrement des pics lors des fins de semaine indiquant que la proportion de déplacements réalisés sur les stations les plus proches des domiciles est plus élevée.

7.3.5.4 Le voisinage des stations

Cette section propose plusieurs analyses permettant de mesurer l'influence et les niveaux d'utilisation des stations en fonction de leur position géographique et celles des abonnés. Plus précisément, évaluer le potentiel d'attraction des stations sur les usagers, mesurer les variations d'activités des stations en fonction de leur environnement et déterminer l'influence de l'implantation d'une station sur l'abonnement des usagers sont les aspects qui seront traités ici. Par ailleurs, précision que la plupart des analyses exécutées reposent sur les localisations spatiales des abonnés (codes postaux des domiciles) et des stations. Or, les analyses ont été menées avec le logiciel ArcGIS, c'est pourquoi les distances calculées dans ce paragraphe sont des distances euclidiennes dont la formule est donnée ci-dessous : soit A ($X_a; Y_a$) et B (X_b, Y_b) deux points dans un système de projection métrique alors la distance euclidienne entre ces deux points est :

$$d = \sqrt{(X_a - X_b)^2 + (Y_a - Y_b)^2}$$

7.3.5.4.1 Potentiel d'attraction des stations

Tout d'abord, pour mesurer les différents niveaux d'attraction des stations, il est intéressant d'observer la dispersion des domiciles des abonnés par rapport aux stations. Pour évaluer le potentiel d'attraction des stations, 4 stations seront étudiées simultanément dont les résultats sont présentés sur la Figure 7-36.

La carte de gauche de la figure indique les positions des domiciles des abonnés ayant utilisé chacune des stations lors de la journée du 10 juillet 2009. Il ressort immédiatement de cette figure que deux stations, celle du métro Mont-Royal et celle du Square Phillips, attirent des personnes beaucoup plus éloignées que les deux autres, situées aux intersections des rues Des Érables/Rosemont et Chambord/Beaubien. De plus, afin de confirmer la tendance qui se dégage

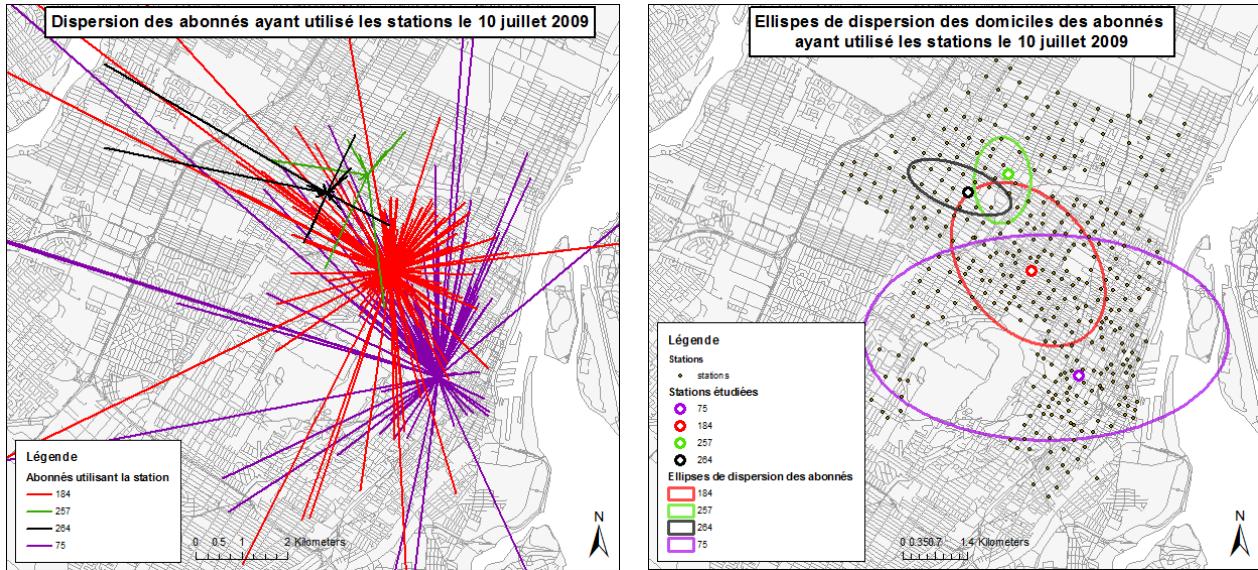
de la première carte, une seconde carte (à droite sur la figure) illustre les ellipses de dispersion des domiciles des abonnés autour des stations. Plusieurs constats peuvent alors être faits sur les potentiels d'attraction des stations.

Premièrement, la station Square Phillips, située dans le centre-ville de Montréal, possède la plus grande zone d'attraction. La distance moyenne entre cette station et les domiciles des abonnés est de 3,9 km (écart-type $\pm 5,67$) et près de 50,6 % des abonnés ayant utilisé cette station résident à plus de 2,1 km de la station. L'aire de l'ellipse est donc très importante puisqu'elle dépasse les 28 km². La position de la station au cœur du centre-ville de Montréal est probablement l'un des facteurs majeurs expliquant l'attraction élevée de cette station. En effet, la densité d'emploi dans cette zone est parmi les plus élevées de la région de Montréal obligeant un grand nombre de personnes à se rendre quotidiennement dans ce secteur pour travailler.

Le second constat concerne la station située au métro Mont-Royal. Cette station est la plus active du réseau BIXI pendant la période d'étude. Bien que le niveau d'activité de la station soit très élevé, la dispersion spatiale des abonnés est moins grande que celle de la station du Square Phillips. Ainsi, la distance moyenne entre les domiciles des abonnés et la station est de 1,8 km et seulement 22,0 % des abonnés résident à plus de 2 km de la station. L'ellipse de dispersion a une superficie de 8,9 km², soit le tiers de la station au Square Phillips. On peut alors faire l'hypothèse que la position stratégique de la station aux abords du métro pourrait jouer un rôle majeur dans son potentiel d'attraction puisque les personnes peuvent emprunter cette station pour se rendre et/ou en sortant du métro. Ceci expliquerait pourquoi le potentiel d'attraction de cette station est plus restreint que celle du centre-ville puisque cette station aurait plutôt un rôle de point de jonction que de destination finale.

Finalement, les deux autres stations illustrent l'attraction de stations situées dans des quartiers résidentiels. On remarque alors que les distances moyennes entre les domiciles des abonnés et les stations sont très faibles (1,4 km et 1,1 km). Ce sont pratiquement exclusivement des abonnés du secteur qui opèrent leurs transactions sur ces stations.

En conclusion, il apparaît que le potentiel d'attraction des stations semble très variable entre les stations. Certaines stations situées dans le centre-ville et à des endroits stratégiques attirent des abonnés très éloignés tandis que celles instaurées dans les quartiers résidentiels sont utilisées pour un marché local.



Stations	75	184	257	264
Localisation station	Square Philippe	Métro Mont-Royal	Des Érables / Rosemont	Chambord / Beaubien
Nb abonnés	91	204	8	19
Distance moyenne (km)	3.87	1.82	1.36	1.1
Écart-type (km)	5.67	2.97	0.98	1.55
Aires Ellipses (Km ²)	28.00	8.85	1.83	1.77

Figure 7-36: Dispersion des abonnés autour de 4 stations pour la journée du 10 juillet 2009

Ensuite, pour mesurer le potentiel d'attraction des stations, deux indicateurs ont été calculés provenant des travaux de Martin (2007) sur l'autopartage. Pour des fins de comparaison, les notations proposées par ce dernier seront conservées.

Le premier indicateur est le nombre d'abonnés résidant dans un rayon r autour d'une station, noté A_{s_r} . Dans le cas du vélopartage, le choix s'est porté sur une distance de 500 m autour des stations. Les abonnés habitant dans ce périmètre sont situés à moins de 7 minutes à pied d'une station BIXI (en gardant l'hypothèse d'une vitesse de $1,2 \text{ m.s}^{-1}$). La carte de gauche de la Figure 7-37 illustre la répartition des stations en fonction du nombre d'abonnés à moins de 500 m (A_{s_500}).

Le nombre moyen d'abonnés à moins de 500 m est de 154 abonnés (écart-type 120,7). En outre, la station à l'intersection des rues Roy et Saint-Denis est celle dont le taux est le plus élevé avec $A_{174_500}=446$ abonnés. Près de 44,2 % des stations ont moins de 100 abonnés résidant à moins de

500 m tandis que 17,1 % des stations en ont plus de 300. Une très large majorité des stations, dont la densité d'abonnés dépasse les 300 abonnés à moins de 500 m, est située dans le secteur du Plateau Mont-Royal.

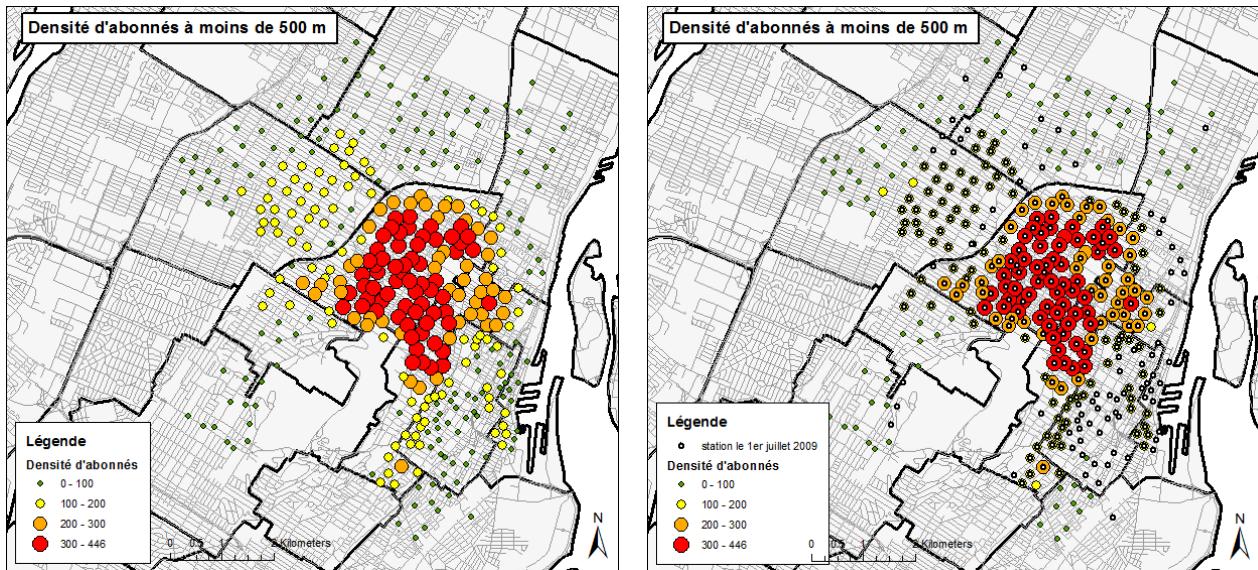


Figure 7-37 : Visualisation des stations en fonction du nombre d'abonnés résidant à moins de 500 m

Par ailleurs, l'ancienneté de la station pourrait être un des critères ayant une influence sur la densité d'abonnés à proximité. En effet, la carte de droite de la Figure 7-37 indique les stations étant en place dès le 1^{er} juillet. La densité moyenne d'abonnés pour ces stations est de 190,0 abonnés (écart-type $\pm 116,6$) habitant à moins de 500 m, soit en moyenne 36 abonnés de plus que pour tout le réseau.

Finalement, il est intéressant de modéliser l'influence du nombre d'abonnés à proximité des stations sur le niveau d'activité de celles-ci. Pour mesurer cette relation, on ne conservera que les opérations d'emprunt en période de pointe du matin (PPAM : 7h-9h). En effet, la période de pointe du matin est le moment pendant lequel les abonnés sont les plus sujets à utiliser la station à proximité de leur domicile. La Figure 7-38 présente la courbe de régression. Le coefficient de détermination ($R^2=0,41$) indique que le nombre d'abonnés résidant à moins de 500 m d'une station permet d'expliquer 41 % de la variabilité des utilisations en période de pointe du matin. Il est intéressant de noter que 5 stations se démarquent des autres. Ces stations, comme la station du métro Mont-Royal, ont des niveaux d'activité qui semblent indépendants du nombre d'abonnés à

proximité. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que ces stations ont un potentiel d'attraction particulièrement élevé par rapport aux autres stations.

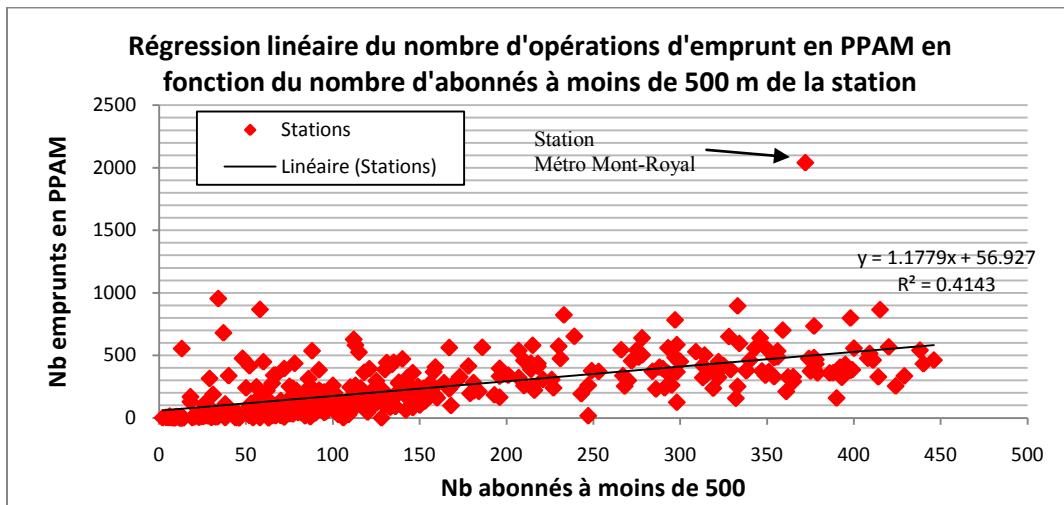


Figure 7-38 : Régression linéaire du nombre d'opérations d'emprunt en PPAM en fonction du nombre d'abonnés à moins de 500 m

Par la suite, le second indicateur est le nombre d'abonnés dont la station s'est la plus proche de leur domicile. Cet indicateur est calculé pour l'ensemble des stations du réseau et sera noté A_{sp} . L'intérêt de cet indicateur réside dans le fait qu'un grand nombre de transactions sont opérées sur la station la plus proche du domicile des abonnés (paragraphe 7.3.5.3.2). Connaître le nombre d'abonnés les plus proches de la station permet alors de planifier à l'avance l'usage potentiel d'une station et aussi la capacité nécessaire de celle-ci pour assurer un fonctionnement optimal pour les usagers.

Dans notre cas, il faut préciser qu'une contrainte majeure vient réduire la pertinence de l'indicateur. En effet, le territoire de déploiement du programme BIXI est relativement restreint en comparaison avec la distribution spatiale des domiciles des abonnés et les stations ont été instaurées au fur et à mesure de la période d'étude. De ce fait, les stations en périphérie de réseau se voient attribuer un très grand nombre d'usagers dont elles sont la station la plus proche (Figure 7-39 carte de gauche). Or, la majorité de ces stations ont été implantées quelques jours seulement avant la fin de la période d'étude et possèdent donc un faible nombre de transactions. Dans notre cas, il faut alors exclure ces stations de périphérie pour pouvoir utiliser l'indicateur de façon plus juste (Figure 7-39 carte de droite). Cependant, soulignons que lorsque le nombre de stations sera moins variable cet indicateur pourra être pertinent pour planifier la demande sur une station.

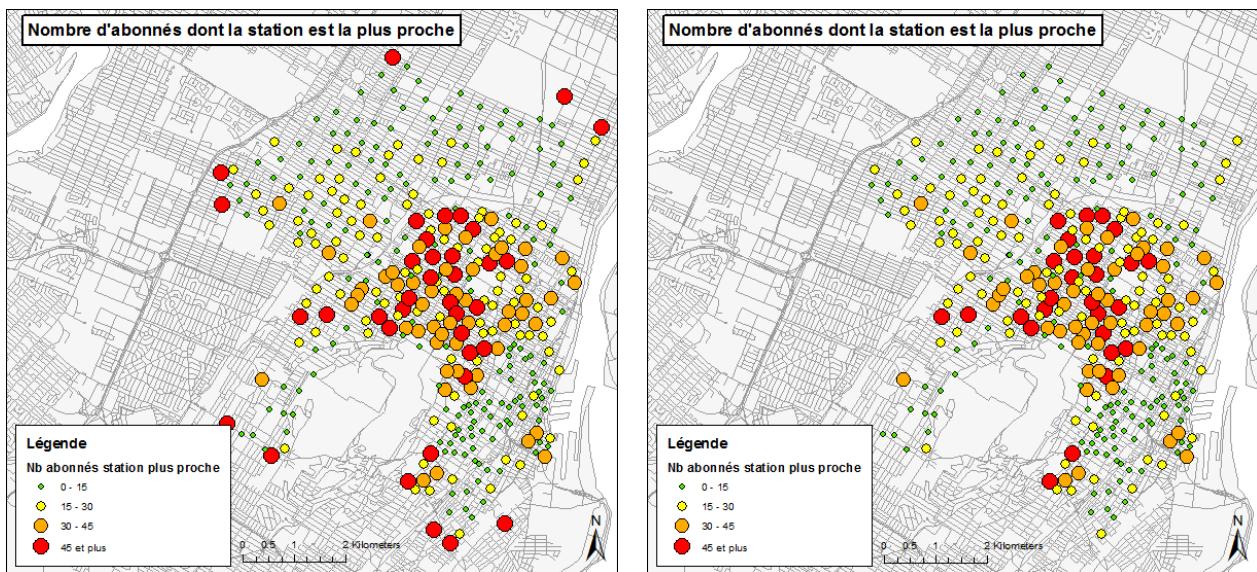


Figure 7-39 : Visualisation des stations en fonction du nombre d'abonnés dont la station est la plus proche de leurs domiciles

Avec l'ensemble des stations incluses, le nombre moyen d'abonnés dont s'est la station la plus proche est de 21,3 (écart-type $\pm 20,36$). Près de 3,8 % des stations n'ont aucun abonné dont elles sont la station la plus proche tandis que 10,0 % des stations ont plus de 45 abonnés dont elles sont la station la plus proche. Dans un second temps, lorsque l'on exclut les stations de périphérie (9 stations concernées, soit 2,4 % de toutes les stations), le nombre moyen d'abonnés dont s'est la station la plus proche s'élève à 19,4 (écart-type $\pm 15,59$).

En outre, comme l'indicateur précédent, il est possible de modéliser l'influence du nombre d'abonnés dont s'est la station la plus proche sur les niveaux d'activités des stations en période de pointe du matin (PPAM). Pour cette relation, le coefficient de détermination révèle que l'influence du nombre d'abonnés pour lequel s'est la station la plus proche ne semble pas être un facteur dominant pour expliquer l'activité d'une station ($R^2=0,15$).

En conclusion, les deux indicateurs proposés permettent d'évaluer le potentiel d'attraction de chacune des stations ainsi que les liens entre la présence d'abonnés à proximité et les niveaux d'utilisation des stations.

7.3.5.4.2 *Impact de l'implantation d'une station*

Dans cette section, l'objectif est de mesurer l'influence de l'implantation d'une station dans une zone sur le nombre d'abonnements au système. En effet, une question importante demeure : est-ce l'implantation d'une station a une influence sur le niveau d'abonnement à proximité de celle-ci? Autrement dit, est-on capable de déterminer combien de personnes vont décider de s'abonner au système du fait qu'une nouvelle station vient d'être instaurée à proximité de leur domicile ? Cependant, les réponses à ces questions sont particulièrement complexes puisque de nombreux facteurs peuvent influencer les choix des individus de s'abonner au système. Cette étude propose plusieurs analyses permettant d'élaborer certaines pistes de réponses à ces questions. Ceci permettra d'avoir une première idée de l'influence du déploiement d'une station sur les niveaux d'abonnement.

La première étude menée permet de mesurer l'évolution du nombre de nouveaux abonnés autour d'une station s. Dans notre cas, l'étude s'intéresse à la croissance du nombre d'abonnés résidant dans un rayon d'un kilomètre autour de la station nouvellement déployée. Les analyses réalisées révèlent que l'augmentation du nombre de nouveaux abonnés 7 jours après l'implantation d'une station est en moyenne de 34,9 nouveaux abonnés (écart-type $\pm 34,0$). De même, après 14 jours de service on dénombre en moyenne 78,9 nouveaux abonnés (écart-type $\pm 65,2$) à moins d'un kilomètre de la station. Par ailleurs, près de 29,0 % des stations ont connu une augmentation de plus de 50 nouveaux abonnés dans les 7 jours suivant leur déploiement tandis que seulement 7,9 % des stations n'ont vu aucune augmentation après 7 jours de service. Ces taux semblent indiquer que l'implantation d'une station a une influence sur le nombre d'abonnements dans sa zone de déploiement. De plus, Figure 7-40 illustre la distribution des abonnés-station en fonction du nombre de jours entre leur abonnement au système et l'implantation des stations à moins d'un kilomètre de leur domicile.

Afin d'expliquer la construction de la figure, il faut préciser que les abonnés du système peuvent être comptabilisés à plusieurs reprises si plusieurs stations se sont implantées à moins d'un kilomètre de leur domicile. Il ressort alors de cette figure qu'un nombre très important de personnes se sont abonnées entre 5 et 15 jours après le déploiement d'une station à proximité de leur domicile. Les abonnés-station situés dans les valeurs négatives indiquent le nombre

d'abonnés étant déjà membre du système lorsque la station a été déployée à proximité de leur domicile.

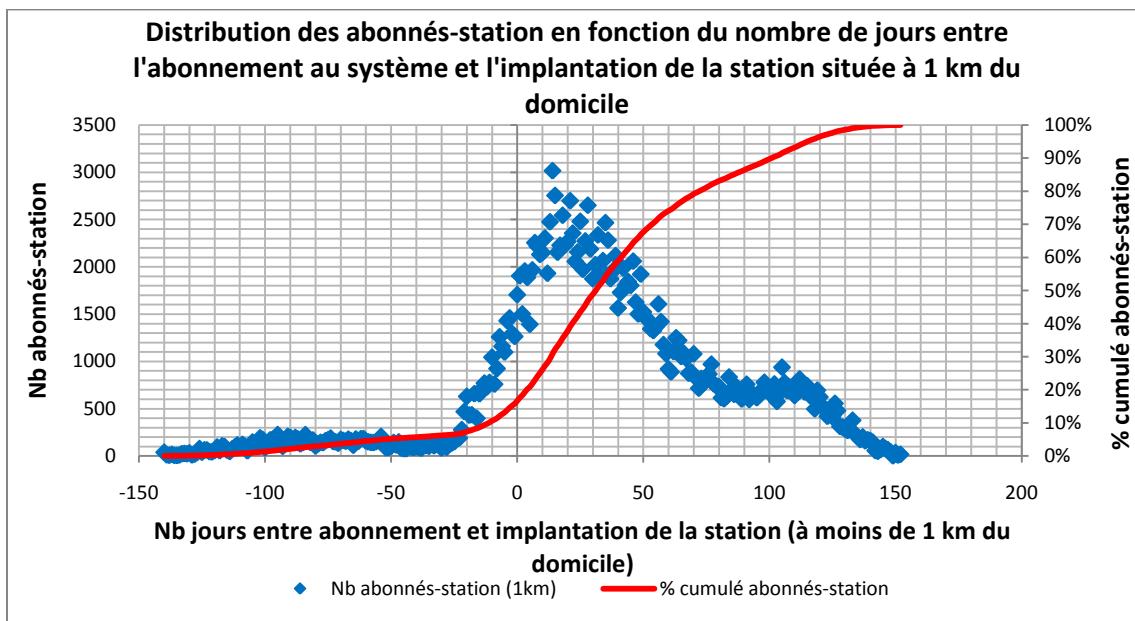


Figure 7-40 : Distribution des abonnés-station en fonction du nombre de jours entre l'abonnement au système et l'implantation de la station

Par ailleurs, dans le but d'illustrer les différents types de comportements relevés, la Figure 7-41 propose un exemple d'analyse pour 9 stations réparties sur tout le réseau. Pour chacune de ces stations, un tableau résume les croissances moyennes du nombre de nouveaux abonnés pour les 14 jours précédents et suivants l'implantation. Précisons que les stations ont été triées par ordre d'apparition sur le réseau. De plus, les courbes de l'évolution du nombre d'abonnés à proximité de ces stations ont également été dessinées. Ces exemples permettent de mesurer si des changements de niveaux d'abonnement sont notables à court terme à la suite d'un déploiement.

Plusieurs constats émergent de ces figures. Tout d'abord, les deux stations 9 et 49 ont été parmi les toutes premières en service. Ceci explique les croissances nulles d'abonnement avant leur instauration. Étant donné que ce sont les premières stations en service, la croissance après leur déploiement est modérée (les individus n'ayant pas forcément connaissance du programme 2 semaines après le lancement). Ensuite, les stations 110, 203 et 169 ont été mises en service près d'un mois après le début du programme. On s'aperçoit que les croissances du nombre d'abonnements ont fortement varié avant et après l'instauration de la station. Par exemple, la station 110 avait en moyenne 5,3 nouveaux abonnés par jour à moins de 1 km de son lieu

d'implantation tandis qu'après sa mise en service en moyenne 11,9 nouvelles personnes s'abonnaient au système quotidiennement. À ce moment-ci, il est possible que l'implantation des stations ait joué un rôle important dans le choix d'une personne de s'abonner au système.

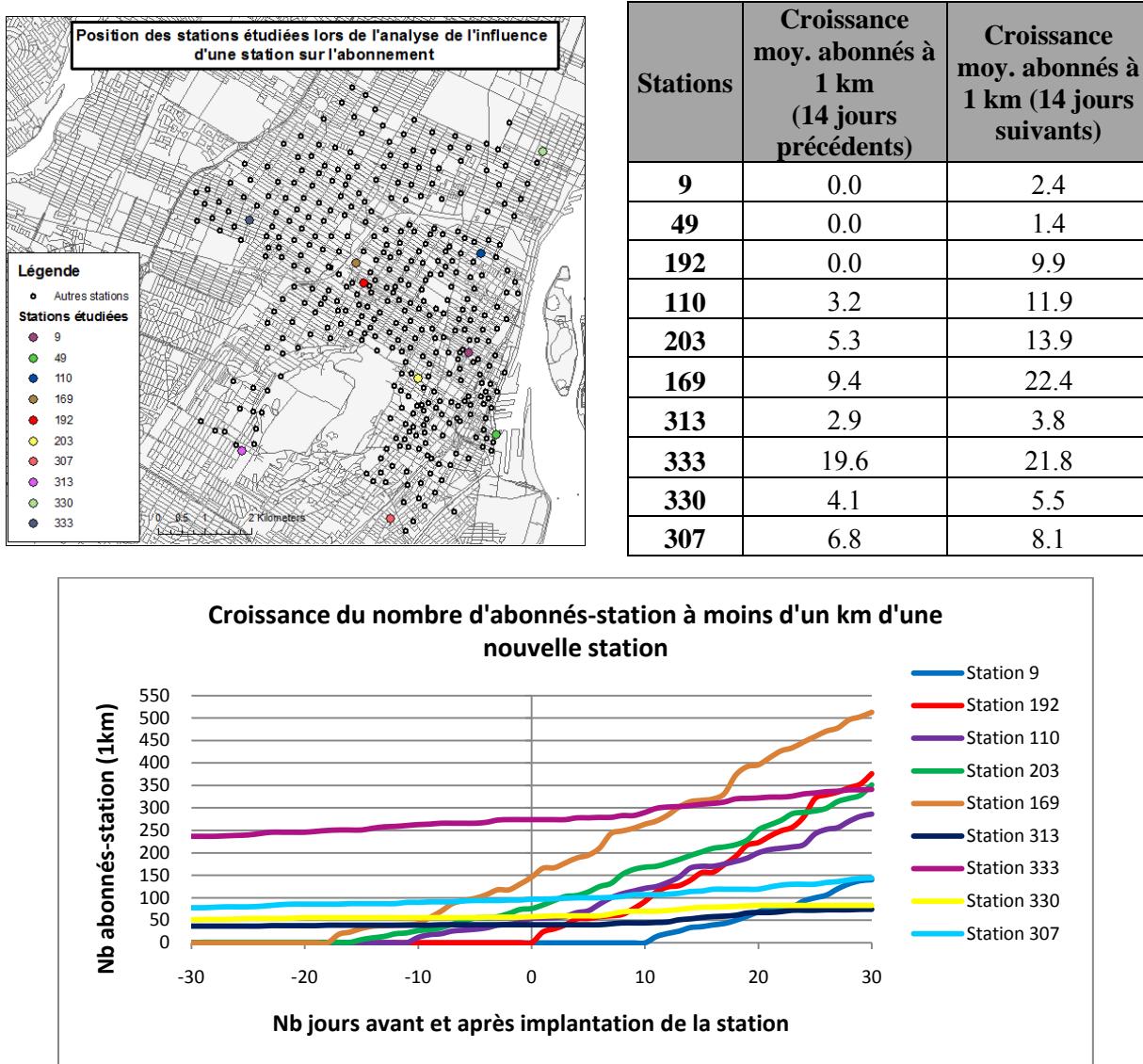


Figure 7-41 : Analyses des niveaux d'abonnement de 9 stations suite à leur déploiement

Enfin, les quatre dernières stations ont été mises en service lors du déploiement de la seconde phase du projet, c'est-à-dire entre la fin du mois d'août et le début du mois de septembre. Pour ces stations le taux de croissance augmente toujours avant et après l'implantation de la station, mais de façon beaucoup plus modérée. Ceci est surprenant puisque les stations sont situées en périphérie de réseau, on s'attendait à ce qu'un grand nombre de personnes s'abonne au programme, du fait de l'augmentation du bassin de population couvert par le programme. De

nombreuses hypothèses peuvent être faites pour expliquer ce phénomène : les quartiers étaient peut-être moins propices au développement du vélo (moins d'infrastructure, éloignement du centre-ville, etc.), le réseau commençait peut-être à arriver à saturation, ou encore parce que les stations sont entrées en service à la fin de la période estivale et le prix de l'abonnement devenait moins attractif. Quoi qu'il en soit, à ce stade nous pouvons simplement conclure que certaines stations semblent avoir joué un rôle important dans l'abonnement des individus résidant dans un périmètre proche.

7.4 Caractéristiques et évolutions des vélos

Cette section vise à présenter les caractéristiques principales des vélos, derniers composants des systèmes de vélopartage. Ces analyses permettront de définir plusieurs indicateurs généraux caractérisant les niveaux d'activités des vélos au cours de la période d'étude. Il faut rappeler qu'aucune table de données ne fournit un suivi détaillé de chacune des bicyclettes du réseau. Par conséquent, l'ensemble des analyses repose sur l'exploitation de la table de données des transactions ainsi que sur celle de suivi des transferts planifiés par le personnel.

7.4.1 Volume et fréquence d'utilisation

La première partie fait la présentation des volumes de vélos disponibles ainsi que des fréquences d'utilisation de ceux-ci en complément des informations présentées au paragraphe 7.1.

Le 30 septembre 2009, 3 616 vélos différents étaient en service sur le réseau, soit une croissance de 157,2 % pour les trois mois d'étude (Figure 7-42). Il convient de différencier le nombre de vélos disponibles du nombre de vélos utilisés lors de la période d'étude. En effet, plusieurs vélos vont être usés et remplacés par de nouveaux vélos au cours de la période d'étude. Ainsi, il y a 3 616 vélos disponibles le 30 septembre 2009, mais, à cette même date, la table de données des transactions révèle que plus de 4 397 vélos (\mathbb{V}) différents ont été installés et utilisés dans le système au cours des trois mois d'étude.

On recense alors 160 184 vélos-jour pour les trois mois d'analyse, dont 139 333 vélos-jour ont été actifs (87,0 %). Le nombre moyen de vélos-jour est de 1 741 (écart-type $\pm 644,3$) tandis que le nombre moyen de vélos-jour actifs s'élève à 1 514 (écart-type $\pm 373,4$). Il faut noter que sur la Figure 7-42 le nombre de vélos-jour actifs est plus important que le nombre de vélos-jour entre le

15 juillet et le 5 août. Ceci signifie que pendant ces journées, le nombre de vélos ancrés à 4h du matin sous-estime le nombre de vélos disponibles pendant la journée.

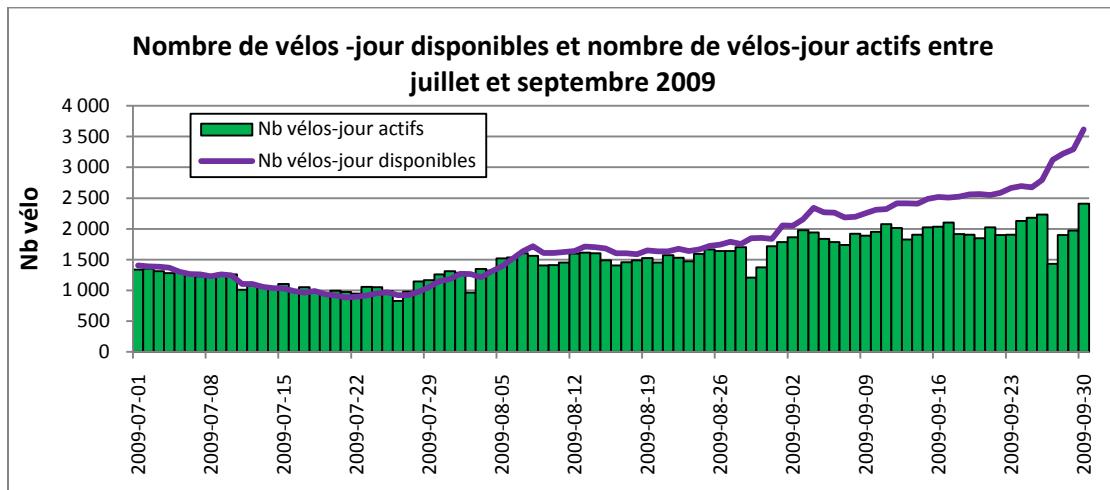


Figure 7-42 : Nombre de vélos-jour disponibles et de vélos-jour actifs entre juillet et septembre 2009

Au niveau de la fréquence d'utilisation, les vélos réalisent en moyenne 4,5 déplacements quotidiennement (écart-type $\pm 1,53$). Cependant, l'évolution du nombre de vélos a été très importante lors du déploiement de la seconde phase du projet à partir de la fin du mois d'août.

Ainsi, l'analyse de la fréquence d'utilisation des vélos est de 6,0 pour le mois de juillet (écart-type $\pm 1,10$), de 4,3 pour le mois d'août (écart-type $\pm 0,92$) et de 3,1 pour le mois de septembre (écart-type $\pm 0,75$). Or, pendant ces trois mois, le nombre moyen de transactions était de 6 504 transactions pour le mois de juillet, 6 885 transactions pour le mois d'août et de 7 498 transactions pour le mois de septembre.

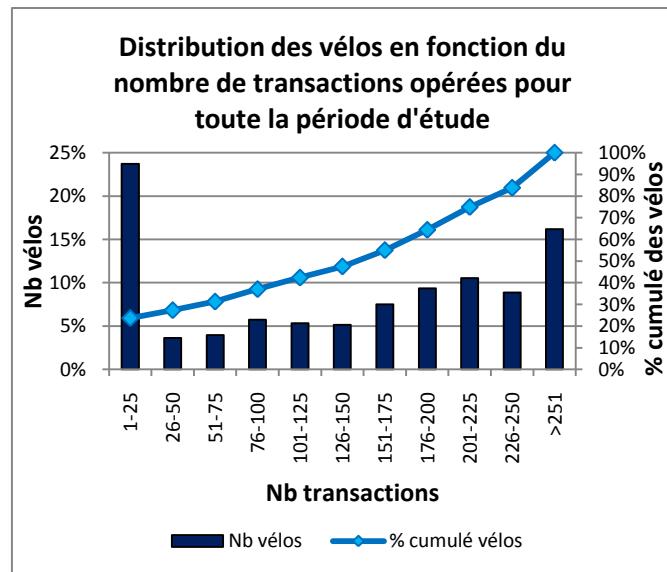


Figure 7-43 : Distribution des vélos en fonction du nombre de transactions

La diminution de fréquence d'utilisation des bicyclettes est donc uniquement induite par l'augmentation plus rapide du nombre de vélos sur le réseau comparativement à la croissance des transactions.

Par ailleurs, la Figure 7-43 présente la distribution des bicyclettes en fonction du nombre d'utilisations. L'analyse de l'activité des vélos les plus actifs révèle que 26,7 % des vélos les plus actifs ont permis de réaliser 50,0 % des transactions (Figure 7-44). De même, 50,0 % des vélos les plus actifs ont permis d'accomplir 80,8 % des transactions. Ceci signifie que les 50,0 % de bicyclettes restantes ont servi à accomplir seulement 19,2 % des transactions. Finalement, on remarque que les 25,0 % de vélos les moins actifs ont été empruntés dans seulement 1,6 % des transactions. Ceci met en lumière l'écart d'utilisation entre les bicyclettes.

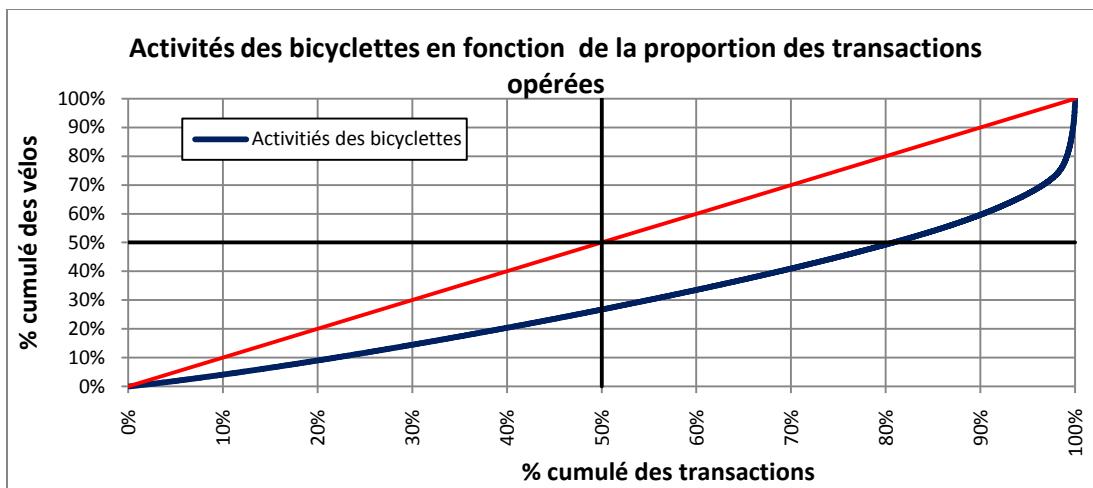


Figure 7-44 : Proportion de l'utilisation des vélos en fonction de la proportion de transactions

Par ailleurs, l'analyse de la mobilité des bicyclettes révèle que les vélos visitent en moyenne près de 2,8 stations quotidiennement (écart-type $\pm 1,19$), pour une moyenne, sur la période étudiée, de 94,0 stations différentes visitées par bicyclette (écart-type $\pm 55,6$). En outre, la distribution des bicyclettes en fonction du nombre de stations visitées montre que 16,7 % des vélos n'ont pas circulé dans plus de 10 stations différentes au cours de la saison étudiée tandis que 21,6 % en ont visitées plus de 130.

Parallèlement, le même type d'étude a été réalisé en considérant le nombre d'usagers différents utilisant les bicyclettes. Ainsi, les vélos sont utilisés en moyenne par 2,4 usagers différents quotidiennement (écart-type $\pm 1,06$), ce qui donne un nombre moyen de 137,3 usagers différents par bicyclettes pour toute la période d'étude (écart-type $\pm 98,1$). La Figure 7-45 montre

également que près de 17,3 % des bicyclettes ont été empruntés en moyenne par moins de 10 usagers. À l'opposé, 39,0 % des vélos ont été utilisés par plus de 180 personnes différentes. À première vue, ces chiffres peuvent sembler très faibles, cependant deux aspects doivent être précisés : d'une part, les variations quotidiennes sont très importantes au cours de la période d'étude puisque comme nous l'avons précisé précédemment le nombre de bicyclettes disponibles a augmenté considérablement au mois d'août; et d'autre part, les vélos ne sont pas utilisés tous les jours ce qui a pour effet de réduire considérablement le taux du nombre de personnes les empruntant quotidiennement (pour plus d'information, voir le paragraphe 7.4.2 sur les temps d'utilisation des vélos).

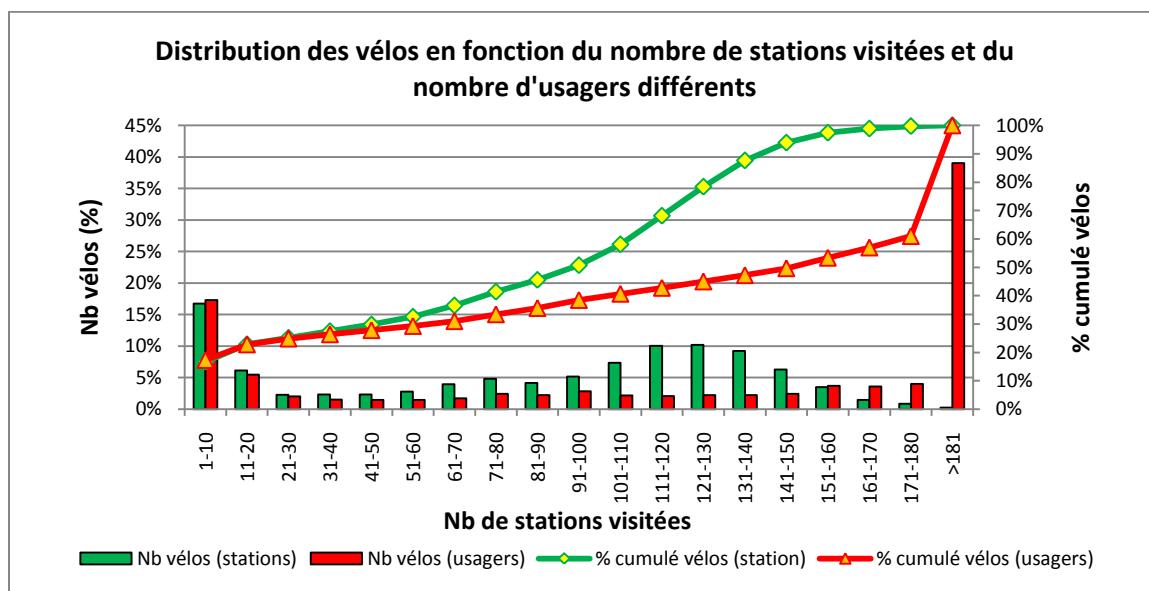


Figure 7-45 : Distribution des vélos en fonction du nombre de stations visitées et du nombre d'usagers différents transportés

7.4.2 Temps roulé, temps stationné et taux d'utilisation des vélos

Les études suivantes ont pour objectif de mesurer les caractéristiques opérationnelles des bicyclettes au cours du temps. Les indicateurs proposés nous renseignent sur les disparités dans les niveaux d'utilisation des vélos au cours de la période d'étude ainsi que sur la mobilité des bicyclettes.

Tout d'abord, le premier indicateur calculé est le temps de service de chacune des bicyclettes. Pour les trois mois d'étude, le temps moyen de service des vélos est de 1 285,6 heures (écart-type

$\pm 786,9$), soit en moyenne 53,6 jours de service par vélo (sur les 92 jours à l'étude). La distribution des vélos en fonction de leur temps moyen de service est donnée sur la Figure 7-46.

Il est alors possible de segmenter les vélos en trois catégories : les vélos très récemment implantés dans le réseau (21,1 % des vélos ont moins de 10 jours de service cumulé), les vélos déployés à la moitié de la période d'étude (28,6 % des vélos ont entre 50 et 75 jours de service) et les vélos en service pour toute la période d'étude (38,1 % des vélos ont plus de 83 jours de service cumulés, soit plus de 90 % de la période d'étude).

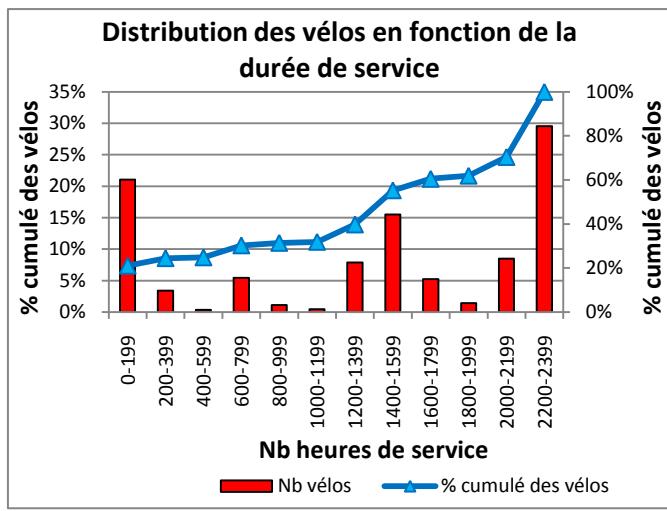


Figure 7-46 : Distribution des vélos en fonction de leur durée de service

Ensuite, lorsqu'un vélo est en activité, il est possible de découper le temps de service en deux temps élémentaires : le temps stationné et le temps roulé. Pour l'ensemble des vélos du réseau, le temps total de stationnement est de 5 470 348 vélos-heures. Le temps roulé par l'ensemble du parc de bicyclettes est de 182 369 vélos-heures pour les trois mois d'étude. En s'intéressant au système entre 7h et 21h, le temps de stationnement correspond à 2 955 211 vélos-heures tandis que le temps roulé vaut 158 335 vélos-heures. Ainsi, pour l'ensemble du réseau pendant les trois mois d'étude, le taux d'utilisation (Γ_v) des bicyclettes est de 3,2 %. En analysant uniquement la plage horaire de 7h à 21h, le temps circulé par la flotte est de 5,1 % du temps total de service. Ceci met en avant le fait qu'une très large majorité du temps de roulement (86,8 %) a lieu pendant la journée. Par ailleurs, la Figure 7-47 révèle les niveaux de temps stationné et roulé pour chaque jour d'étude. Le temps moyen roulé quotidiennement est de 1982,3 vélos-heures (écart-type $\pm 508,7$).

Il faut être vigilant dans l'interprétation de cette figure puisque nous ne connaissons pas exactement le nombre de vélos disponibles chaque jour. L'hypothèse de départ voulant que la flotte soit égale au nombre de vélos stationnés à 4h du matin a été utilisée pour tracer ce graphique. Ainsi, pendant plusieurs jours à la mi-juillet, le nombre de bicyclettes présentes sur le

réseau a diminué, d'où un pourcentage de temps de roulement plus important lors de ces journées. Les temps roulés sont donc très faibles comparativement au temps de stationnement.

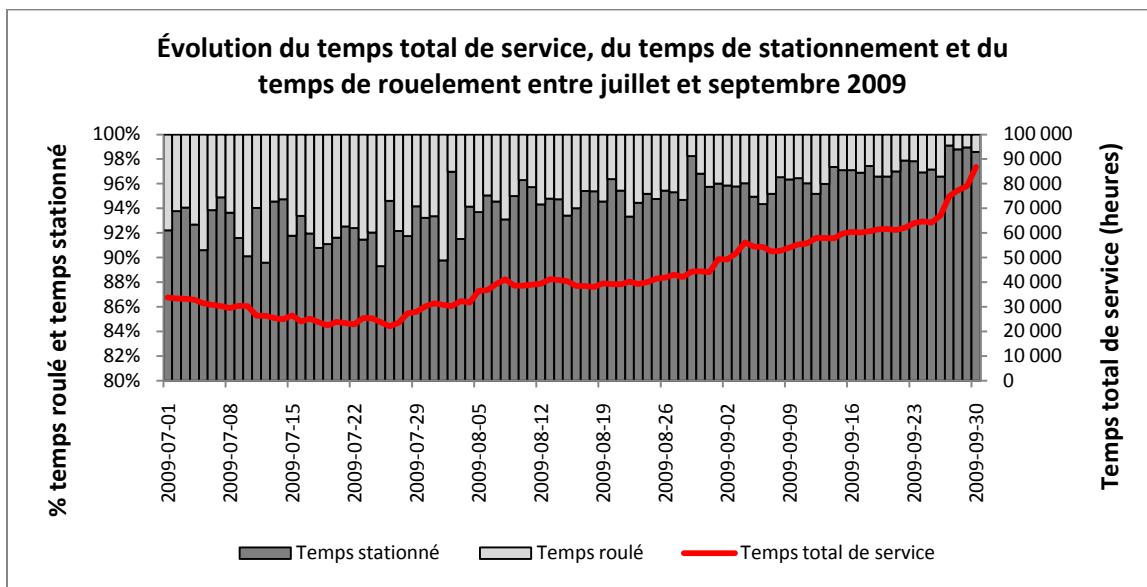


Figure 7-47: Évolution du temps total de service, du temps de stationnement et du temps de roulement entre juillet et septembre 2009

Par ailleurs, une des explications de ces très faibles temps de roulement provient du principe même du vélopartage puisque l'objectif est de réduire les temps de parcours afin de maximiser les utilisations des vélos et d'assurer une redistribution constante des vélos sur le réseau. Ainsi, près de 92,4 % des vélos ont passé plus de 95 % de leur temps de service ancrés à une station. Ceci confirme que les bicyclettes passent la majorité de leur temps de service ancrés à une station.

7.4.3 Pseudo-distances de parcours et durées d'utilisation des vélos

L'objectif de ce paragraphe est de présenter deux caractéristiques opérationnelles des bicyclettes, à savoir les pseudo-distances de parcours ainsi que les durées d'utilisation des vélos.

La première caractéristique est la durée moyenne de temps roulé par vélo. Cet indicateur correspond au temps roulé présenté précédemment, sauf que dans ce paragraphe nous détaillerons les informations au niveau des vélos sélectionnés individuellement. Ainsi, la durée moyenne d'utilisation (ou temps moyen roulé) d'un vélo est de 41,4 heures (écart-type $\pm 30,6$). Ceci donne une moyenne de 43 minutes de roulement par vélo et par jour de service. Près de 24,1 % des

vélos ont été utilisés en moyenne plus d'une heure quotidiennement tandis que 10,2 % ont roulé pendant moins de 15 minutes chaque jour. Ces différences s'expliquent principalement du fait qu'un très grand nombre de vélos ont été ajoutés simultanément sur le réseau en fin de période d'étude malgré que la demande n'ait pas augmenté de façon aussi importante sur la même période. Ainsi, un grand nombre de vélos ont été ajouté alors qu'ils n'étaient pas indispensables pour assurer l'ensemble des déplacements des usagers.

Une approche similaire a été adoptée pour mesurer les pseudo-distances parcourues par les bicyclettes. Les vélos ont parcouru en moyenne près de 322,8 km pour toute la période d'étude (écart-type $\pm 230,8$) (cette pseudo-distance n'inclut pas les transferts par le personnel puisqu'elle est réalisée en camion). Ceci représente une moyenne de 6,1 vélos-km par jour pour l'ensemble des vélos du réseau. Par ailleurs, près de 5,1 % des vélos ont franchi plus de 10 km quotidiennement alors que 8,1 % des vélos ont parcouru moins de 1 km chaque jour de service. Enfin, le vélo ayant le plus voyagé pendant les trois mois d'étude a parcouru près de 990 km, soit une moyenne de plus de 11 km par jour depuis le 1^{er} juillet 2009.

7.4.4 Nombre et durée des transferts

Comme il a déjà été mentionné, les vélos sont redistribués sur le réseau de deux manières différentes : soit par les usagers lorsqu'ils accomplissent un déplacement, soit par le personnel technique de l'opérateur BIXI. Cette section a alors pour but de quantifier les transferts réalisés par le personnel technique afin d'évaluer l'importance de ces activités sur les mouvements des vélos. Ces analyses reposent sur l'exploitation de la table de données des transferts. Toutes les opérations réalisées par le personnel technique sont consignées dans cette table que ce soit des transferts de bicyclettes pour améliorer la redistribution des vélos sur le réseau ou bien des transferts suite à des bris matériels sur les vélos. D'ailleurs, il n'est pas possible de différencier ces deux types d'activité au sein de la table. L'analyse des temps de transfert pourrait donner un indice sur la nature du transfert puisque l'on peut supposer qu'un transfert pour la redistribution des vélos n'excède pas plusieurs heures alors qu'un transfert pour réparation peut durer plusieurs jours, mais ceci ne reste qu'une hypothèse.

Pour les trois mois d'étude, 55 163 opérations de transferts ont été enregistrées dans la table des transferts, soit une moyenne de 599,6 opérations par jour (écart-type $\pm 224,8$). Parmi tous ces

transferts, 10 679 (19,4 %) concernent des opérations effectuées sur la même station, c'est-à-dire que le vélo a été retiré, puis réinséré dans la même station. On peut supposer que ces opérations sont issues d'un processus de vérifications des points d'ancrage d'une station. D'ailleurs, 69,9 % de ces opérations ont des durées de moins d'une minute et 97,4 % de moins d'une heure confirmant l'hypothèse d'une vérification des points d'ancrage.

Les 44 484 transferts restant sont accomplis entre deux stations différentes. Près de 82,8 % des transferts durent moins de deux heures tandis que près de 3,5 % des opérations ont des durées dépassant les 24h. L'hypothèse posée ici consiste à dire que les transferts dépassant 24h sont des opérations d'entretien des vélos et ceux de moins de 24h sont des opérations de redistribution des vélos. En excluant les durées de plus de 24h, la durée moyenne des opérations de transferts est de 76 minutes (1h16) (écart-type $\pm 108,2$). En conservant ces hypothèses et pour les trois mois d'étude, le nombre de transferts par vélo disponible est de 0,28. La Figure 7-48 illustre l'évolution du nombre de transferts par vélo, de moins de 24h entre des stations différentes pour la période d'étude.

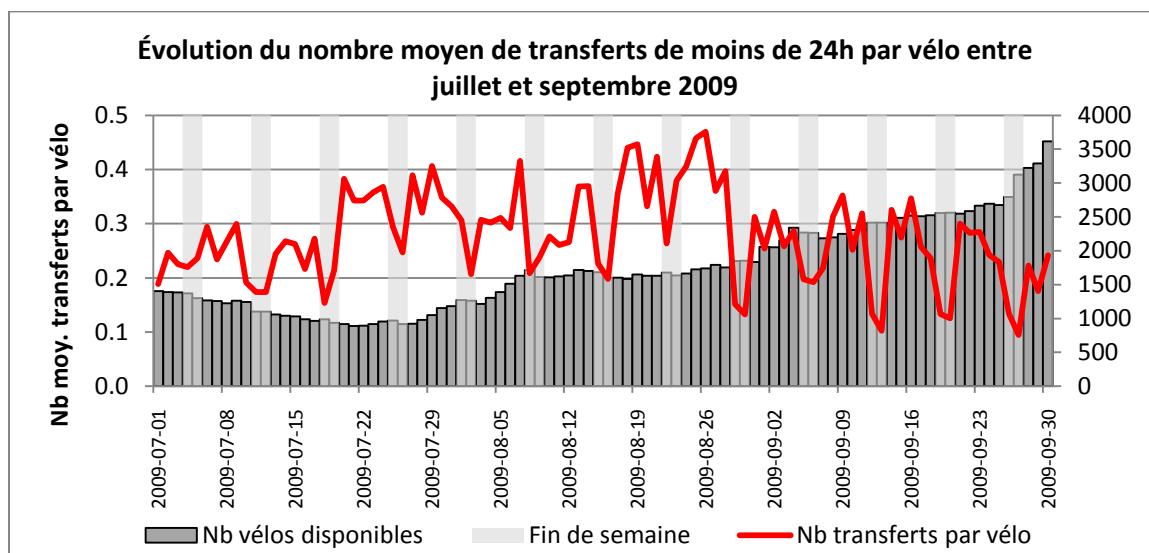


Figure 7-48 : Évolution du nombre de transferts par vélo entre juillet et septembre 2009

On s'aperçoit que le nombre de transferts par vélo chute systématiquement les fins de semaine. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les mouvements pendulaires sont moins importants lors des fins de semaine, induisant une réduction de la redistribution des vélos à accomplir (voir le paragraphe 7.5.1). Une autre explication possible serait que les effectifs du personnel technique

sont moins nombreux lors des fins de semaine, réduisant du même coup le nombre de transferts réalisés.

Finalement, la dernière analyse concerne les stations sur lesquelles les opérations de transferts ont eu lieu. Le nombre moyen de transferts par station pour toute la période d'étude est de 120,6 (écart-type $\pm 285,0$). Cependant, les 44 484 transferts réalisés par le personnel BIXI pendant les trois mois d'étude ne sont pas distribués uniformément entre les stations du réseau (Figure 7-49) :

- 50 % des vélos transférés sont issus de 6,6 % des stations du réseau
- 50 % des vélos transférés sont réinsérés dans 13,1 % des stations du réseau
- Sur 5,1 % des stations, aucune bicyclette n'a été empruntée par le personnel technique
- Dans 0,5 % des stations, aucune bicyclette n'a été déposée par le personnel technique

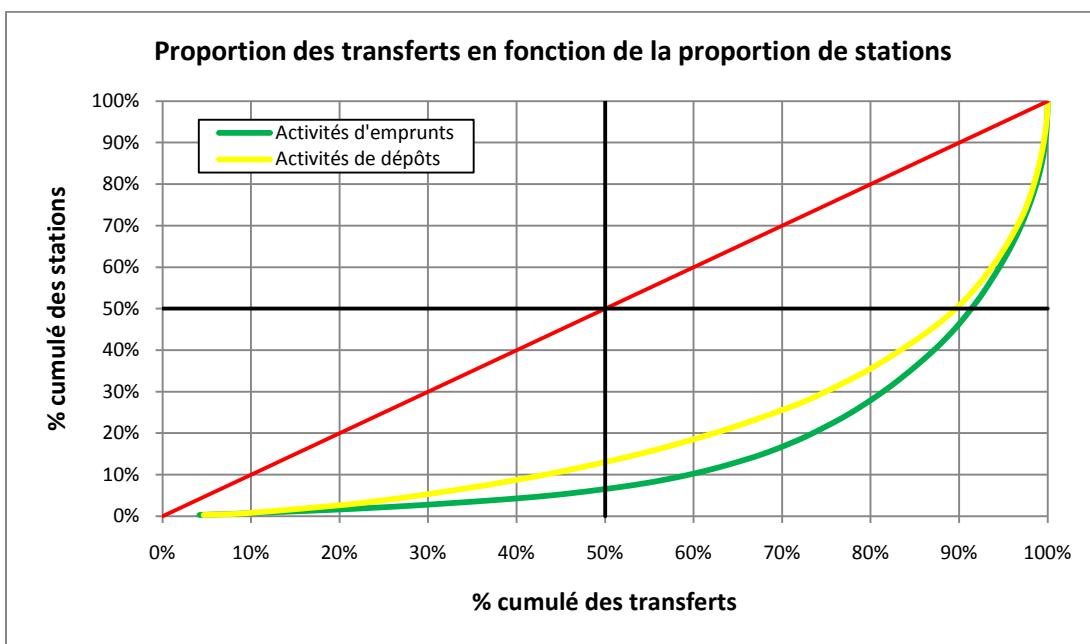


Figure 7-49 : Proportion de transferts en fonction de la proportion de stations

Pour conclure, les transferts par le personnel technique représentent 8,6 % des transactions totales, c'est pour cette raison que l'analyse de ces transferts sera approfondie dans le Chapitre 8 lors de la caractérisation des stations par des indicateurs de performance.

7.4.5 Exemple de suivi de vélos dans le temps

Pour illustrer les différents indicateurs calculés sur les bicyclettes, ce paragraphe présente un exemple de suivi de 4 vélos pendant trois jours consécutifs. Ces exemples permettent de visualiser et comprendre l'utilisation des vélos dans le temps (Figure 7-50).

	Vélo 5	Vélo 25	Vélo 50	Vélo 96
Déplacements				
Nombre	13	16	15	19
Fréquence	4,3	5,3	5	6,3
Temps roulé (h)	15.8	5.4	9.0	20.1
Temps stationné (h)	56.2	66.6	63.0	51.9
Taux d'utilisation	21.9 %	7,5 %	12.5 %	27.9 %
Distance (km)	23.9	43.3	27.6	50.7
Vitesse moy. parcours (km/h)	1.5	8.1	3.1	2.5
Transferts				
Nombre	1	4	1	0
Durée (min)	346	274	120	0
Distance (m)	2.5	15.4	1.2	0

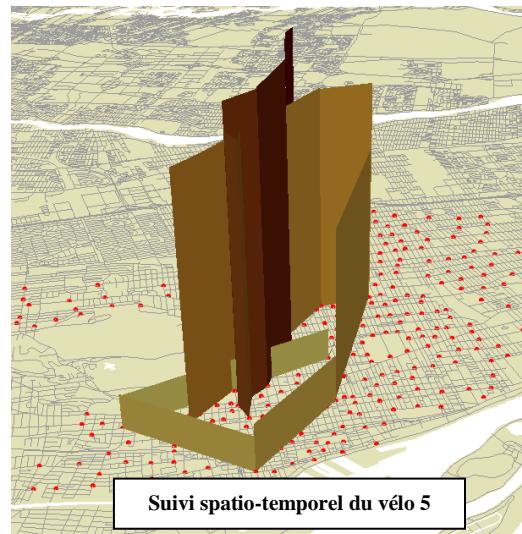
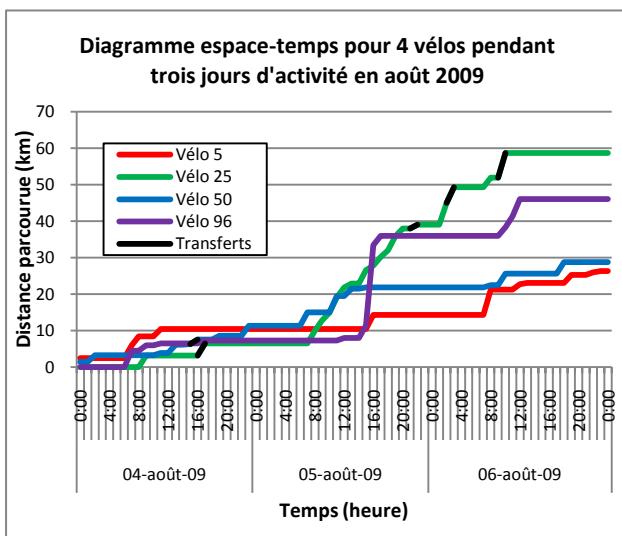
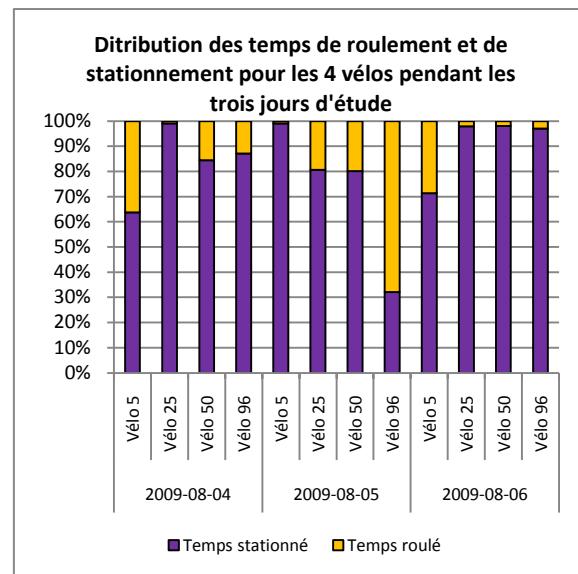


Figure 7-50 : Exemple de suivi de 4 vélos pendant trois jours consécutifs

Les indicateurs révèlent plusieurs distinctions d'utilisation entre ces 4 vélos. Tout d'abord, l'étude de la relation entre la fréquence d'utilisation et le temps roulé est très significative. En effet, le vélo 5 a la plus faible fréquence d'utilisation avec 4,3 déplacements journaliers, mais le

temps roulé est le deuxième plus important avec 15,8 heures d'utilisation cumulée. À l'inverse, le vélo 25 a une fréquence de 5,3 opérations quotidiennes pour un temps cumulé de roulement de 5,4 heures. Comme la distance totale parcourue par le vélo 25 est de 43,3 km contre 23,9 km pour le vélo 5, on peut conclure que les usagers du vélo 25 se déplacent beaucoup plus rapidement que ceux du vélo 5. Le calcul de la vitesse virtuelle moyenne de déplacement des vélos confirme ce constat. La carte en bas à droite de la Figure 7-50 illustre le suivi spatio-temporel du vélo 5. L'axe z représente le temps alors que les positions sur la carte sont les coordonnées (X-Y) des stations dans lesquelles le vélo a été emprunté et déposé. On s'aperçoit que pendant ces trois jours le vélo a voyagé dans de nombreuses stations du réseau.

En outre, malgré une forte fréquence d'utilisation pour le vélo 25, le taux d'utilisation de ce vélo est particulièrement faible (7,5 %) comparativement à des taux d'utilisation de plus de 20 % pour les vélos 5 et 96. Finalement, le vélo 25 a subi 4 transferts par le personnel en seulement 3 jours. Le vélo a d'ailleurs été déplacé deux fois par le personnel lors d'une même journée. Par contre, les transferts du vélo 25 ont été très rapides (274 minutes pour 4 transferts, soit une moyenne de 68,5 minutes par transfert) comparativement au transfert des vélos 5 et 50 dont les durées excèdent les deux heures par transfert.

7.5 Caractéristiques et évolutions des déplacements

La dernière section de ce chapitre a pour objectif de présenter les différents indicateurs relatifs aux déplacements pour permettre de comprendre les comportements de mobilité des usagers du système de vélopartage BIXI. Plusieurs volets seront abordés: la distribution temporelle des déplacements, les pseudo-distances de déplacements, les durées de déplacements, les vitesses virtuelles de déplacements ainsi qu'une section sur la comparaison des temps de parcours entre plusieurs paires d'origine-destination.

7.5.1 Évolution temporelle des déplacements

D'après notre échantillon de trois mois de données, il s'avère que l'utilisation quotidienne du système est très variable. Plusieurs événements peuvent être mentionnés comme étant des facteurs potentiellement responsables de ces variations : les jours de congé, les fins de semaine, les conditions météorologiques, le nombre d'usagers occasionnels ainsi que les événements festifs de la ville. Dans cette section, nous ne nous attarderons pas à identifier ces événements;

nous en constatons seulement les effets. Par ailleurs, il sera mis en évidence différents comportements de mobilité en fonction des types de clientèle du service de vélopartage.

7.5.1.1 Distribution générale des déplacements

La première étude présente la distribution générale des déplacements au cours de la période d'étude. Plusieurs informations concernant la distribution des déplacements ont déjà été énoncées au paragraphe 7.2.3. Pour résumer, pendant les trois mois d'étude 640 014 transactions ont été accomplies dans le système, soit une moyenne de 6 957 transactions journalières (écart-type \pm 1269,4). La Figure 7-51 permet de constater la variabilité quotidienne du nombre d'opérations dans le système entre juillet et septembre 2009. On remarque un comportement très différent entre les usagers occasionnels et les abonnés puisque la proportion d'abonnés est systématiquement plus importante pendant les semaines que les fins de semaine. D'ailleurs, on note sur la figure une fin de semaine de trois jours consécutifs pendant lesquels les abonnés sont moins nombreux. Cette fin de semaine inclut la fête du Travail, expliquant le faible nombre d'abonnés puisque c'est un jour férié. Ce constat permet de formuler l'hypothèse que les abonnés utilisent davantage ce mode de transport pour accomplir des déplacements contraints (travail et études) tandis que les usagers occasionnels ont plutôt recours au système pour des déplacements récréatifs. Nous tâcherons de valider cette hypothèse au fur à mesure de la présentation des résultats concernant les caractéristiques des déplacements.

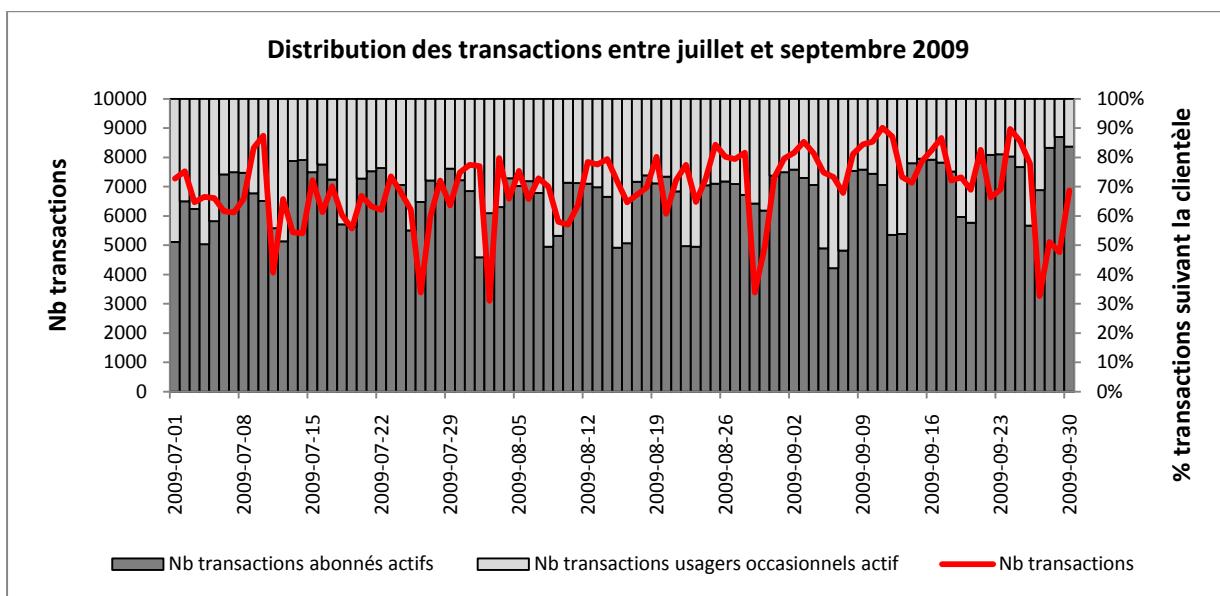


Figure 7-51 : Distribution des transactions entre juillet et septembre 2009

7.5.1.2 Distribution hebdomadaire des déplacements

La distribution des déplacements en fonction des jours de la semaine confirme l'existence des deux comportements de mobilité suivants que l'on soit un jour de semaine ou bien un jour de fin de semaine (Tableau 7-5). Lors d'un jour de semaine, le nombre moyen de transactions est de l'ordre de 6 843 transactions, dont 72,6 % sont réalisées par les abonnés, tandis que pendant les fins de semaine, le nombre moyen de transactions est de 5 750 dont 46,3 % sont accomplies par les usagers occasionnels.

Tableau 7-5 : Distribution des déplacements en fonction des jours de la semaine

Déplacements	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
Nombre de déplacements	86 495	88 742	103 666	99 842	100 273	87 272	73 724
% des déplacements totaux	13.5%	13.9%	16.2%	15.6%	15.7%	13.6%	11.5%
Nombre de déplacements par les membres	61 945	67 018	76 391	72 748	69 603	46 116	40 296
% des déplacements totaux	71.6%	75.5%	73.7%	72.9%	69.4%	52.8%	54.7%
Nombre de déplacements par les usagers occa.	24 550	21 724	27 275	27 094	30 670	41 156	33 428
% des déplacements totaux	28.4%	24.5%	26.3%	27.1%	30.6%	47.2%	45.3%
Déplacements / Membres	1.99	1.99	2.06	2.05	2.05	2.08	2.02
Déplacements / Usagers occasionnels	1.84	1.72	1.77	1.77	1.74	1.87	1.81
Déplacements / bicyclettes	3.9	3.9	4.1	4.5	4.5	3.9	3.3

Il est aussi intéressant de visualiser la répartition spatiale des déplacements en fonction des jours de semaine. Le but est d'évaluer si les personnes utilisent des paires de stations similaires pendant la semaine et la fin de semaine. Ainsi, il apparaît que la répartition des origines des déplacements est comparable entre la semaine et la fin de semaine avec quelques nuances :

- 34,8 % des transactions sont réalisées sur des stations situées sur le Plateau-Mont-Royal pendant les semaines contre 38,1 % lors des fins de semaine.
- 24,2 % des transactions sont accomplies sur des stations situées dans le secteur municipal Centre-ville Périphérique (incluant le Vieux-Port de Montréal) pendant les semaines contre 23,1 % lors des fins de semaine.
- 25,5 % des transactions sont effectuées sur des stations situées dans le secteur Centre-ville pendant les semaines contre 21,5 % lors des fins de semaine.

On peut faire plusieurs commentaires sur ces résultats. Tout d'abord, pendant la semaine, les usagers partent en plus grand nombre à destination du centre-ville. Près de la moitié des transactions du système sont enregistrées sur les stations des secteurs centre-ville et centre-ville périphériques. En revanche, lors de la fin de semaine, on s'aperçoit que près de 4 points de

pourcentage des transactions supplémentaires sont réalisés sur le Plateau Mont-Royal, tandis que le centre-ville enregistre un déficit de 4 points de pourcentage de transactions. Les usagers ont probablement davantage recours au réseau local de stations et une partie d'entre eux ne se rend pas au centre-ville, expliquant la diminution du nombre de transactions lors de la fin de semaine. Ensuite, un fait étonnant concerne la diminution de la proportion de transactions sur les stations du secteur centre-ville périphérique lors des fins de semaine. En effet, ce constat est surprenant puisque l'on s'attendait à ce que l'afflux de touristes dans le Vieux-Port, pendant les fins de semaine, augmente le nombre de transactions dans cette zone. Or, la proportion de transactions opérées dans ce secteur diminue de 1 % entre les semaines et les fins de semaine. Toutefois sur la carte de droite de la Figure 7-52, on s'aperçoit que certaines stations du Vieux-Port sont tout de même plus actives la fin de semaine, mais cela n'a pas l'effet d'augmentation attendu dans le secteur. Précisons que les cartes de la Figure 7-52 représentent la répartition de l'ensemble des transactions entre les différentes stations du réseau pour les jours de semaine et de fins de semaine.

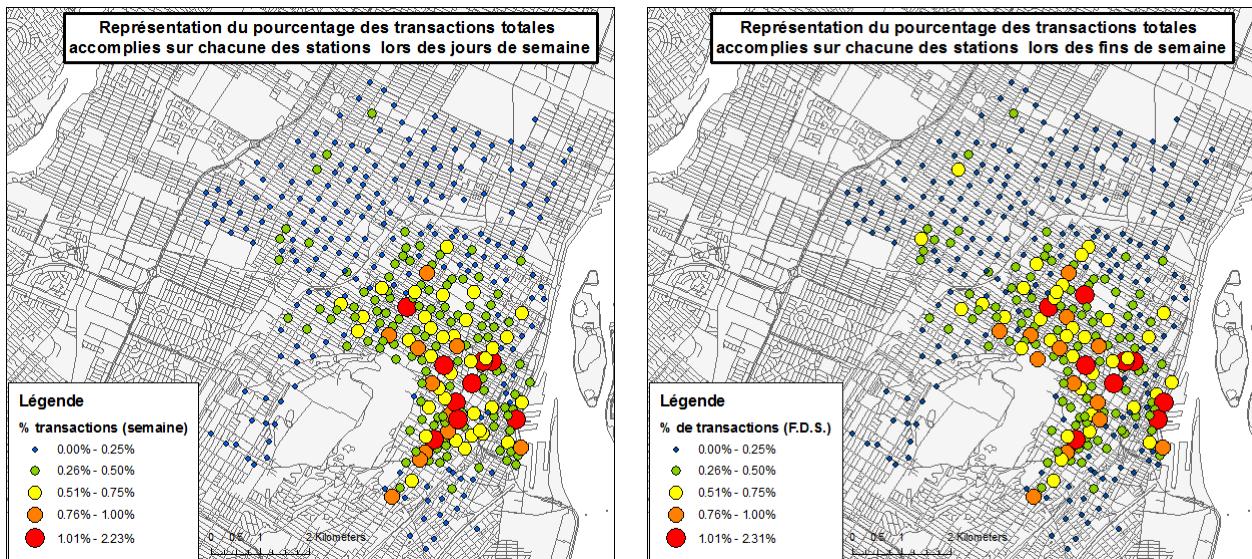


Figure 7-52 : Répartition spatiale des stations en fonction de la proportion de transactions accomplies lors de la semaine et de la fin de semaine

7.5.1.3 Distribution journalière des déplacements

L'analyse porte maintenant sur la distribution des déplacements en fonction des heures de la journée. Cette étude peut apporter plusieurs indices sur les motifs de déplacements des individus,

notamment pour les déplacements dont les motifs sont le travail ou les études. En effet, l'examen des horaires de déplacements confirme le fait que les abonnés ont un comportement de mobilité similaire à ceux des travailleurs. La Figure 7-53 montre que les abonnés se déplacent majoritairement pendant les périodes de pointe du matin (17,4 % des transactions des abonnés ont lieu entre 7h et 9h) et du soir (27,0 % des transactions des abonnés ont lieu entre 16h et 18h) alors que les usagers occasionnels ont tendance à se déplacer entre 11h et 17h (51,1 % des transactions des usagers occasionnels). En outre, comme pour plusieurs autres modes de transports (AMTa, 2009), la période de pointe du matin est moins importante que celle du soir (35,0 % des déplacements sont accomplis avant 12h alors que 44,0 % des déplacements ont lieu entre 12h et 18h).

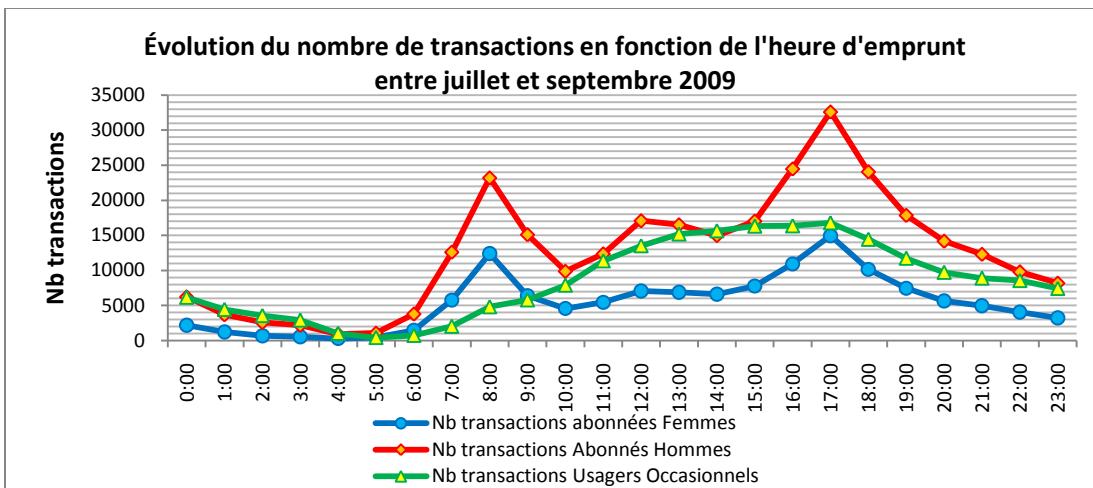


Figure 7-53 : Distribution du nombre de transactions en fonction de l'heure d'emprunt

Dans le même ordre d'idées, pendant la nuit (minuit-5h), les transactions sont accomplies pratiquement à parts égales entre les abonnés et usagers occasionnels tandis qu'à 7h du matin près de 90 % des transactions sont réalisées par les abonnés (Figure 7-54).

Finalement, deux comportements de mobilité ressortent de la distribution des déplacements en fonction des jours de la semaine et des heures de déplacement (Figure 7-55). Pendant la semaine, les trajets sont principalement accomplis par les abonnés, suivant les heures de pointe des travailleurs. Les déplacements de fins de semaine s'apparentent davantage à des trajets récréatifs avec une majorité de déplacements en après-midi. En outre, les déplacements de nuit sont plus nombreux lors des jours de fin de semaine comparativement à la semaine.

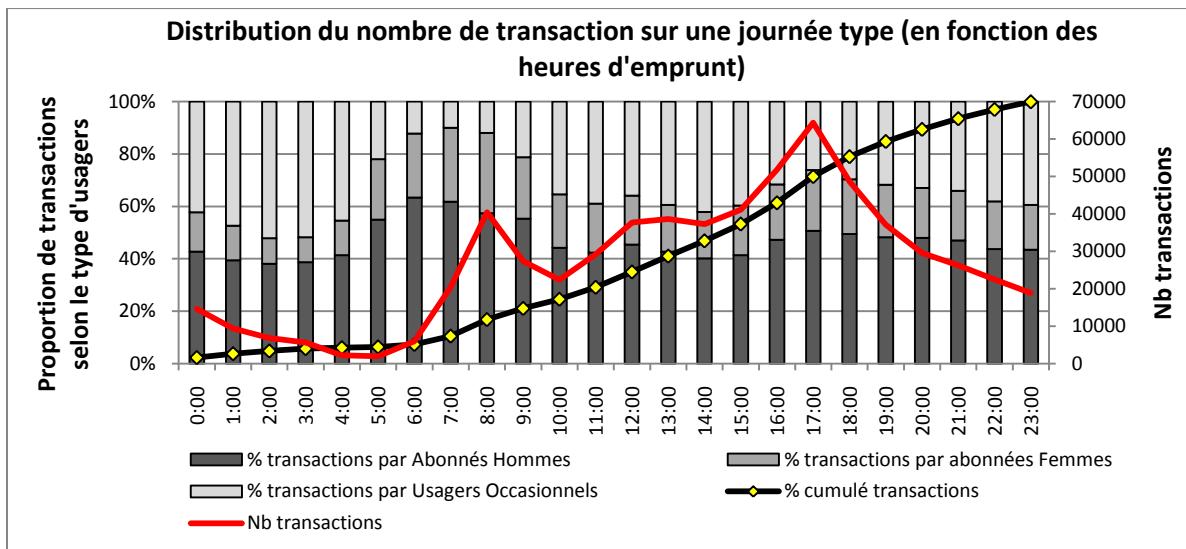


Figure 7-54 : Répartition des transactions entre les clientèles en fonction de l'heure d'emprunt

De plus, il a été tracé la courbe de distribution des déplacements des cyclistes réguliers lors d'un jour moyen de semaine issue de l'enquête Origine-Destination de 2008. La similitude entre les courbes des usagers BIXI de semaine et celle des cyclistes réguliers indique qu'ils ont des comportements de mobilité analogue. Néanmoins, une différence apparaît pour les trajets de nuit. En effet, près de 16,9 % des déplacements BIXI ont lieu entre 21h et 5h du matin contre 8,9 % pour les cyclistes réguliers. À l'inverse, il y a davantage de cyclistes se déplaçant pendant la période de pointe du matin pour les cyclistes réguliers comparativement aux usagers BIXI (24,8 % entre 7h et 9h pour les cyclistes de l'enquête contre 13,8 % pour les usagers BIXI).

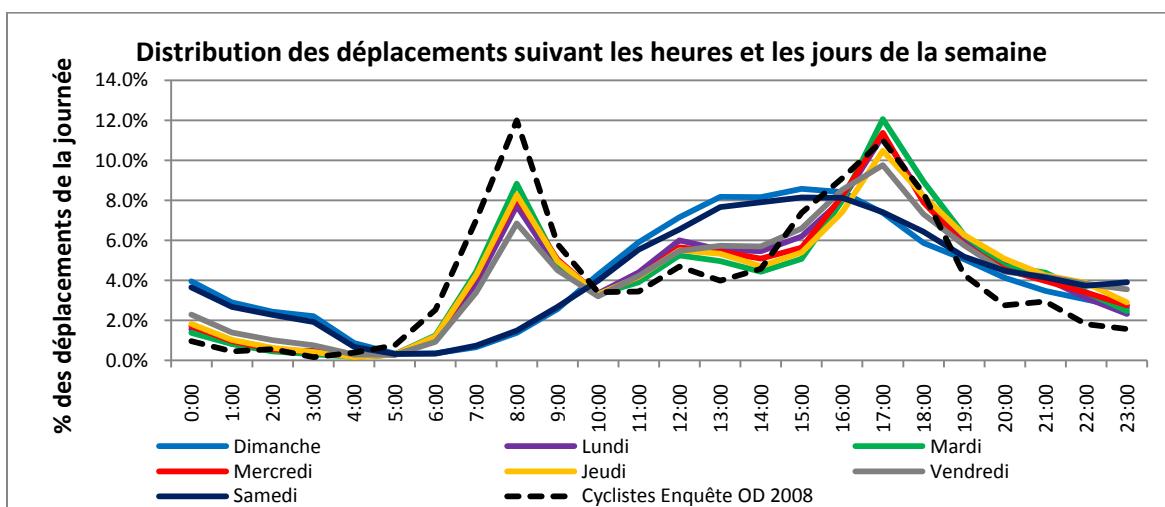


Figure 7-55 : Distribution des déplacements suivant les heures et les jours de la semaine

Par ailleurs, la Figure 7-56 illustre les variations de remplissage des stations en fonction des heures pour la journée du 30 septembre 2009. Les variations de remplissage découlent des déplacements opérés par les usagers ainsi que les transferts volontaires des bicyclettes par le personnel BIXI. Sur la figure, plus la coloration est verte plus le taux de remplissage de la station est faible. À l'inverse, plus la coloration est rouge, plus il y a un nombre important de bicyclettes disponibles. Le diamètre des bâtons est proportionnel à la capacité de la station.

L'exemple confirme l'existence de mouvements pendulaires des vélos. En matinée, une grande partie des déplacements se destine au centre-ville. À 13h, le remplissage des stations du centre-ville est maximal et un grand nombre de stations sont à pleine capacité. En revanche, beaucoup de stations du centre du réseau et de la périphérie sont vides. À partir de 16h, le mouvement inverse commence à se produire avec une partie des vélos regagnant le Plateau-Mont-Royal et les stations de périphérie. À 20h, le réseau a pratiquement retrouvé la position de 6h le matin et il n'y a plus que quelques mouvements avant 23h. Les principaux mouvements ayant lieu la nuit sont réalisés par les équipes techniques redistribuant les bicyclettes sur les stations pour un usage optimal le matin suivant. Cette figure complète les graphiques présentés précédemment en ajoutant la notion d'espace à l'analyse des distributions temporelles des déplacements.

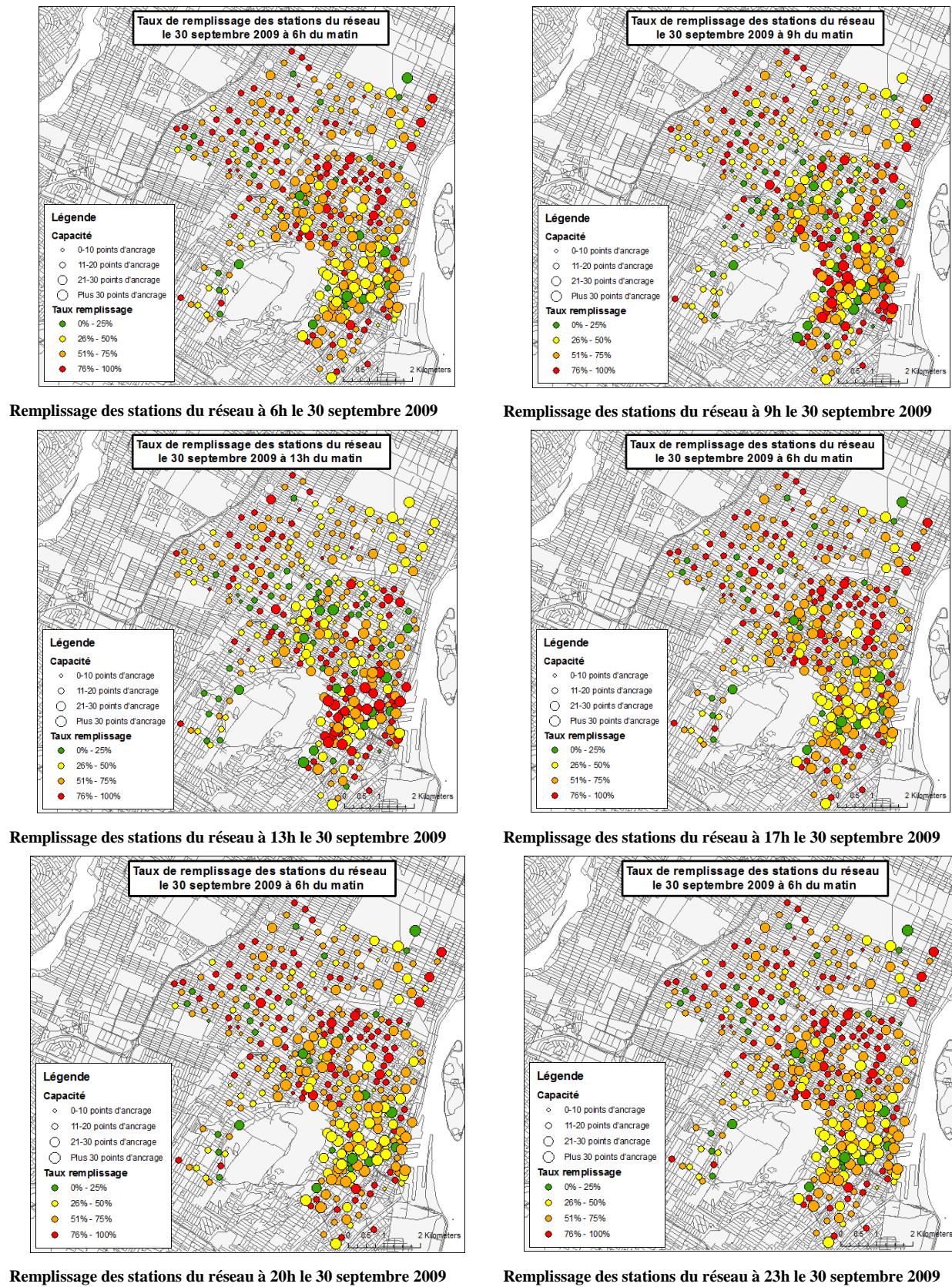


Figure 7-56 : Évolution des taux de remplissage des stations lors de la journée du 30 septembre 2009

7.5.2 Pseudo-Distance de parcours

Les usagers BIXI ont parcouru près de 1 419 190 km pendant les trois mois d'étude dont près de 67,9 % ont été parcourus par les abonnés. Ceci représente une pseudo-distance moyenne de 2,2 km par déplacement (Tableau 7-6). À titre de comparaison, les cyclistes réguliers de l'île de Montréal parcourent en moyenne 4,2 km par déplacement. Cependant, il faut être vigilant dans la lecture du tableau puisque les informations pour les cyclistes réguliers concernent un jour moyen de semaine dont nous ne connaissons pas l'itinéraire réellement emprunté tandis que les informations pour les usagers BIXI sont la moyenne pour toute la période d'étude. Toutefois, la différence de distance parcourue s'explique aussi par le fait que le réseau BIXI est fixe à cause des stations alors que les cyclistes réguliers ne sont pas soumis à de telles contraintes.

Tableau 7-6 : Description et comparaison des pseudo-distances parcourues par les usagers BIXI et les cyclistes de l'enquête OD 2008

	Pseudo-distance totale (km)	Pseudo-distance moy. (km)	Écart-type pseudo-distance (km)	Pseudo-distance max. (km)
Cyclistes Enq. OD 2008	317 750	4.2	7.36	127.3
Cyclistes hommes	67.2 %	4.4	6.52	127.3
Cyclistes femmes	32.8 %	3.8	5.02	66.3
Usagers BIXI	1 419 210	2.2	1.67	12.0
Abonnés BIXI hommes	47.0 %	2.2	1.67	12.0
Abonnées BIXI femmes	20.9 %	2.3	1.63	11.6
Usagers occasionnels	32.1 %	2.2	1.68	12.0

Par ailleurs, précisons que les cyclistes BIXI disposent de 30 minutes gratuites avant que la facturation du temps n'entre en vigueur. On peut alors supposer qu'un grand nombre d'usagers réduisent au maximum leur parcours afin de ne pas payer de supplément, ce qui peut avoir pour effet de réduire les distances parcourues par les usagers BIXI.

En outre, il n'y a pas de différence significative entre les pseudo-distances parcourues par les abonnés hommes et les femmes contrairement aux cyclistes réguliers, dont les hommes parcourent en moyenne 600 m de plus que les femmes par déplacement.

De plus, la Figure 7-57 illustre les variations quotidiennes des pseudo-distances moyennes parcourues par les usagers BIXI. Ceci confirme que la pseudo-distance moyenne est comparable entre les trois types d'usagers. En réalité, la figure met aussi en évidence les limites du calcul des

pseudo-distances avec l'utilisation des stations d'origine et de destination. En effet, on peut supposer qu'un usager empruntant un vélo pendant 4 heures aura parcouru une distance largement supérieure à celle mesurée avec notre méthode. La méthode de calcul masque donc une partie de la différence de comportements de mobilité entre les abonnés et les usagers occasionnels.

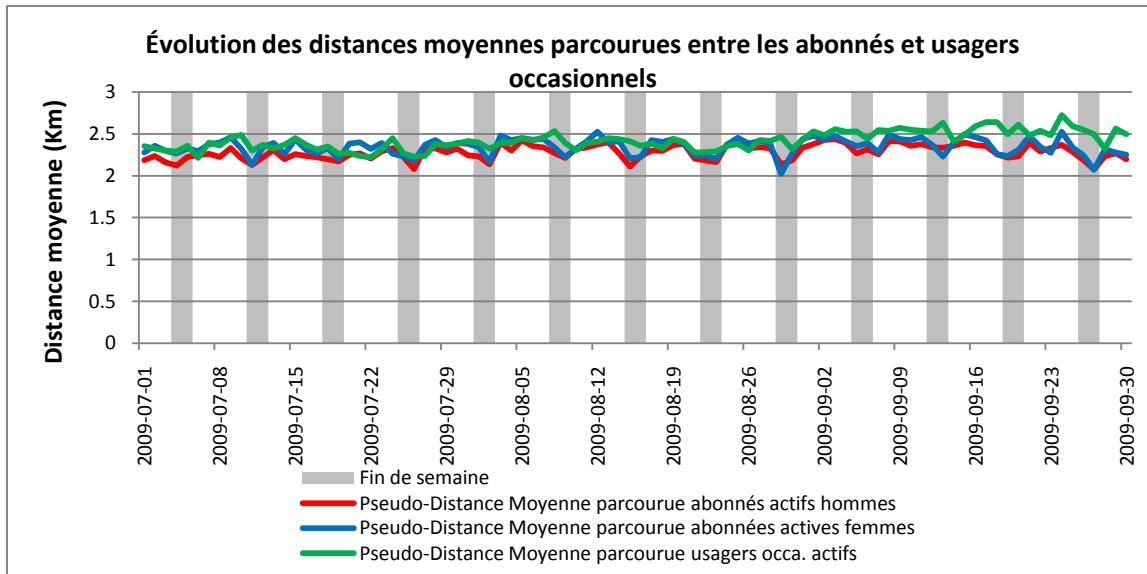


Figure 7-57 : Évolution des distances moyennes parcourues par les différents types d'usagers

Ensuite, la distribution des pseudo-distances de déplacement entre les différents types d'usagers confirme l'inefficacité de cet indicateur pour évaluer les comportements de mobilité des usagers du vélopartage (Figure 7-58). En effet, les distributions sont très similaires entre les trois clientèles, malgré que l'on soupçonne que les usagers occasionnels parcourent en réalité de plus longues distances que les abonnés. Cette hypothèse n'est cependant pas obligatoire dans la mesure où les usagers occasionnels peuvent également faire plus d'arrêts que les abonnés. L'incertitude sur cet indicateur demeure toutefois élevée par rapport à l'étude des durées de déplacements. De manière globale, 85 % des déplacements font moins de 3,5 km, dont 20,1 % de moins d'un km. À l'autre extrémité, les déplacements de plus de 5 km ne représentent que 6,3 % des déplacements totaux des cyclistes BIXI. Aussi, à titre de comparaison, la courbe de distribution des déplacements des cyclistes réguliers en fonction de la distance a été ajoutée sur la figure. Ceci confirme que les cyclistes réguliers se déplacent en moyenne sur de plus longues distances que les usagers BIXI.

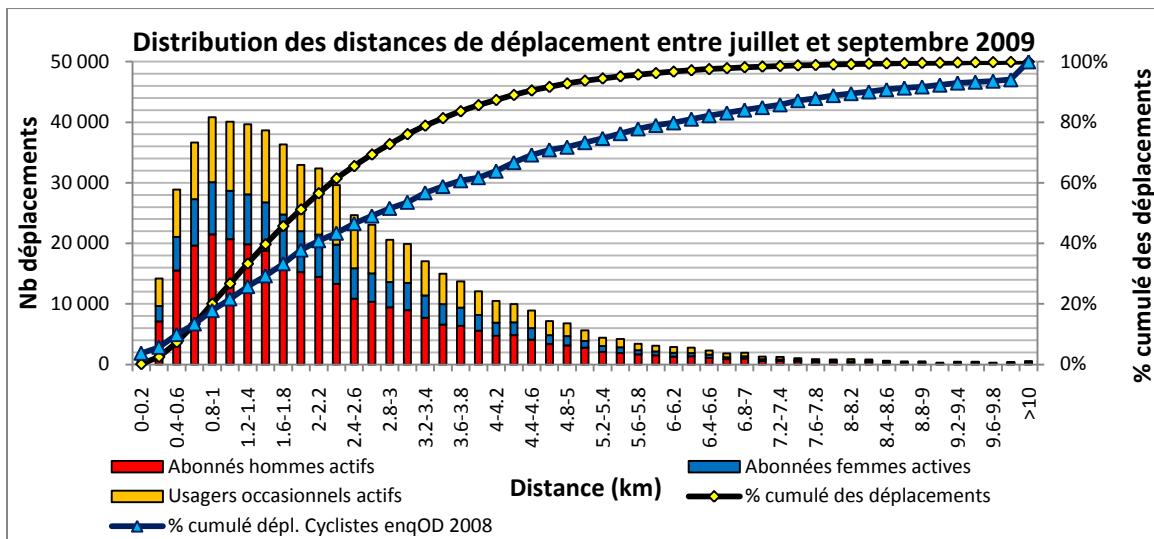


Figure 7-58 : Distribution des pseudo-distances de déplacements en fonction des types d'usagers

7.5.3 Durées des déplacements

Une approche similaire à celle des pseudo-distances de parcours a été développée pour mesurer l'évolution des durées de déplacement. Contrairement aux pseudo-distances parcourues, l'évolution des durées moyennes de déplacement s'avère être un indicateur très performant pour évaluer les différents comportements de mobilité (Figure 7-59). Ainsi, deux comportements s'opposent : d'une part, les usagers occasionnels utilisent les bicyclettes pour des durées plus longues que les abonnés (11,8 minutes en moyenne pour les abonnés contre 27,8 minutes en moyenne pour les usagers occasionnels); et d'autre part, la durée moyenne de déplacement des usagers occasionnels décline avec le temps alors que celle des abonnés est stable au cours de la période étudiée. En effet, la durée moyenne de déplacement des usagers occasionnels oscille autour de 30 minutes jusqu'à la mi-août, puis diminue pour s'approcher des 20 minutes au mois de septembre. En revanche, les abonnés ont une durée moyenne qui oscille autour de 15 minutes pour toute la période étudiée. Par ailleurs, l'amplitude des variations de durée moyenne d'emprunt est beaucoup plus importante pour les usagers occasionnels comparativement aux abonnés (écart-type des abonnés 1,08 minute contre 5,45 minutes pour les usagers occasionnels).

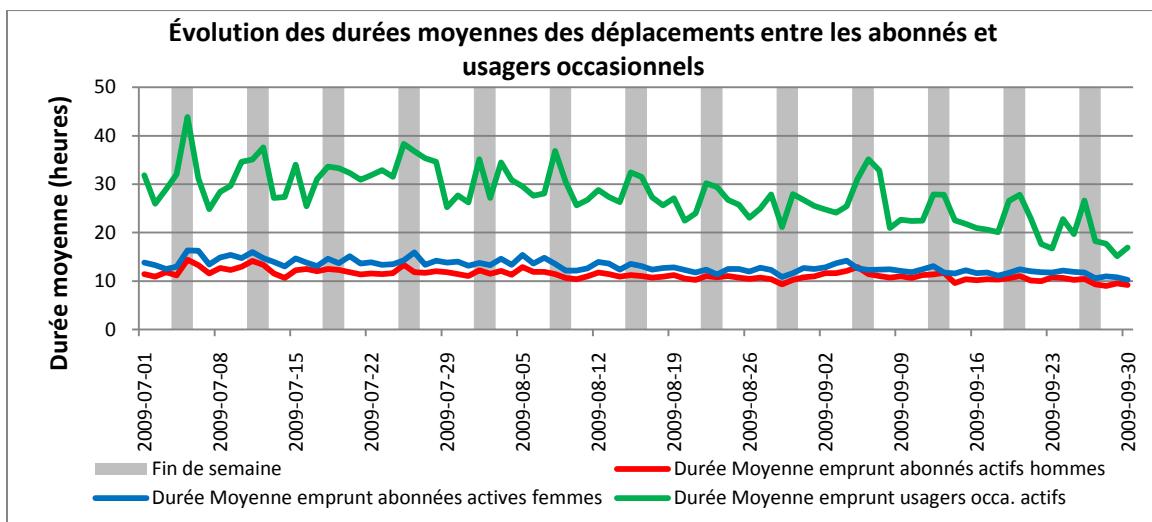


Figure 7-59 : Évolution des durées moyennes de déplacements en fonction des types d'usagers

D'après la distribution des durées d'utilisation des bicyclettes, il s'avère que 91,6 % des déplacements font moins de 30 minutes et que seulement 3,4 % des déplacements dépassent l'heure d'utilisation. Ceci est significatif puisque les 30 premières minutes d'utilisation sont gratuites. Au niveau des types d'usagers, 98,0 % et 97,1 % des déplacements des abonnés hommes et femmes font moins de 30 minutes contre 78,5 % pour les usagers occasionnels. Les déplacements excèdent l'heure d'utilisation dans 0,4 % et 0,6 % des déplacements chez les abonnés (homme et femme) contre 9,1 % pour les usagers occasionnels (Figure 7-60).

En complément, la Figure 7-61 illustre la tendance estimée puisqu'il apparaît clairement que les déplacements de longue durée sont principalement accomplis par les usagers occasionnels. Après 40 minutes, 88,0 % des déplacements ont été réalisés par des usagers occasionnels contre 12,0 % pour les abonnés.

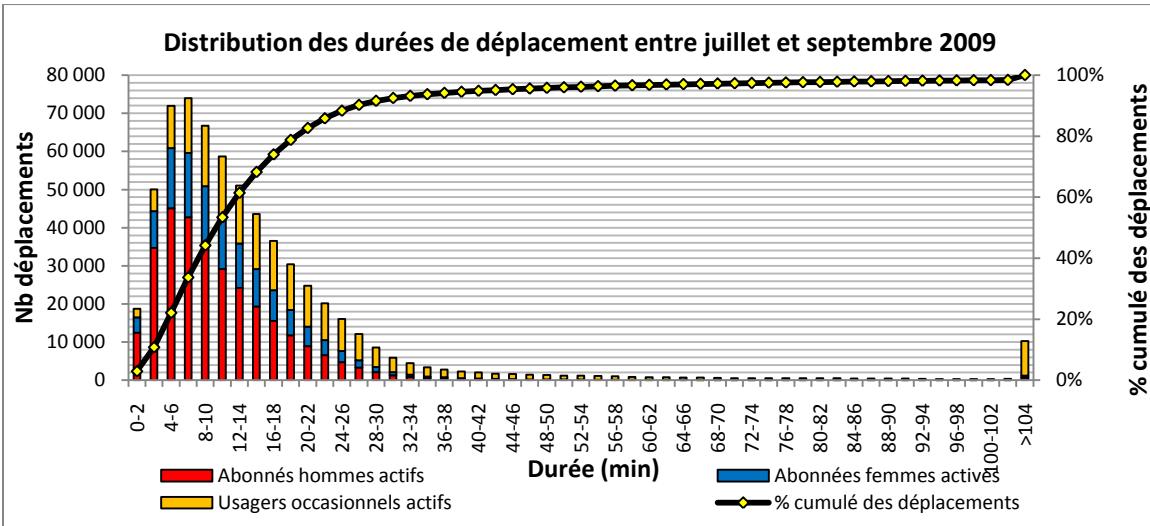


Figure 7-60 : Distribution des durées de déplacements en fonction des types d'usagers

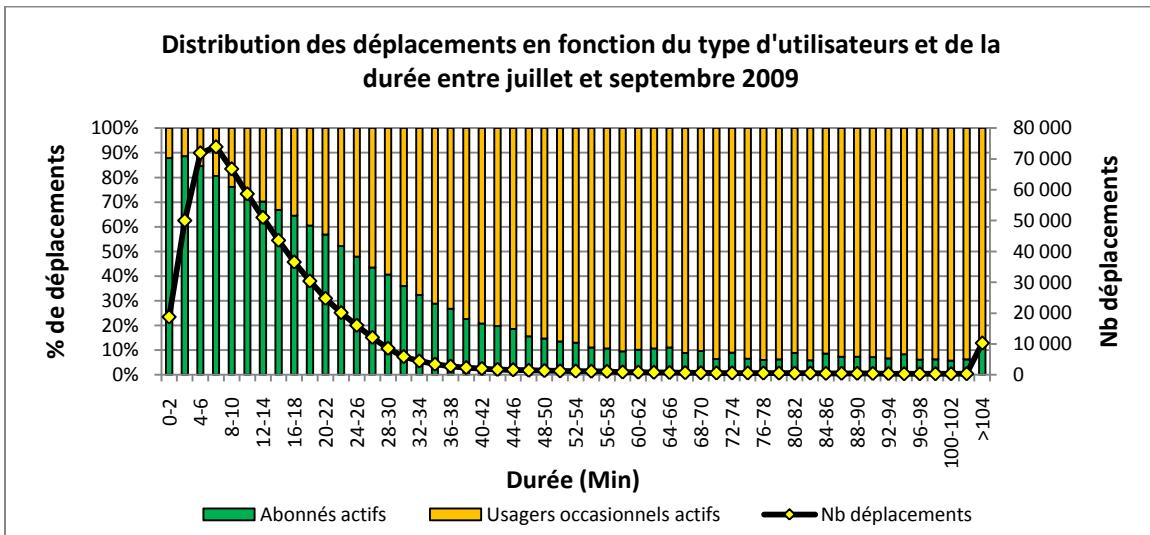


Figure 7-61 : Évolution de la proportion d'usagers en fonction de la durée de déplacement

7.5.4 Vitesses virtuelles de déplacements

Grâce aux données de distance et de durée de parcours, il est possible de dériver des vitesses virtuelles de déplacements pour chacun des trajets selon les types d'usagers (Figure 7-62). Précisons toutefois que le calcul repose sur les pseudo-distances calculées précédemment, par conséquent, une erreur est systématiquement commise dans ce calcul. Ensuite, dans le cas des boucles (stations d'origine et de destination identiques), la vitesse virtuelle est nulle puisque l'on ne peut calculer de distance.

Les résultats montrent que la vitesse virtuelle moyenne de déplacement pour tous les usagers est de 12,1 km/h (écart-type $\pm 12,78$). Les usagers occasionnels semblent se déplacer plus lentement que les abonnés (les vitesses virtuelles moyennes de déplacement sont respectivement 8,7 km/h et 13,7 km/h). Enfin, les abonnés hommes se déplacent plus rapidement que les abonnées femmes (respectivement 14,3 km/h et 12,5 km/h).

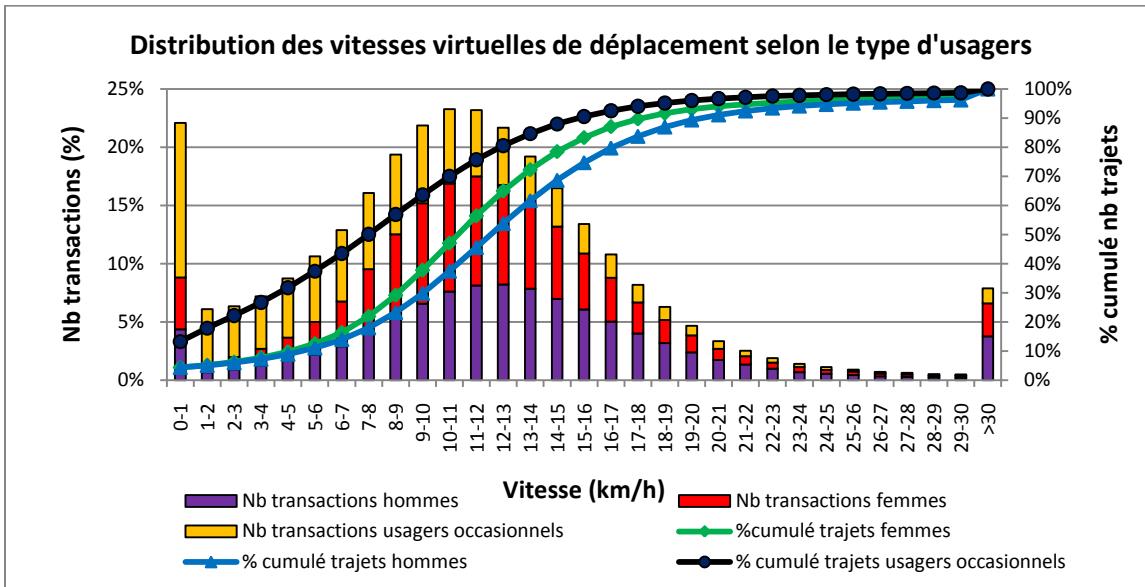


Figure 7-62 : Distribution des vitesses virtuelles de déplacement selon les types d'usagers

De plus, le calcul des vitesses de parcours a permis de détecter un certain nombre d'incohérences entre les enregistrements de temps de parcours et les pseudo-distances parcourues. En effet, dans plusieurs cas de paires origines-destinations, les temps de parcours ne sont pas suffisamment importants par rapport à la distance à parcourir, générant des vitesses aberrantes. Ainsi, 9 424 déplacements donnent des vitesses virtuelles moyennes de plus de 45 km/h. Ces enregistrements représentent 1,47 % du nombre total de transactions. Or, l'analyse des origines et destinations de ces déplacements montre que, dans 82,3 % des cas, au moins une des 11 stations répertoriées dans le tableau de l'annexe 9 est impliquée. Cette concentration anormale d'enregistrements dans ces stations laisse supposer qu'un problème est survenu. Plusieurs événements pourraient être à l'origine de ces valeurs avec, en premier lieu, le simple dysfonctionnement de la station lors de l'enregistrement de la transaction, générant une mauvaise heure de dépôts. Une autre explication possible serait que les stations problématiques aient tout simplement changé de place au cours de la période d'étude. Dans ce cas, la position avec laquelle nous dérivons les distances n'est peut-

être pas la position qu'avait la station lors de ces trajets. Si tel est le cas, plusieurs conclusions et indicateurs développés dans cette étude nécessiteraient d'être recalculer avec les nouvelles positions des stations.

7.5.4.1 Comparaison des temps de parcours entre des paires O-D

Cette analyse consiste à faire la comparaison des temps de parcours entre les paires d'origines et de destinations les plus populaires. Les paires d'origines et de destinations choisies sont situées dans plusieurs secteurs de la ville, où les conditions de circulation sont très différentes (topographie, présence d'infrastructures cyclables, risque de congestion, distances de parcours, etc.). Les distances de parcours n'étant pas les mêmes pour chacune des paires, un procédé de normalisation des distances sur 500 m a été utilisé pour que les temps de parcours deviennent comparables. Par ailleurs, pour comparer les vitesses, l'hypothèse retenue consiste à dire que la vitesse est uniforme sur tout le parcours. La distribution des temps de parcours pour six paires d'origines et de destinations est présentée à la Figure 7-63 et les constats sont les suivants :

- **A** : trajet de 4,6 km entre la station de métro Rosemont (station BIXI 235) et le campus de l'université de Montréal (station BIXI 283 sur le Chemin de la Tour). 85 % des déplacements sont accomplis par les abonnés (56,1 % d'homme) et la distribution est particulièrement concentrée puisque 95 % des déplacements font moins de 3 minutes par kilomètre (≥ 10 km/h) pour une vitesse moyenne de 26,8 km/h.
- **B** : trajet de 2,0 km entre la station de métro Mont-Royal (station BIXI 184) et la station au coin Mont-Royal/des érables (stations BIXI 151). 81,8 % des déplacements accomplis par les abonnés (56,4 % d'homme) avec une distribution concentrée. La vitesse moyenne de parcours est de 5,2 minutes par kilomètre (11,5 km/h).
- **C** : trajet de 2,0 km entre la station au coin Maisonneuve/Stanley (station BIXI 62) du centre-ville et la station de métro Atwater (station BIXI 83). 60,9 % des déplacements accomplis par les abonnés (66,4 % d'homme) avec une vitesse moyenne de l'ordre 5,8 minutes par kilomètre (10,3 km/h). La vitesse est légèrement plus faible que pour le trajet B alors que la distance de parcours et la topographie sont identiques. Les feux de circulation dans ce secteur peuvent être l'un des facteurs ralentissant les cyclistes.

- **D** : trajet de 680 m entre la station au coin Brébeuf/Saint-Grégoire (station BIXI 166) dans un quartier résidentiel et la station de métro Laurier (station BIXI 192). 93,9 % des déplacements sont accomplis par des abonnés (54,3 % d'homme) pour une vitesse de 6,5 minutes par kilomètre (9,4 km/h).
- **E** : trajet de courte distance 520 m entre la station au coin Milton/université (station BIXI 67) et la station au coin Prince Arthur/du Parc (station BIXI 204). 85 % des déplacements accomplis par les abonnés avec une variabilité des temps de parcours plus importante. La vitesse moyenne est de 8,2 minutes par kilomètre (7,3 km/h) ce qui est particulièrement faible, mais attribuable à la topographie entre les deux stations.
- **F** : trajet le plus fréquent pendant la période d'étude, de 427 m entre la station au coin Place Jacques Cartier/ de la commune dans le Vieux-Port (station BIXI 25) et la station au coin de la commune/Saint-Sulpice. Le trajet se situe dans l'un des sites les plus touristiques de la ville de Montréal, c'est pourquoi 94 % des déplacements ont été accomplis par des usagers occasionnels dont la plupart ont sans doute effectué des arrêts avant de remettre la bicyclette. Ainsi, seulement 3 % des déplacements font moins de 10 minutes par kilomètre (6 km/h) et le temps moyen de parcours pour ces 427 m est de 48 minutes.

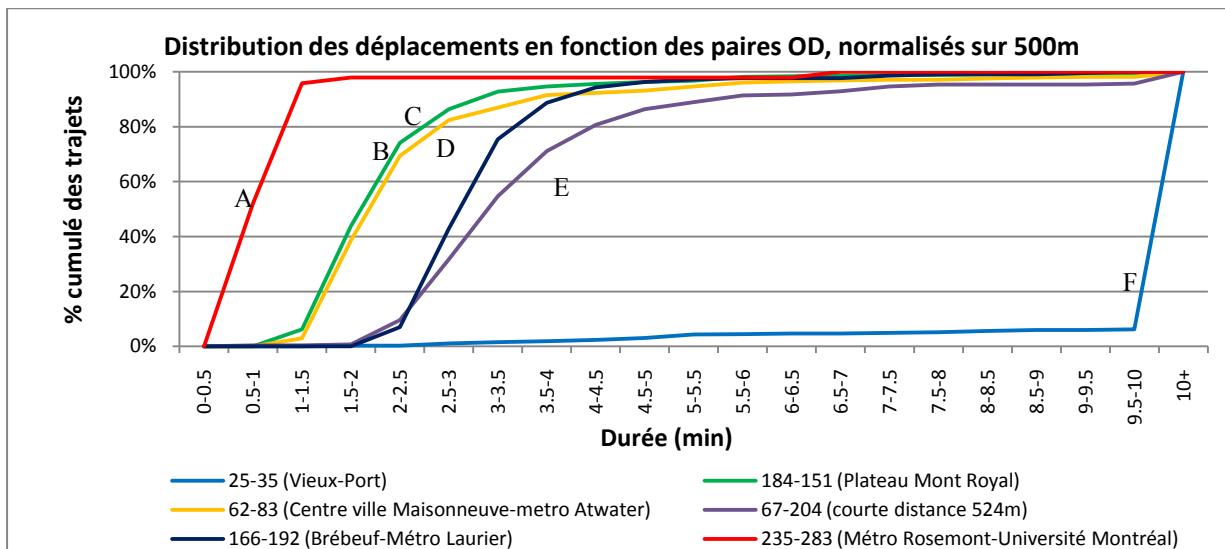


Figure 7-63 : Distribution des déplacements en fonction des paires OD normalisés sur 500 m

L'analyse des paires origine-destination illustre la diversité des comportements de mobilité des usagers. Déterminer un temps de parcours type par catégorie d'utilisateurs pour chaque paire

d'origine et de destination permettrait de savoir si un usager a fait des arrêts pendant son déplacement et de caractériser des parcours typiques des usagers BIXI.

7.5.5 Profil de charge du réseau

Cette dernière étude a pour but d'illustrer une affectation sur le réseau routier des déplacements BIXI accomplis entre juillet et septembre 2009, afin de déterminer les principaux corridors de déplacements des cyclistes BIXI. L'affectation tout-ou-rien sur les chemins les plus courts a été réalisée avec le logiciel ArcGIS dont la méthodologie a été présentée au paragraphe 4.3.3.2. Les conditions d'affectations sont identiques à celles proposées dans le paragraphe 4.3.3.2. En outre, n'ayant aucune information sur les itinéraires choisis par les usagers, les stations d'emprunts et de dépôts représentent les origines et destinations des 640 014 transactions. Par ailleurs, l'ensemble des déplacements réalisés pendant les trois mois d'étude ont été affectés simultanément sur les chemins les plus courts en tenant compte des pistes cyclables.

Pendant la période d'étude, les usagers ont eu le choix entre 369 stations pour leur origine et destination d'où le nombre particulièrement important de paires d'origine et destination différentes (38 486). Tous les itinéraires réalisés par au moins un usager sont représentés sur la carte de gauche de la Figure 7-64. Il faut noter que les paires d'origine et destination les plus populaires ont été effectuées plus de 900 fois alors que près de 17,8 % d'entre elles n'ont été réalisées qu'une fois au cours des trois mois d'étude.

Les résultats de l'affectation indiquent qu'il y eu, au terme de la période d'étude, en moyenne 741 usagers par lien utilisé (soit plus de 8 usagers par jour) et près de 17 124 usagers ont circulé sur le lien le plus achalandé (soit plus de 186 usagers quotidiens).

Sur la Figure 7-65, il apparaît que l'affectation des déplacements BIXI a de nombreux points communs avec celle des cyclistes réguliers. Six corridors principaux, mentionnés sur la figure, se dégagent comme étant des axes majeurs de passage des cyclistes BIXI. On s'aperçoit que ces corridors possèdent tous des infrastructures cyclables et qu'ils sont identiques à ceux empruntés par les cyclistes réguliers (voir paragraphe 4.3.3.2).

De plus, l'achalandage sur ces corridors peut s'attribuer au fait qu'ils forment les principaux points d'accès au centre-ville économique de la ville. Ainsi, les axes comme la rue Saint-Urbain, la rue Berri ou le boulevard De Maisonneuve permettent de circuler facilement en vélo entre le

centre-ville et les secteurs du nord-est de l'île. Par conséquent, ces corridors sont empruntés par un bassin important d'usagers en provenance des stations situées en périphérie de réseau et se dirigeant vers le centre-ville. À l'inverse, certains trajets BIXI très populaires ne sont pas mis en évidence sur la Figure 7-65 comme celui situé dans le Vieux-Port de Montréal, entre la station de la Place Jacques Cartier et la station à l'intersection des rues De la Commune et Saint-Sulpice. Ceci s'explique par le fait que cette portion de trajet ne se situe pas dans une zone de transit couramment empruntés par les usagers contrairement aux corridors d'accès au centre-ville.

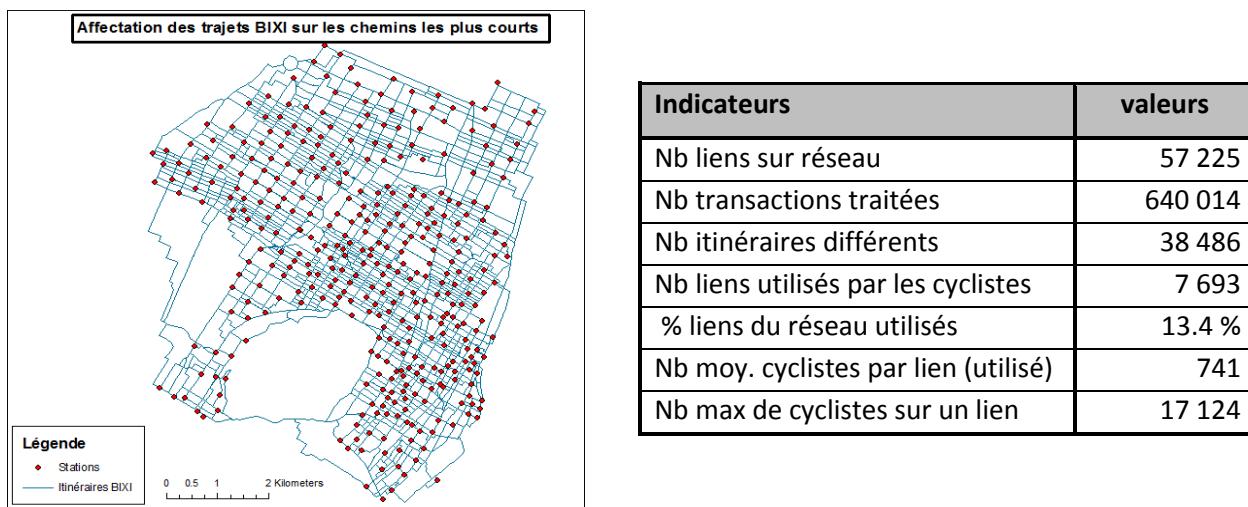


Figure 7-64: Itinéraires BIXI (carte de gauche) et résultats de l'affectation des itinéraires sur le réseau routier

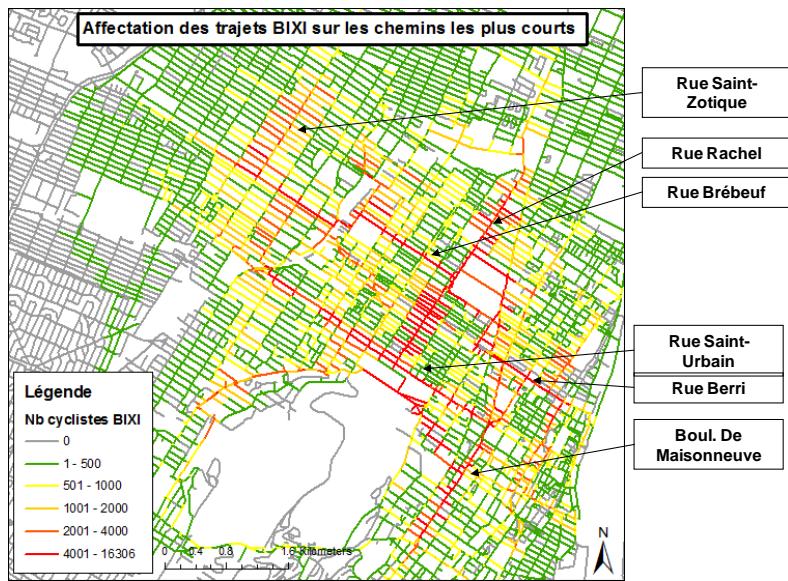


Figure 7-65 : Résultats de l'affectation des déplacements cyclistes sur le réseau routier de Montréal

Cette première affectation sur le réseau des déplacements BIXI permet de visualiser les principaux chemins empruntés par les cyclistes et met en avant les similitudes avec les trajets réalisés par les cyclistes réguliers. Il faut tout de même mentionner que l'interprétation de cette affectation doit être menée avec vigilance dans la mesure où nous ne connaissons pas les itinéraires réellement empruntés. Il y a alors une erreur systématiquement commise lors de l'affectation. Cependant, cette erreur est plus faible dans le cas du vélopartage étant donné que les cyclistes disposent de 30 minutes pour circuler avant que ne débute la facturation. Par conséquent, on peut supposer qu'une très large majorité d'entre eux empruntent le chemin le plus court pour éviter de payer, d'où le choix de faire une affectation sur les chemins les plus courts.

7.6 Résumé

Dans ce chapitre, nous avons présenté une série d'indicateurs permettant de suivre les évolutions et de caractériser les trois objets composant les systèmes de vélopartage. Les indicateurs développés permettent de décrire de façon rigoureuse les variations d'activités des usagers, stations et vélo au cours des trois mois d'étude. Chacun des indicateurs devra alors être calculé et suivi sur une base quotidienne pour mieux comprendre et anticiper les comportements de mobilité des usagers des programmes de vélopartage.

CHAPITRE 8 CARACTÉRISATION DES STATIONS DU SYSTÈME DE VÉLOPARTAGE BIXI

Comme il a été mentionné à diverses reprises au cours de cette étude, trois objets composent les systèmes de vélopartage : les stations, les vélos et les usagers. Dans le chapitre précédent, une première série d'indicateurs quantitatifs et d'analyses a permis de mesurer et d'évaluer les évolutions de ces objets au cours de la période d'étude. À la suite de ces analyses, les stations apparaissent comme étant l'objet clé dans la structure du système. En effet, pour qu'un individu ait recours au service il faut que la configuration du réseau réponde à ses besoins de mobilité tant au niveau de l'accessibilité (position des stations) qu'au niveau opérationnel (des vélos et points d'ancrage disponibles en tout temps). Ce chapitre propose alors une série d'indicateurs de performance, calculés de façon systématique pour chacune des stations du réseau, afin de comparer et d'évaluer rigoureusement l'activité des stations pendant les trois mois d'étude. Par ailleurs, comme pour le chapitre précédent, la principale difficulté rencontrée provient de la variation quotidienne de l'offre de transport rendant impossible la généralisation des indicateurs sur de longues périodes. Les indicateurs proposés ici seront alors estimés sur une base journalière pour pallier ces problèmes.

Ainsi, dans ce chapitre, cinq indicateurs ont été définis et seront présentés pour l'ensemble des stations du réseau. Finalement, précisons que le même échantillon de trois mois de données, de juillet à septembre 2009, a été exploité pour calculer les indicateurs.

8.1 Taux de balance des stations

Le premier indicateur est le taux de balance des stations. Cet indicateur donne une information au niveau de l'équilibre des opérations d'emprunts et de dépôts sur une station. En effet, pour une station donnée, il est intéressant de déterminer si les opérations d'emprunts et de dépôts effectuées sont réalisées en proportion similaire ou s'il y a un débordement en faveur d'un type d'opérations. Un débordement du nombre d'opérations est synonyme d'intervention de la part de l'opérateur pour compenser le déséquilibre. Or, ces interventions représentent des coûts d'exploitation importants pour l'opérateur pour effectuer les transferts de bicyclettes entre les stations. Ainsi, l'analyse de ce taux permet, d'une part, de déterminer les stations systématiquement problématiques et, d'autre part, d'ajuster les caractéristiques de la station

(position et nombre de points d'ancrage) pour réduire le déséquilibre. En outre, l'analyse quotidienne de ce taux permet également d'évaluer les corrections apportées à une station en mesurant les nouveaux taux de balance suite aux interventions sur la station.

Ainsi, le taux de balance représente le ratio entre le nombre d'emprunts (départs) et le nombre de dépôts (arrivées) pour une station donnée dont l'équation est la suivante :

$$\Gamma_{\text{bal}_s} = \frac{\sum \text{Emp}_s}{\sum \text{Dep}_s}$$

Avec :

- Emp_s = nombre total d'emprunts opérés sur la station s;
- Dep_s = nombre total de dépôts opérés sur la station s.

Une valeur élevée du ratio indiquera que la station est majoritairement une station d'origine tandis qu'une valeur faible montrera que la station est principalement une station de destination. Plus ce ratio est proche de 1, plus la station peut être considérée comme équilibrée sur le réseau. Les stations dont les valeurs de ratio sont extrêmes sont les plus susceptibles d'être sujettes à des mouvements de vélos par le personnel.

Enfin, il faut préciser que ce taux est calculé d'après les opérations de transactions des usagers, c'est-à-dire qu'il n'inclut pas les mouvements des bicyclettes redistribuées volontairement sur le réseau. C'est pour cette raison que l'on est en mesure de connaître plus justement l'équilibre d'une station et de juger de la pertinence et de l'efficacité des interventions des équipes techniques. Par contre, ne pas inclure les transferts dans le calcul engendre une limite dans certains cas puisque les personnes n'auraient peut-être pas pu utiliser la station si le personnel n'était pas intervenu sur la station. Il faut donc considérer qu'une partie du déséquilibre est induit par les interventions techniques. On peut illustrer cette limite par l'exemple suivant : une station possède 10 points d'ancrage tous vides initialement. Peu de temps après, 10 personnes viennent déposer leur vélo dans cette station. On comptabilisera alors 10 dépôts pour cette station. Puis, une équipe technique vient retirer 5 vélos de cette station pour les redistribuer sur le réseau. La station aura alors de nouveaux emplacements disponibles pour accueillir des vélos bien qu'aucun emprunt ne soit comptabilisé dans le calcul du taux. Finalement, on s'aperçoit que si 5 nouvelles personnes viennent déposer leur vélo, le nombre total de dépôts sera porté à 15 alors qu'en

réalité, sans l'intervention de l'équipe technique les usagers auraient dû se retourner vers une autre station pour déposer leur vélo et le taux de balance de la station aurait été moins prononcé.

La Figure 8-1 présente l'évolution des taux de balance des stations entre juillet et septembre 2009. Il apparaît alors qu'au mois de juillet le nombre moyen de stations dites équilibrées (ratio entre 0,8 et 1,2) est de 69,5 % contre 61,4 % au mois d'août et 56,5 % au mois de septembre. L'augmentation du nombre de stations disponibles peut être l'une des explications de l'augmentation de la proportion de stations déséquilibrées. En effet, on peut supposer que lors de l'implantation d'une nouvelle station, il faut un certain temps avant que les abonnés adoptent un comportement stable vis-à-vis de la nouvelle station ce qui pourrait provoquer ces déséquilibres. Par ailleurs, l'analyse statistique démontre qu'il n'y a pas de corrélation linéaire entre l'équilibre des stations et à la capacité des stations.

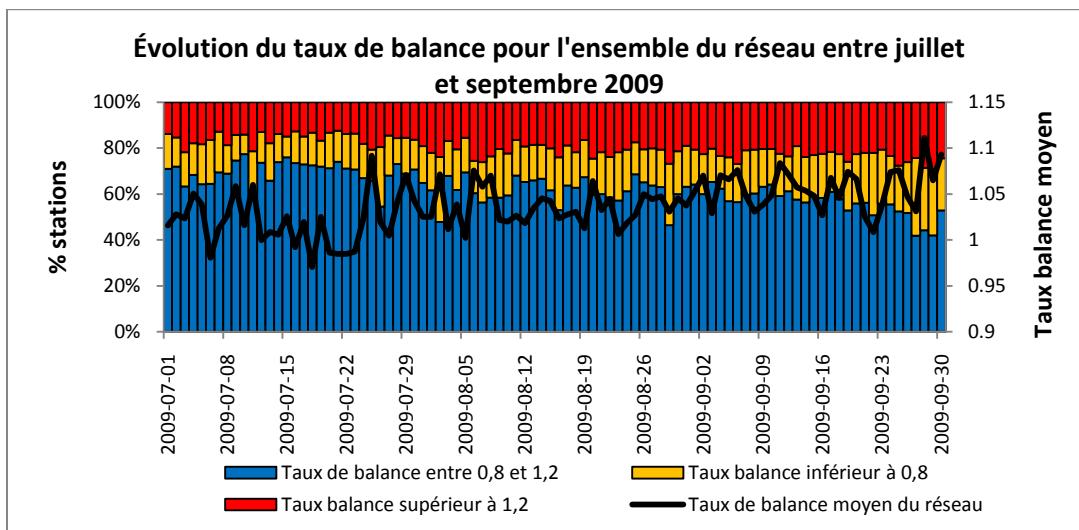


Figure 8-1 : Évolution du taux de balance pour l'ensemble du réseau entre juillet et septembre 2009

De plus, afin de visualiser la distribution spatiale des stations (Figure 8-2), celles-ci sont regroupées en 5 classes, plus fines que celles de la Figure 8-1, suivant les valeurs moyennes du ratio pour toute la période d'étude :

- **Classe 1 : 0-0,70** : regroupant les stations dont les opérations de dépôts sont largement dominantes (stations de destination);
- **Classe 2 : 0,70-0,95** : regroupant les stations dont les opérations de dépôts dominent (stations de destination);

- **Classe 3 : 0,95-1,05** : regroupant les stations dont les opérations d'emprunts et de dépôts sont pratiquement équilibrées (stations équilibrées);
- **Classe 4 : 1,05-1,30** : regroupant les stations dont les opérations d'emprunts dominent (stations d'origine);
- **Classe 5 : 1,30-2,15** : regroupant les stations dont les opérations d'emprunts sont largement dominantes (stations d'origine).

D'après les calculs, pour les trois mois d'étude, près de 38,2 % des stations sont dans la classe 3 alors que 27,6 % des stations sont dans les classes 1 et 2 et 34,2 % dans les classes 4 et 5.

Au terme de la période d'étude, il ressort de la Figure 8-2 que les stations les plus équilibrées sont situées dans le centre du réseau (ellipse verte) notamment sur le Plateau Mont-Royal et dans le centre-ville. Les stations dont le nombre de dépôts est supérieur au nombre d'emprunts sont colorées en bleu et apparaissent généralement le long du fleuve Saint-Laurent (Vieux-Port, Centre-ville et Hochelaga-Maisonneuve). En revanche, les stations dont le nombre d'emprunts est supérieur au nombre de dépôts (en orange et rouge) sont plutôt concentrées aux abords du Mont-Royal. La topographie ainsi que les générateurs de déplacements dans ces zones pourraient expliquer le nombre plus important d'emprunts dans ces secteurs.

Cependant, les variations quotidiennes des taux peuvent être très importantes au cours de la période d'étude et la Figure 8-2 ne donne qu'un aperçu des comportements globaux des stations au terme des trois mois d'étude. Pour mesurer les fluctuations de taux, la Figure 8-3 illustre les variations quotidiennes des taux de trois stations, dont l'une est considérée comme étant équilibrée, tandis que les deux autres sont dééquilibrées, l'une en faveur des emprunts et l'autre en

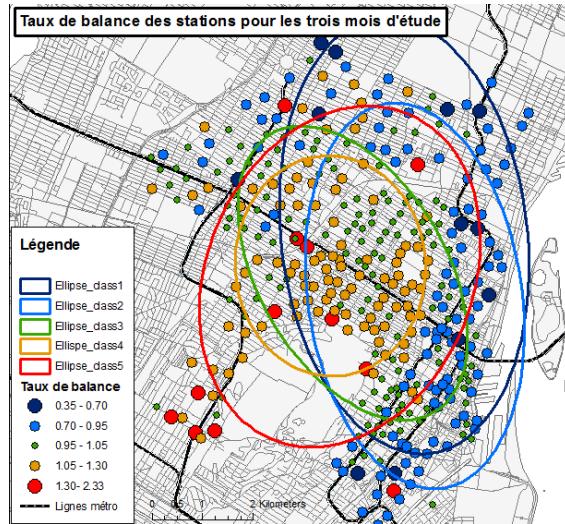


Figure 8-2 : Répartition spatiale des stations en fonction du taux de balance

faveur des dépôts. Ceci met en évidence l'importance de calculer ce taux sur une base quotidienne, car les variations sont très importantes.

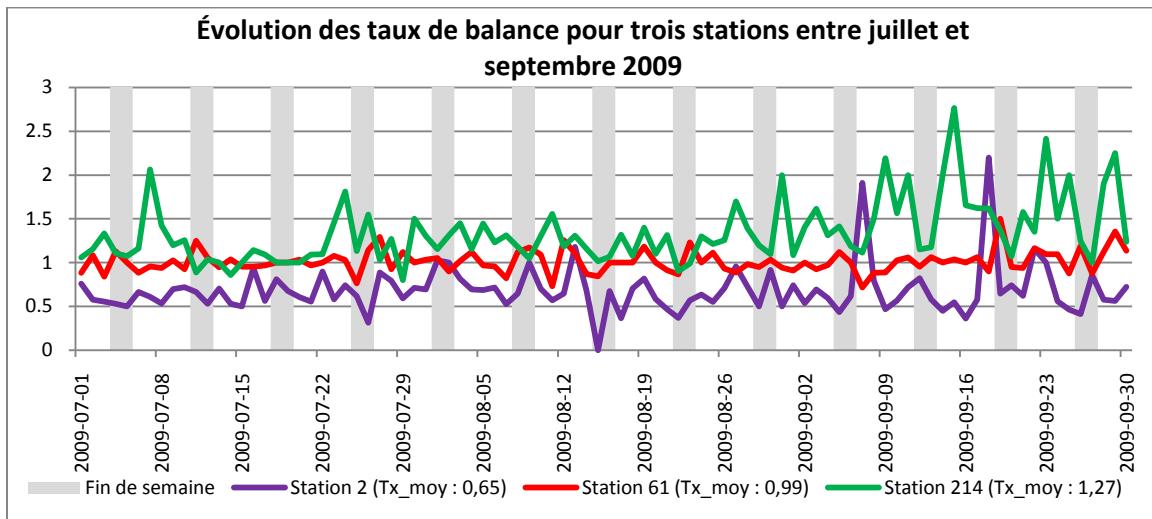


Figure 8-3 : Variation des taux de balance de trois stations entre juillet et septembre 2009

Finalement, l'analyse des déficits d'opérations des stations peut être vue comme un complément au taux de balance. En effet, il est possible de calculer quotidiennement la différence entre le nombre d'emprunts et de dépôts.

Cette différence permet de quantifier les volumes de transactions manquant pour obtenir l'équilibre de la station. Par exemple, la carte de la Figure 8-4 illustre les déficits des stations pour la journée du 30 septembre 2009. Les stations en rouge ont eu au moins 5 dépôts de plus que d'emprunts. Ce sont majoritairement des stations du centre-ville. En revanche, les stations en vert ont eu 5 emprunts de plus que de dépôts et sont davantage réparties aux abords du Mont-Royal et dans la partie Nord du Plateau Mont-Royal.

L'analyse des déficits quotidiens permet de quantifier les volumes de transferts nécessaires pour obtenir l'équilibre des stations.

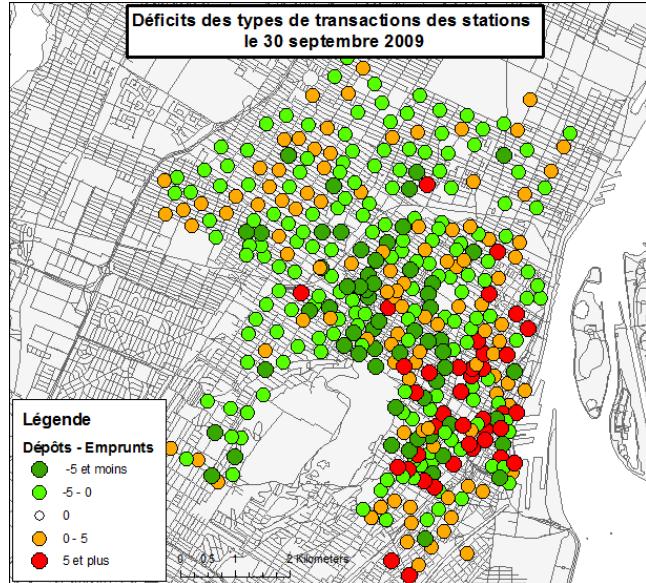


Figure 8-4 : Déficits des types de transactions des stations lors de la journée du 30 septembre 2009

8.2 Taux d'indisponibilité d'emprunts et de dépôts

Pour un opérateur de vélopartage, il est fondamental de pouvoir offrir un service efficace et accessible à l'ensemble des usagers. Ceci se traduit par la réduction au maximum des situations dans lesquelles un usager ne pourrait emprunter ou déposer un vélo sur une station. Le second indicateur calculé fait suite aux constats suivants : lorsqu'une station est à pleine capacité, c'est-à-dire que tous ses points d'ancrage sont pourvus de bicyclettes, elle devient indisponible pour le dépôt. À ce moment-ci, elle perd la faculté d'être destination d'un déplacement pour devenir uniquement une station d'origine. À l'inverse, lorsqu'une station est vide, c'est-à-dire que tous ses points d'ancrage sont dépourvus de bicyclette, aucun départ n'est possible. La station devient uniquement station de destination. Ces deux situations sont particulièrement néfastes au point de vue de la qualité du service vis-à-vis des usagers. Le taux d'indisponibilité calculé dans cette section permet alors d'apprécier les périodes de temps pendant lesquelles les stations sont indisponibles pour les dépôts et/ou les emprunts. Les deux indicateurs sont calculés de la façon suivante :

- Taux d'indisponibilité d'emprunts : $\Gamma_{ind_emp_s} = \frac{\sum_{nj=92} T_{vide_s}(j)}{T_{ser_s}}$
- Taux d'indisponibilité de dépôts : $\Gamma_{ind_dep_s} = \frac{\sum_{nj=92} T_{pleine_s}(j)}{T_{ser_s}}$

Avec :

- $T_{vide_s}(j)$: Nombre d'heures pendant laquelle la station s a été vide lors de la journée j;
- $T_{pleine_s}(j)$: Nombre d'heures pendant laquelle la station s a été pleine lors de la journée j;
- T_{ser_s} : Nombre d'heures pendant laquelle la station s a été en service.

Avec ces indicateurs d'indisponibilité d'emprunts et de dépôts, l'opérateur est en mesure de connaître, pour chacune des stations du réseau, le temps pendant lequel la station a perdu l'une de ses caractéristiques. Par exemple, grâce à ces taux, l'opérateur peut repérer les stations qui ont systématiquement des problèmes et ajuster en conséquence les capacités des stations ou bien envisager le déploiement d'une nouvelle station à proximité pour réduire la frustration des usagers confrontés à ces situations.

Enfin, il est important de souligner que le calcul de ce taux est issu de la table des états des stations. Autrement dit, les taux d'indisponibilité sont calculés en tenant compte des transferts planifiés par le personnel technique. Ces taux sont aussi des outils pour évaluer l'état des stations suite aux opérations de redistribution des bicyclettes sur le réseau. L'analyse de ces deux taux révèle que :

- **Taux d'indisponibilité d'emprunts** : pendant les trois mois d'étude, une seule station n'a jamais été vide et 20,6 % des stations ont un taux moyen d'indisponibilité d'emprunts compris entre 0 % et 5 %. Ceci signifie que ces stations sont, en moyenne, très rarement dépourvues totalement de bicyclettes. 13,6 % des stations ont des taux moyens d'indisponibilité d'emprunts de plus de 25 % c'est-à-dire que ces stations sont vides pendant le quart de leur temps de service. La Figure 8-5 illustre la variation quotidienne du taux d'indisponibilité d'emprunts pour tout le réseau de stations. Il apparaît clairement sur la figure un pic à la mi-juillet, suivi d'une diminution significative en août et septembre. Au mois de juillet, en moyenne 21,9 % des stations ont été totalement vides au moins une heure dans la journée contre seulement 9,1 % au mois de septembre. Cette diminution s'explique en partie par l'augmentation très soutenue du nombre de vélos sur le réseau à partir du mois d'août. En effet, les calculs montrent que le coefficient de détermination est de $R^2=0,72$ entre les variables du nombre de vélos disponibles et du taux d'indisponibilité d'emprunts. Ceci signifie que près de 72 % de la variabilité de cet indicateur s'explique par l'augmentation du nombre de vélos sur le réseau.

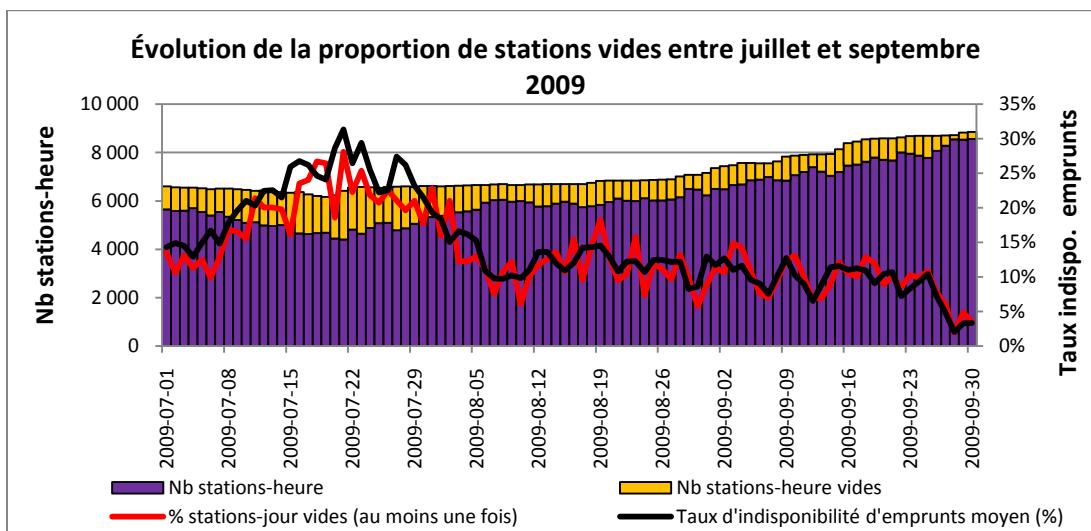


Figure 8-5 : Évolution de la proportion du nombre de stations-heure vides

- **Taux d'indisponibilité de dépôts** : Pendant les trois mois d'étude, près de 9,2 % des stations n'ont jamais été pleines et 61,5 % des stations ont un taux moyen d'indisponibilité de dépôt inférieur à 10 %. Cela montre que près de deux tiers des stations sont très rarement pleines. Parallèlement, seulement 2,7 % des stations ont un taux d'indisponibilité de dépôts de plus de 30 %. Comme précédemment, la variabilité de l'indicateur est présentée sur la Figure 8-6. On remarque une décroissance de l'indicateur au cours de la période d'étude signifiant que le nombre total d'heures pendant lesquelles les stations étaient pleines a diminué au cours du temps. Au mois de juillet, en moyenne 17,2 % des stations ont été au moins pleines une heure quotidiennement contre 12,5 % en août et 11,8 % en juillet. Une partie de la décroissance de l'indicateur peut s'expliquer par l'augmentation du nombre de points d'ancrage du réseau. En effet, plus le nombre de points d'ancrage est élevé moins il y a de chance que les stations soient pleines. Ainsi, le coefficient de détermination vaut $R^2=0,48$ entre le nombre de points d'ancrage et la variabilité de l'indicateur. De plus, il convient d'ajouter que la redistribution planifiée des bicyclettes a pu avoir une influence sur les indicateurs bien qu'aucun lien statistique n'ait été mis en évidence dans l'échantillon de trois mois de données.

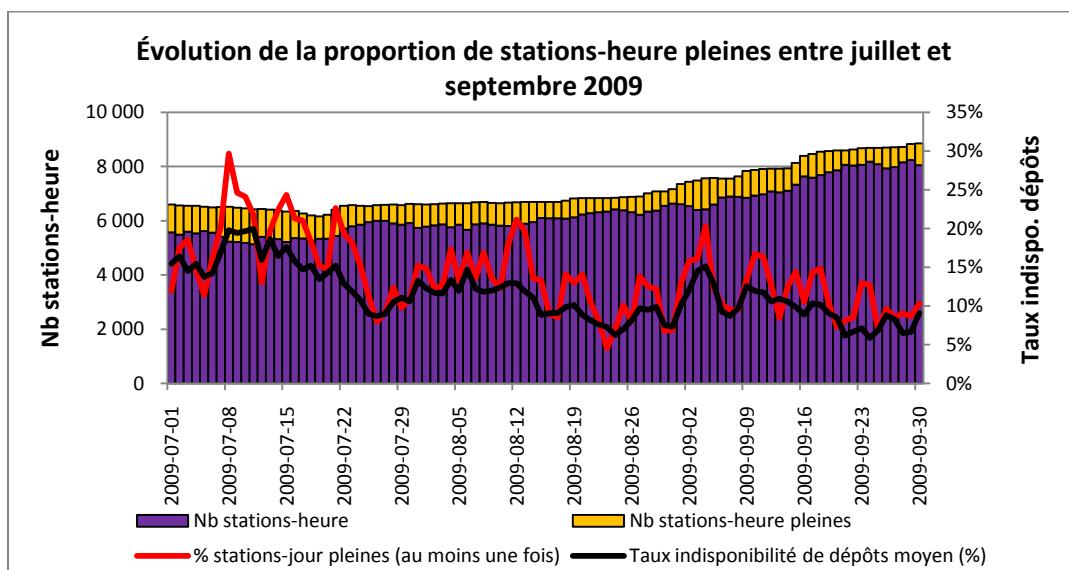


Figure 8-6 : Évolution de la proportion du nombre de stations-heure pleines

Finalement, comme pour le taux de balance, les stations ont été regroupées au sein de 5 classes distinctes pour les deux taux d'indisponibilité afin d'analyser les localisations géographiques des stations :

- **0 %** : regroupant les stations n'ayant jamais été pleines ou vides depuis leur mise en service;
- **0,1 %-5 %** : regroupant les stations atteignant très rarement le remplissage ou vidage total;
- **5 %-15 %** : regroupant les stations atteignant parfois le remplissage ou vidage total;
- **15 %-25 %** : composé des stations dont le remplissage ou vidage total est fréquent;
- **25 % et plus** : contenant les stations passant plus d'un quart du temps dans des positions extrêmes (vidage ou remplissage complet de la station).

La répartition spatiale des stations est particulièrement marquée pour les deux taux moyens calculés (Figure 8-7). En effet, les stations les plus souvent vides (carte de gauche) sont principalement situées aux abords du Mont-Royal, au centre-ville à proximité de l'Université McGill et en périphérie est du réseau. Pour celles situées à proximité du Mont-Royal, la topographie du terrain peut très largement expliquer la situation puisque les personnes utilisent les bicyclettes pour descendre alors que peu d'entre elles les empruntent pour remonter. Pour les autres stations, situées en périphérie et au centre-ville, l'hypothèse des mouvements pendulaires des déplacements au travail pourrait expliquer une partie de leur niveau d'activité. En effet, l'afflux massif de personnes pendant un laps de temps très court de la périphérie vers le centre-ville le matin, vide les stations de périphérie pour une bonne partie de la journée. Le mouvement inverse lors de la période de pointe du soir vide les stations du centre-ville pour la soirée, d'où des valeurs plus importantes de temps passé sans qu'aucune bicyclette ne soit disponible.

Pour le taux d'indisponibilité de dépôts, les stations les plus souvent pleines sont pratiquement toutes situées sur le Plateau Mont-Royal, entre la ligne orange du métro et la ligne verte. De plus, un groupe de sept stations aux abords du métro Frontenac est très souvent plein. Aucune information particulière n'explique le comportement de ces sept stations, si ce n'est leur faible capacité (moyenne de 9,4 points d'ancrage par station) légèrement inférieure à la moyenne du réseau de 13 points d'ancrage par station. Ainsi, aucune station de grande capacité n'est située dans ce secteur, ce qui peut provoquer une saturation de vélos plus fréquemment, mais ceci n'est qu'une hypothèse. Enfin, il faut noter qu'un grand nombre de stations étant régulièrement vides

n'ont jamais été pleines au cours de la saison d'étude, comme celles en périphérie Est du réseau et aux abords de l'université de Montréal.

Par ailleurs, la Figure 8-8 illustre les variations quotidiennes des taux pour deux stations du réseau. Il apparaît très distinctement que la station 57 est une station soumise aux mouvements pendulaires des travailleurs puisque les taux d'indisponibilité d'emprunts et de dépôts sont très élevés pratiquement quotidiennement. Le taux moyen d'indisponibilité d'emprunts de cette station est de 36,5 % pour les trois mois, ce qui est très élevé. Pour ce qui est de la station 4, on remarque qu'au mois de juillet les taux sont beaucoup plus importants qu'aux mois d'août et septembre. Plusieurs facteurs pourraient expliquer la réduction de ces taux comme l'amélioration des opérations de redistribution des vélos par les équipes technique sur cette station.

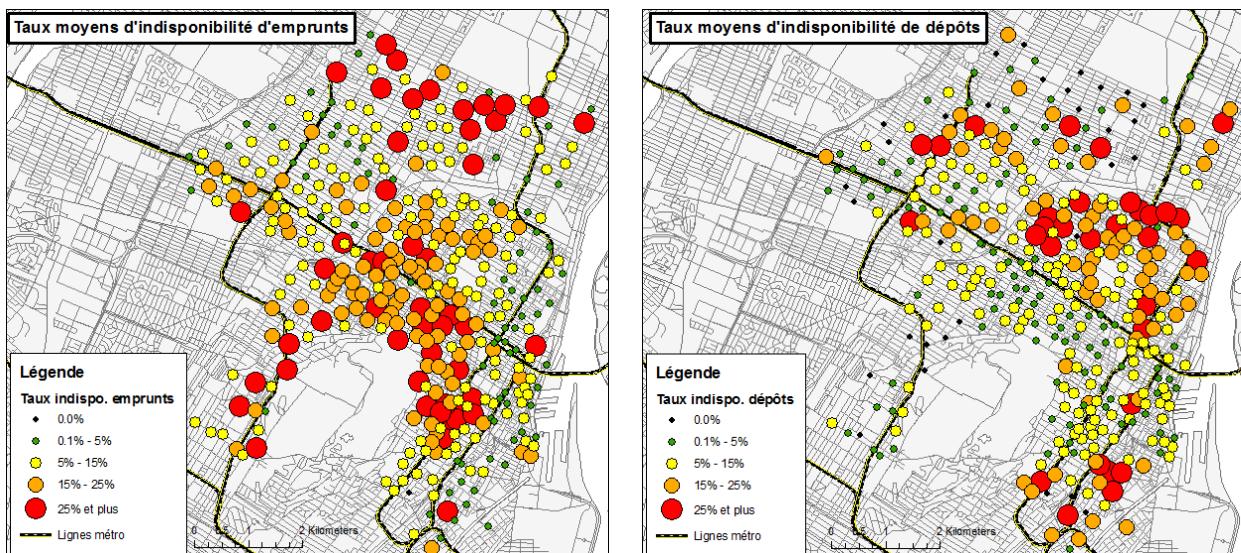


Figure 8-7 : Répartition spatiale des stations en fonction des taux moyens d'indisponibilité

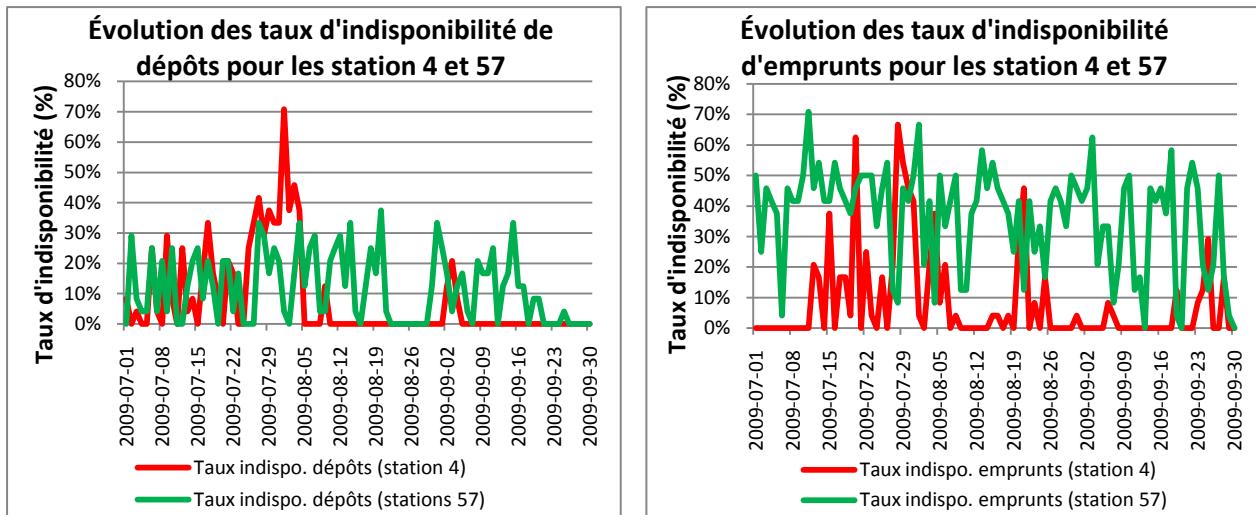


Figure 8-8 : Évolution des taux d'indisponibilité d'emprunts et de dépôts pour les stations 4 et 57

Finalement, la dernière étude s'attarde aux valeurs des taux moyens d'indisponibilité d'emprunts et de dépôts des stations en fonction des heures de la journée (Figure 8-9). Il ressort que le taux d'indisponibilité de dépôts croît en matinée pour être maximal vers 5h, puis décroît pendant la journée jusqu'à 17h. On retrouve les mouvements des travailleurs puisque la nuit est le moment où les stations sont les plus pleines (jusqu'aux premiers départs pour le travail vers 5h). Puis, le taux décroît pendant la journée avant de remonter lorsque les personnes ont terminé la journée de travail (à partir de 17h). À l'inverse, le nombre de stations-heure vides est au plus haut lorsque tous les mouvements de la période de pointe du matin ont été réalisés. En effet, à la fin de la période de pointe du matin, une grande partie de la flotte de bicyclettes est située dans le centre-ville dans certaines grandes stations, ce qui a pour effet de vider beaucoup de stations de périphérie, d'où le nombre plus important de stations vides pendant ces heures.

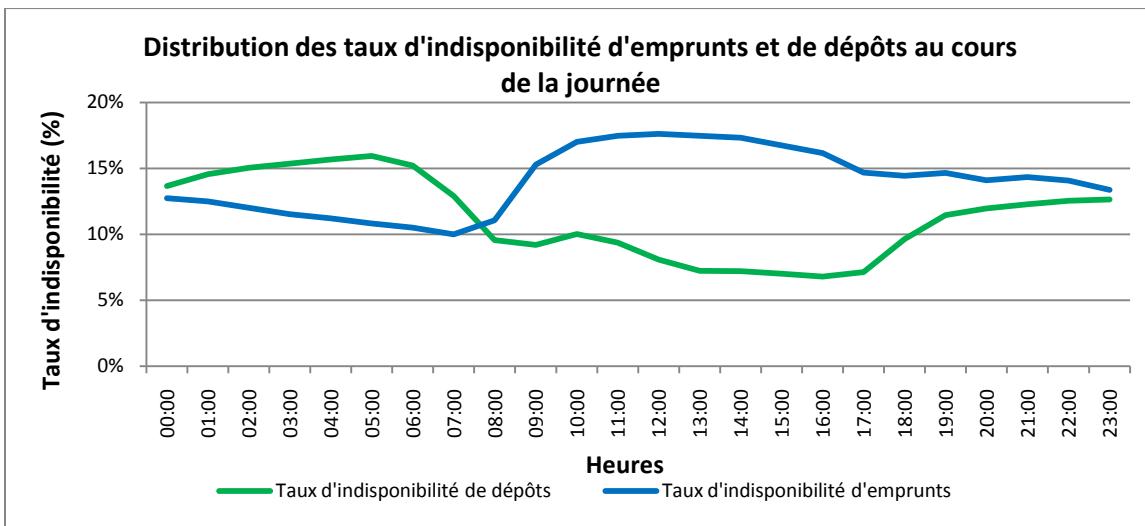


Figure 8-9 : Distribution des taux moyens d'indisponibilité d'emprunts et de dépôts au cours de la journée

8.3 Taux de transferts

L'utilisation d'un système de vélopartage est optimale lorsque l'usager peut avoir recours au service en tout temps, c'est-à-dire que la redistribution des bicyclettes est telle qu'à aucun moment une station n'est dans un état d'indisponibilité. Or, un problème majeur apparaît pour l'ensemble des modes de transport : la concentration d'un très grand nombre de déplacements sur une très petite plage horaire vers les grands générateurs de déplacements de la ville. Dans un système de vélopartage ceci a deux conséquences : d'une part, la distribution des vélos s'effectue, non pas sur l'intégralité des stations du réseau, mais sur quelques stations bien identifiées, et, d'autre part, cela réduit considérablement le nombre de vélos disponibles sur les stations du réseau pour le reste de la journée. L'opérateur de vélopartage doit alors effectuer une redistribution planifiée des bicyclettes pour compenser les mouvements pendulaires des vélos.

Dans cette étude, un indicateur de performance concernant les taux de transferts a été développé afin d'identifier les stations les plus problématiques dans les opérations de redistribution des vélos sur le réseau. L'identification de ces stations est fondamentale puisque, comme nous l'avons mentionné au paragraphe 7.4.4, les transferts sont principalement réalisés entre un nombre restreint de stations. Par conséquent, l'identification de ces stations permettra de développer des algorithmes d'optimisation de la redistribution des vélos sur ces stations, réduisant les coûts d'exploitation du service.

Les taux de transferts calculés ont pour objectif de mesurer la contribution des opérations d'emprunts et de dépôts planifiées par le personnel technique par rapport aux mouvements générés par les usagers. Un premier taux de transferts est calculé pour estimer le nombre de bicyclettes déposées volontairement par le personnel par rapport à l'ensemble des bicyclettes déposées à la station (opérations de chargement). Le second taux de transferts évalue le nombre de bicyclettes empruntées volontairement par le personnel par rapport à l'ensemble des bicyclettes empruntées à la station (opérations de déchargement). Ces deux taux de transferts sont calculés de la manière suivante :

- Taux de transferts de chargement :

$$\Gamma_{tf_charg_s} = \frac{\sum_{nj=92} T f_{Dep_s}(j)}{\sum_{nj=92} T f_{Dep_s}(j) + Dep_s}$$

- Taux de transferts de déchargement :

$$\Gamma_{tf_decharg_s} = \frac{\sum_{nj=92} T f_{Emp_s}(j)}{\sum_{nj=92} T f_{Emp_s}(j) + Emp_s}$$

Avec :

- Dep_s : Nombre de dépôts par les usagers sur la station s;
- Emp_s : Nombre d'emprunts par les usagers sur la station s;
- soit $T f_{Dep_s}(j)$ le nombre de vélos déposés par le personnel technique sur la station s lors de la journée j;
- soit $T f_{Emp_s}(j)$ le nombre de vélos empruntés par le personnel technique sur la station s lors de la journée j.

L'analyse de ces deux taux indique que :

- **Taux de transferts de chargement (dépôts)** : près de 64,8 % des stations ont un taux de transferts de chargement de moins de 10 %, c'est-à-dire que moins de 10 % de toutes les opérations de dépôts sur ces stations pour les trois mois d'étude ont été accomplies par le personnel. Pour les trois mois, en moyenne 26,1 % des stations ont quotidiennement été impliquées dans les opérations de chargement. Ceci confirme que les transferts de chargement n'ont pas lieu sur l'ensemble du réseau, mais sur une section précise de

stations. Par ailleurs, 4,3 % des stations ont des taux de transferts de chargement de plus de 35 %, soit plus du tiers des opérations de chargement de ces stations ont été accomplies par le personnel. La variation du taux de transfert de chargement et les fluctuations du nombre de stations ayant servi aux opérations de chargement sont présentées sur la Figure 8-10. Il n'y a pas d'augmentation significative de la proportion de stations impliquées dans les opérations de transferts au cours de la période d'étude, malgré que celles-ci aient cru de plus de 34 % en trois mois. Par contre, on note un accroissement du taux entre juillet et septembre. Comme le nombre de transactions s'est également intensifié sur cette période, la croissance du taux est liée à l'intensification des opérations de transferts.

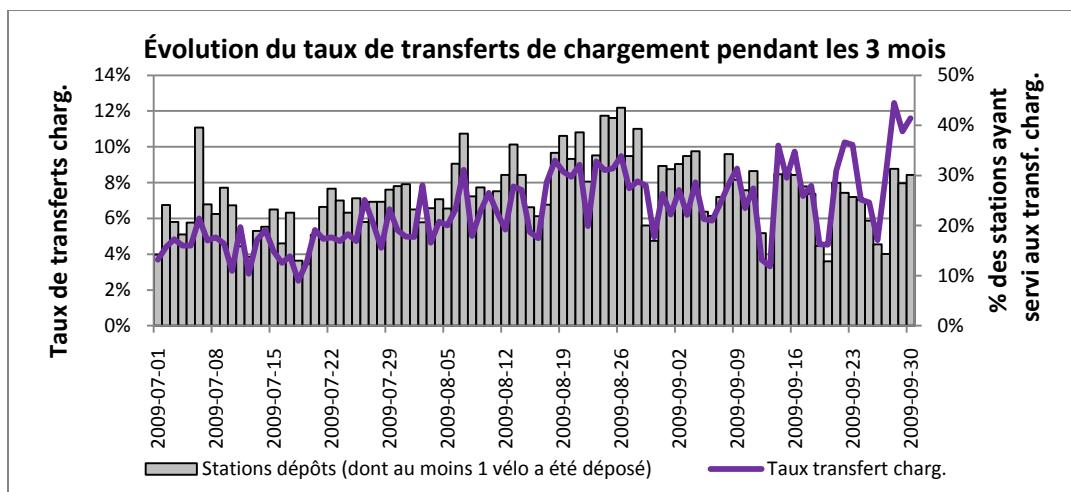


Figure 8-10 : Évolution du taux de transferts de chargement entre juillet et septembre 2009

- **Taux de transferts de déchargement (emprunts)** : près de 53,9 % des stations ont un taux de transferts de déchargement de moins de 5 %, c'est-à-dire que moins de 5 % de toutes les opérations d'emprunts à cette station ont été effectuées par le personnel. Seulement 1,9 % des stations ont un taux de transferts de déchargement de plus de 35 %. Pour le taux de transferts de déchargement, la proportion moyenne de stations impliquées quotidiennement dans les transferts est de 27,4 %. Ce taux est très sensiblement identique à celui calculé précédemment. D'ailleurs, la Figure 8-11 révèle la similitude entre les deux taux au niveau des variations quotidiennes. Ces similitudes s'expliquent très facilement puisque le nombre d'emprunts et de dépôts journalier est pratiquement identique lorsque l'on s'intéresse à tout le réseau simultanément. Les différences

apparaissent principalement dans le nombre de stations impliquées quotidiennement dans les transferts.

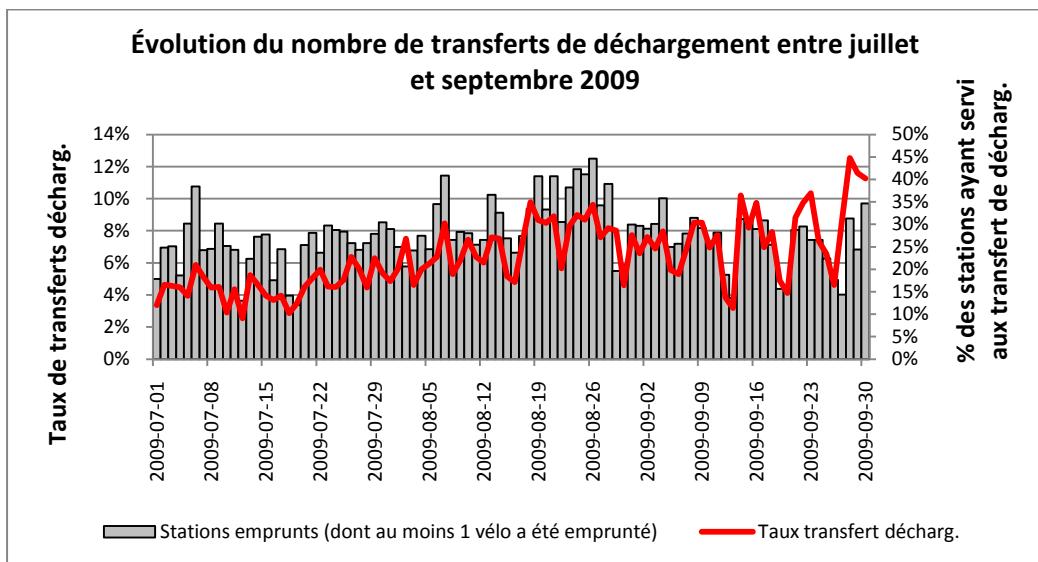


Figure 8-11 : Évolution du taux de transferts de décharge entre juillet et septembre 2009

Ces figures confirment encore une fois la pertinence de calculer les taux sur une base journalière pour chaque station du réseau. La Figure 8-12 présente les variations de taux de transferts pour deux stations différentes. La station 49 (figure de gauche) est principalement une station de décharge, c'est-à-dire que les vélos sont très souvent retirés par le personnel. Le taux moyen de décharge de cette station est de 28,6 %, ce qui signifie que plus du quart des vélos empruntés sur cette station sont des mouvements du personnel technique. En revanche, on remarque que les deux taux de transfert de la station 75 sont élevés séparément. Ceci peut paraître paradoxal puisque cela démontre que les mouvements d'emprunts et de dépôts sur la station sont très fréquents. L'explication de ce phénomène s'explique par la localisation géographique de la station. En effet, cette station est située au Square Philipps au cœur du centre-ville de Montréal. Par le fait, cette station est très sensible au mouvement pendulaire des travailleurs et oblige le personnel technique à retirer des vélos le matin pour que les usagers en provenance de la périphérie puissent déposer leur bicyclette, et à recharger la station le soir pour que le maximum de départs puissent être accomplis.

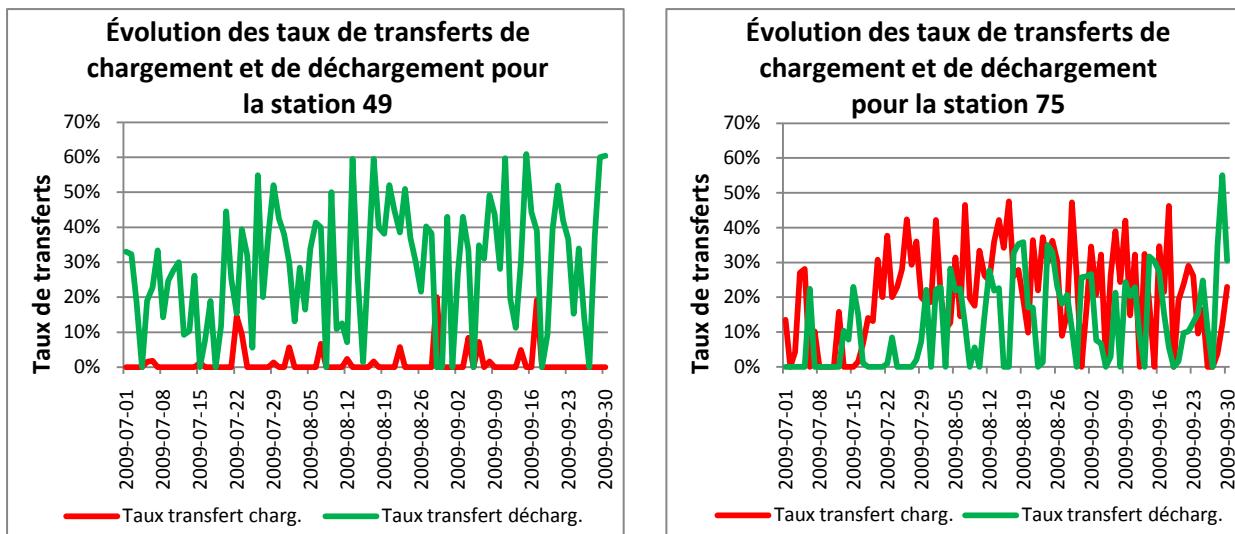


Figure 8-12 : Évolution des taux de transferts de chargement et déchargement pour les stations 49 et 75 entre juillet et septembre 2009

Finalement, la répartition spatiale des stations en fonction des valeurs des taux de transferts indique que les stations avec les taux de transferts de chargement les plus élevés sont principalement situées aux abords du Mont-Royal (confirmant l'hypothèse que les cyclistes descendent de la montagne, mais qu'un moins grand nombre remontent, obligeant le personnel à transférer des vélos), ainsi que dans la partie Est du réseau (Figure 8-13). Les stations, avec des taux de transferts de déchargement élevés, sont situées dans toute la partie basse du centre-ville et près du Vieux-Port. Plusieurs stations du quart nord-est du réseau ont des taux de transferts de chargement et de déchargement très élevés simultanément. Ces stations doivent alors subir de très fortes variations d'utilisation au cours de la journée permettant aux personnels d'optimiser la redistribution du réseau en y prenant parfois des bicyclettes et en y réinsérant à d'autre. De plus, il est intéressant de faire le lien avec les taux d'indisponibilités calculés au paragraphe 8.2. En effet, les stations à proximité du fleuve sont plus souvent pleines, c'est pourquoi les opérations de déchargements par le personnel sont plus nombreuses dans cette zone. À l'inverse, les stations en périphérie est et aux abords du Mont-Royal étaient plus souvent vides, d'où un nombre plus important de chargements sur ces stations.

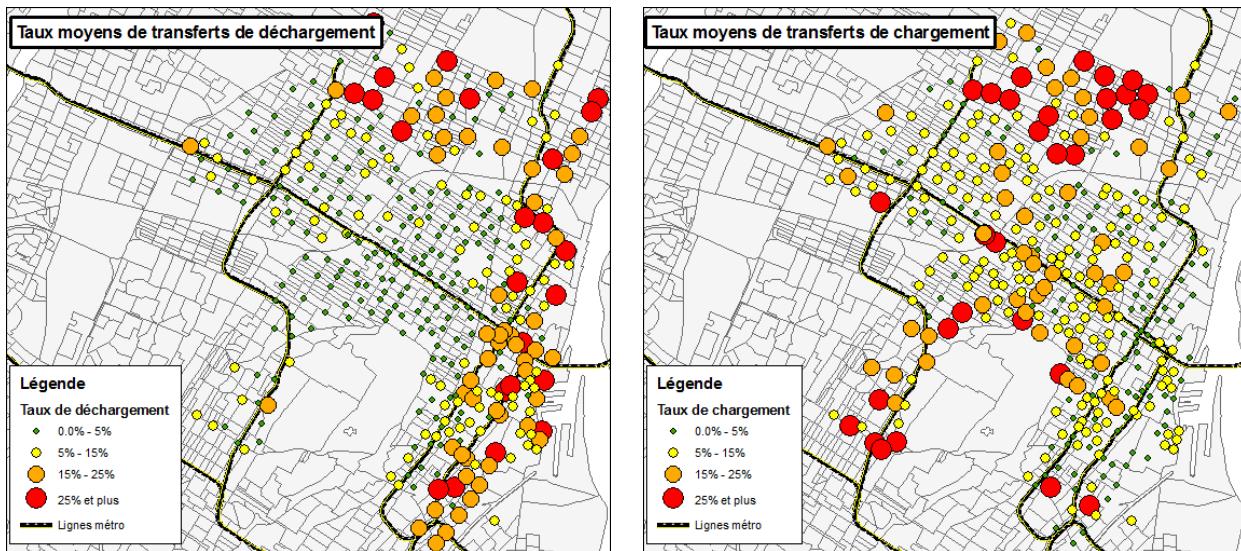


Figure 8-13 : Répartition spatiale des stations en fonction des taux moyens de transferts de chargement et de déchargement

Une dernière étude a été menée pour analyser les transferts et s'attarde à comparer l'état des stations avec et sans les transferts par le personnel technique. En effet, pour pouvoir procéder à l'optimisation des transferts, il est fondamental de déterminer l'activité de la station avant que les opérations de redistribution ne soient réalisées. La méthode d'analyse repose sur la comparaison du nombre de vélos stationnés sur la station à la fin de la journée lorsque toutes les transactions et les transferts ont eu lieu (état réel) avec l'état dans laquelle la station aurait été si aucun transfert n'avait été opéré (état théorique). Les résultats de cette analyse sont illustrés sur les Figure 8-14 et Figure 8-15 pour deux stations.

Dans un premier temps, la station 68 apparaît comme étant totalement déséquilibrée. En effet, la courbe verte sur la Figure 8-14 croît continuellement au cours de la période d'étude. Ceci signifie que le nombre théorique de bicyclettes stationnées serait de plus de 400 au terme de trois mois d'étude. Autrement dit, le nombre d'emprunts sur cette station ne compense aucunement les dépôts. C'est l'intervention presque quotidienne des équipes techniques qui permet à la station de ne pas être constamment saturée de vélos. Cependant, précisons qu'il y a toutefois une erreur systématiquement commise dans la courbe verte puisque, dans la réalité, dès que la station est saturée, les usagers doivent se retourner vers une autre station pour déposer leur vélo (cette remarque a déjà été mentionnée au paragraphe 8.1). On s'aperçoit alors que l'intervention de l'équipe technique contribue à amplifier le déséquilibre de la station. Néanmoins, comme le

nombre d'emprunts est trop faible sur cette station l'opérateur est contraint de procéder à ces transferts, faute de quoi, la station aurait tout simplement été saturée pendant toute la saison.

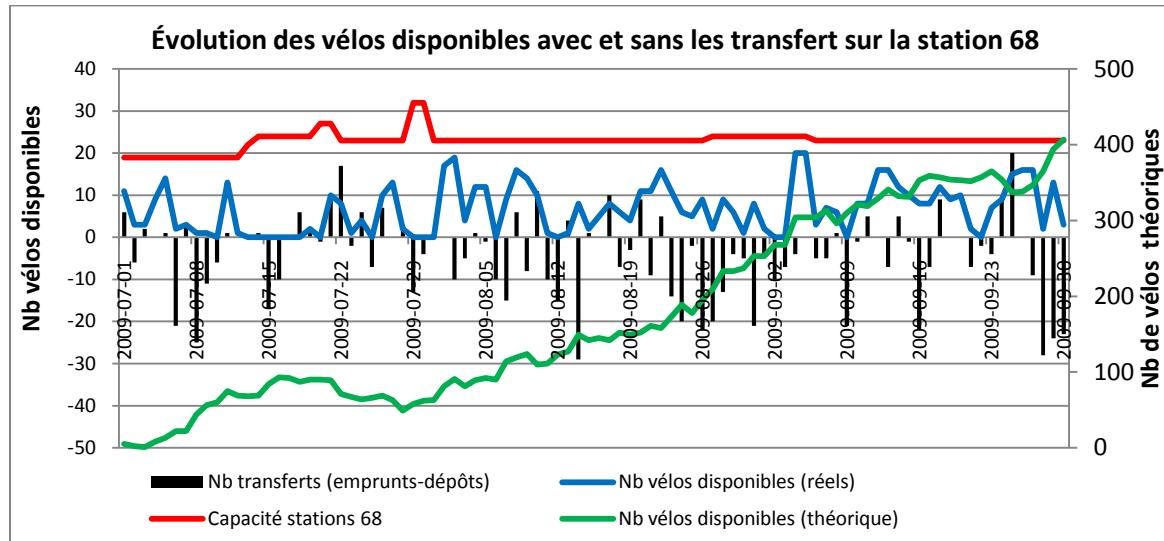


Figure 8-14 : Évolution du nombre de vélos disponibles avec et sans les transferts sur la station 68

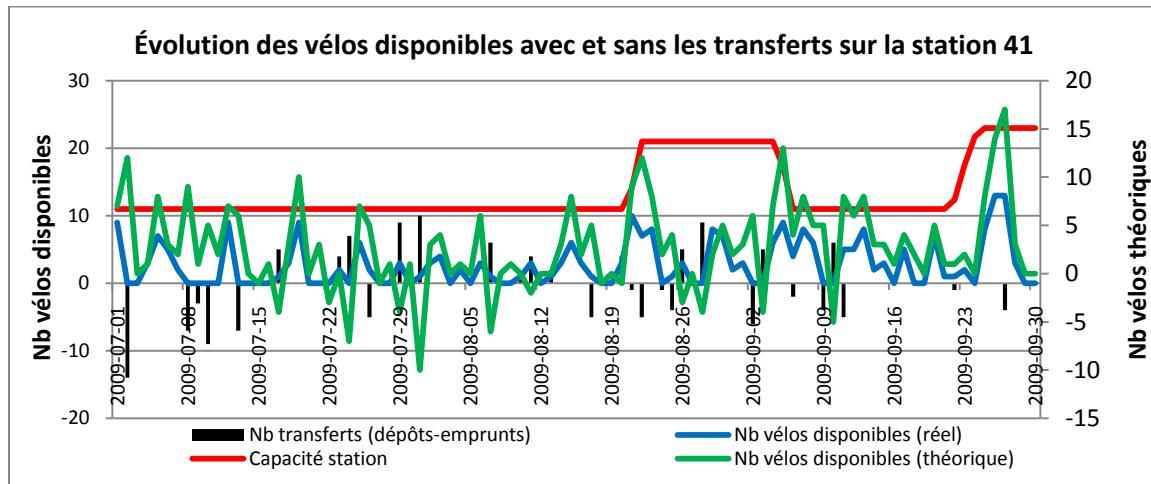


Figure 8-15 : Évolution du nombre de vélos disponibles avec et sans les transferts sur la station 41

Sur la Figure 8-15, la station est, quant à elle, beaucoup plus équilibrée. En effet, les techniciens ont procédé à 34 transferts différents pendant les 92 jours alors qu'il apparaît que dans seulement 16 cas la station aurait été saturée ou un vélo aurait manqué à un client. Par conséquent, plusieurs interventions sur cette station auraient pu être épargnées.

Ces informations permettent à l'opérateur d'estimer les bénéfices des transferts et de déterminer les stations nécessitant réellement des interventions, de celles pouvant fonctionner correctement sans ajouts ou retraits de bicyclettes.

8.4 Variations des taux de remplissage

L'optimisation du réseau est un aspect fondamental pour minimiser les coûts d'exploitation du réseau. Cependant, obtenir un réseau de stations avec des taux de balance équilibrés n'est pas le seul aspect à prendre en considération dans l'optimisation des transferts. En effet, le taux de balance mesure l'intégralité des emprunts par rapport aux dépôts sans tenir compte des horaires des transactions. Une station peut se vider le matin et se remplir le soir tout en ayant un taux de balance équilibré. Or, dans une telle situation, la station perd sa capacité d'être origine de déplacements pendant la journée puisque les bicyclettes ne seront de nouveau disponibles que le soir. Cette limite du taux de balance oblige la création d'un nouvel indicateur.

L'indicateur proposé ici permet de mesurer les variations de remplissage au cours de la journée pour chaque station. Cet indicateur détermine si la station a subi des variations importantes au cours de la journée, ou bien si les opérations qu'elle engendre sont bien réparties sur la journée. Les stations avec des amplitudes de variations extrêmes seront plus sujettes à avoir des états d'indisponibilités d'emprunts et de dépôts. De plus, cet indicateur permet de mieux comprendre les comportements des usagers, puisque l'on peut déterminer les périodes d'utilisation des stations (période de pointe ou hors pointe) en fonction des zones de déploiement. Cette information est nécessaire pour ajuster correctement les capacités des stations et le nombre de vélos disponibles pour une utilisation optimale.

Par conséquent, l'indicateur retenu est l'écart-type des taux de remplissage horaires d'une station. Le taux de remplissage des stations a déjà été présenté au paragraphe 7.3.4. Le nouvel indicateur est calculé sur une base journalière de la manière suivante :

$$E_{\Gamma_s}(i,j) = \sqrt{\frac{1}{h} \left(\sum_{i=1}^h (\Gamma_s(i,j) - \bar{\Gamma}_s(j))^2 \right)}$$

Avec :

- h représente le nombre d'heures de service dans la journée pour une station s ;
- $\bar{\Gamma}_s(j) = \frac{1}{h} \sum_{i=1}^h \Gamma_s(i,j)$;
- soit $\Gamma_s(h,j) = \frac{V_s(h,j)}{cap_s(h,j)}$ le taux de remplissage de la station s à l'heure h de la journée j .

Plus la valeur de l'écart-type est élevée plus la station est soumise à d'importantes variations journalières de remplissage. Inversement, plus la valeur est faible plus le taux de remplissage de la station est stable au cours de la journée. Pour l'ensemble des stations du réseau, la valeur moyenne du taux de remplissage est de 54,4 %, et la valeur moyenne de l'écart-type de ce taux est de 27,6 %.

Les stations ont aussi été réparties en quatre classes afin de pouvoir visualiser leur dispersion spatiale sur le territoire. L'analyse des résultats révèle que les stations, dont les amplitudes de variation sont les plus importantes, sont situées au cœur du centre-ville ainsi que dans la partie Est du Plateau-Mont-Royal (Figure 8-16). L'ellipse de dispersion des stations ayant les écarts-types les plus élevés a été tracée (en rouge sur la figure). L'ellipse est de petite dimension et orientée sur le Plateau Mont-Royal, confirmant qu'une grande partie des stations, subissant de fortes variations journalières, sont situées dans cet arrondissement.

De plus, au paragraphe 8.1, il a été précisé que les stations du Plateau Mont-Royal ont des taux de balance équilibrés. Avec ce nouvel indicateur, on peut affirmer que ces stations subissent de fortes variations journalières probablement liées aux mouvements pendulaires des travailleurs (départs et retours massifs pendant les périodes de pointe). Pour les stations du centre-ville, un phénomène similaire doit se produire. La probabilité de pénuries ou surplus de bicyclettes doit être plus élevée dans ces zones.

Aussi, le calcul de cet indicateur sur une base quotidienne permet d'apprécier plus justement le comportement des stations et notamment les différences entre les jours de semaine et les jours de fin de semaine. La Figure 8-17 présente les variations journalières de l'indicateur pour deux stations. Il ressort de ce graphique que la station 59 a une amplitude de variations très importante en semaine et beaucoup moins soutenue lors des fins de semaine. Ceci s'explique par la position

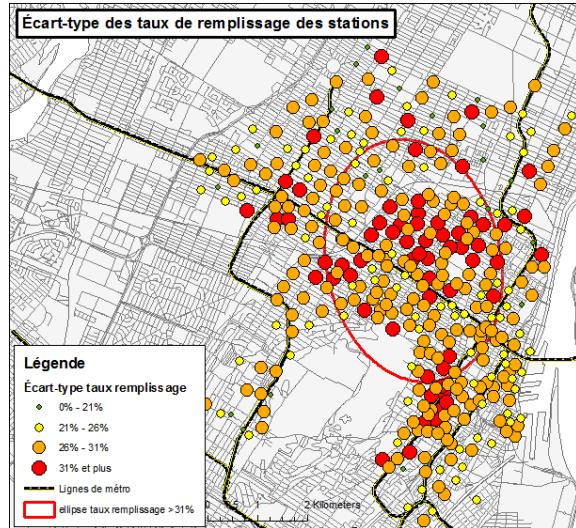


Figure 8-16: Répartition spatial des stations en fonction de l'écart-type des taux de remplissage

de la station, à proximité de l'université McGill. La station 35 illustre le phénomène inverse, c'est-à-dire que l'amplitude de variations de la station est très élevée pendant la fin de semaine et plus modérée pendant les jours de semaine. Encore une fois, la position de la station explique la tendance relevée puisqu'elle se situe dans le Vieux-Port de Montréal, zone très achalandée pendant les fins de semaine. Par conséquent, ces informations permettent d'anticiper les variations de remplissage des stations au cours du temps.

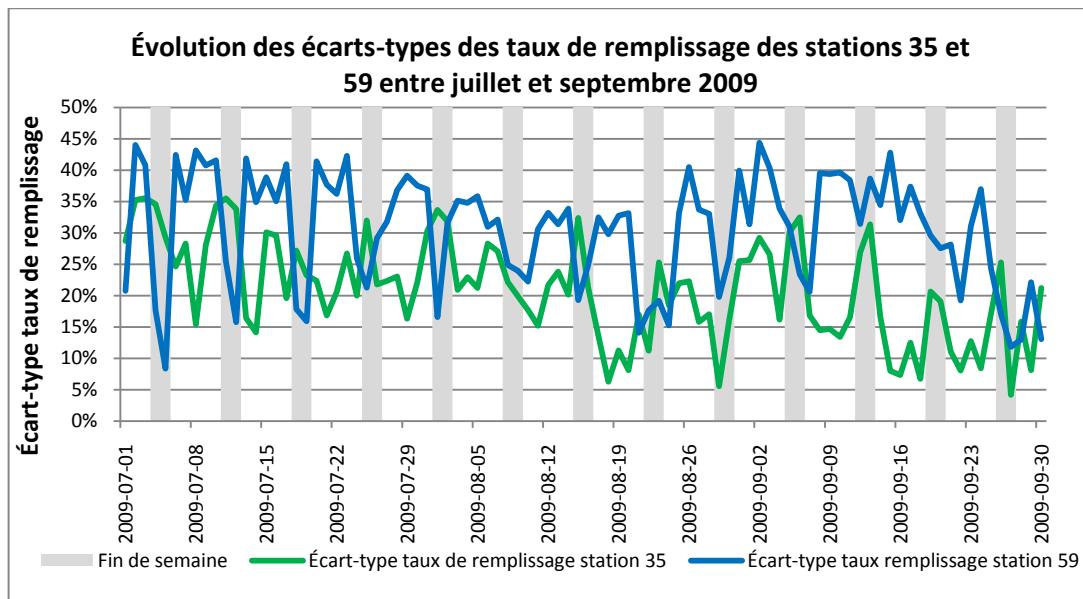


Figure 8-17 : Évolution des écarts-types des taux de remplissage des stations 35 et 59 entre juillet et septembre 2009

8.5 Taux d'opérations par point d'ancrage

Les quatre premiers indicateurs décrits précédemment sont des outils conçus pour comprendre les variations journalières d'activité des stations et pour aider les planificateurs dans l'optimisation des transferts entre les stations. Le dernier indicateur proposé dans cette étude a, quant à lui, pour objectif de mesurer la performance opérationnelle des stations. En effet, il est fondamental pour l'opérateur de développer un indicateur révélant si une station est utilisée à son plein potentiel par rapport aux autres stations du réseau. L'indicateur doit pouvoir comparer l'activité des stations de capacité différente, permettant de différencier les niveaux d'activité des stations en fonction des quartiers de déploiement et d'évaluer l'augmentation du volume de transaction sur la station en fonction du temps.

L'indicateur retenu est le taux journalier d'opérations par point d'ancrage. Ce taux est calculé de la façon suivante :

$$\Gamma_{op_pt}(s, j) = \frac{Emp_s(j) + Dep_s(j)}{Cap_s(j)}$$

Avec :

- $Emp_s(j)$ indique le nombre d'emprunts sur la station s lors d'une journée j ;
- $Dep_s(j)$ indique le nombre de dépôts sur la station s lors d'une journée j ;
- $Cap_s(j)$ est le nombre moyen de points d'ancrage de la station lors de la journée j .

Pour l'ensemble de la période d'étude, le taux moyen d'opérations par point d'ancrage est de 3,7 (écart-type $\pm 2,98$). En moyenne, près de 30,7 % des stations du réseau ont un taux journalier d'opérations par point d'ancrage inférieur à 4 tandis que 18,5 % des stations ont plus de 6 opérations quotidiennes par point d'ancrage. La Figure 8-18 illustre les proportions journalières de stations en fonction des valeurs du taux. On note que le taux diminue pendant le mois de septembre puisque le nombre de points d'ancrage a fortement augmenté lors de cette période.

De plus, la répartition spatiale des stations révèle que les stations les plus performantes sont généralement situées aux abords des quatre rues Saint-Denis, Saint-Laurent, Mont-Royal et De Maisonneuve (Figure 8-18). On s'aperçoit alors que la position de la station joue un rôle majeur dans le niveau d'activité de la station, et ce, quel que soit le nombre de points d'ancrage de la station. Par opposition, les stations installées en périphérie de réseau ont des taux d'opérations par points d'ancrage très souvent inférieurs à 2.

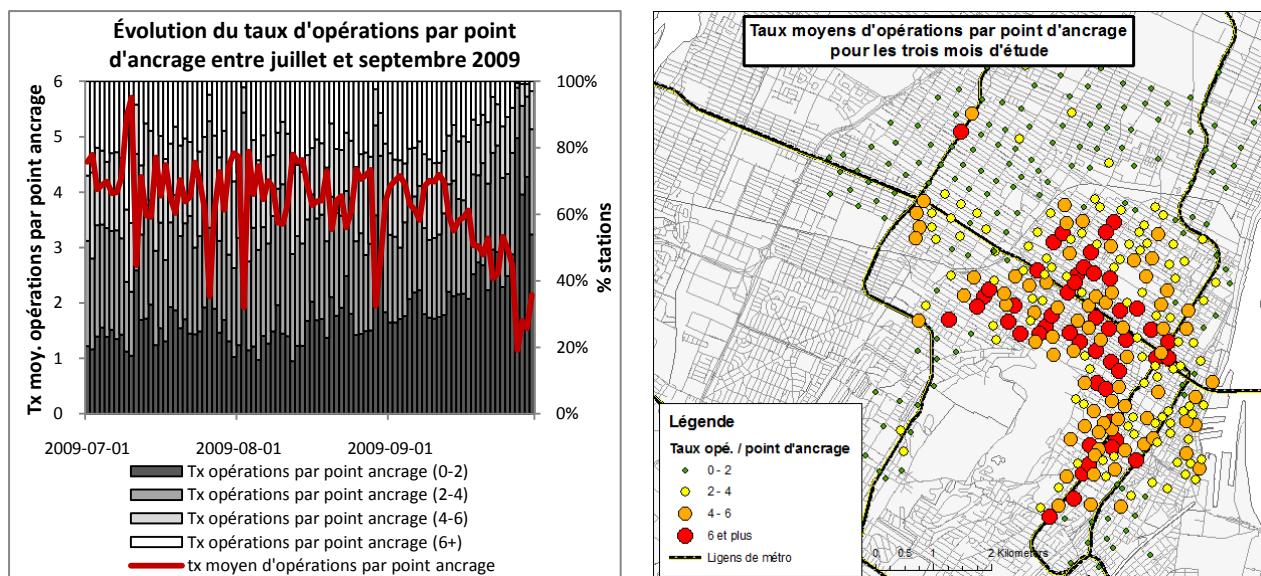


Figure 8-18 : Évolution du taux d'opérations par point d'ancrage entre juillet et septembre 2009

Finalement, le taux d'opérations par point d'ancrage se révèle comme étant un outil intéressant pour analyser la performance de plusieurs stations dont les capacités sont différentes. L'exemple ci-dessous compare la performance de quatre stations pour déterminer les différences de rendement entre les stations en tenant compte de leur différente capacité (Figure 8-19). Les quatre stations réparties dans le centre-ville entre les rues De Maisonneuve, Milton et Université.

À première vue, la station 71 semble la plus performante puisque l'on dénombre près de 15 477 opérations contre moins de 9 000 pour toutes les autres stations. Cependant, le taux d'opérations par point d'ancrage permet de constater que les stations les plus performantes sont les stations 202 et 203, malgré que ce soit celles qui aient les plus petites capacités. En effet, les stations 202 et 203 fournissent un meilleur rendement en termes d'utilisation que la grande station 71. Pour être aussi performante que la station 203, la station 71 devrait permettre la réalisation de 26 283, soit 68.9 % d'augmentation de transactions.

Cet exemple illustre une des utilisations potentielles du taux d'opérations par point d'ancrage. Précisons que l'indicateur pourrait être utilisé à différentes fins, comme mesurer le potentiel de rendement atteignable suivant les tailles des stations, la localisation spatiale, le type de clientèle à proximité, etc.

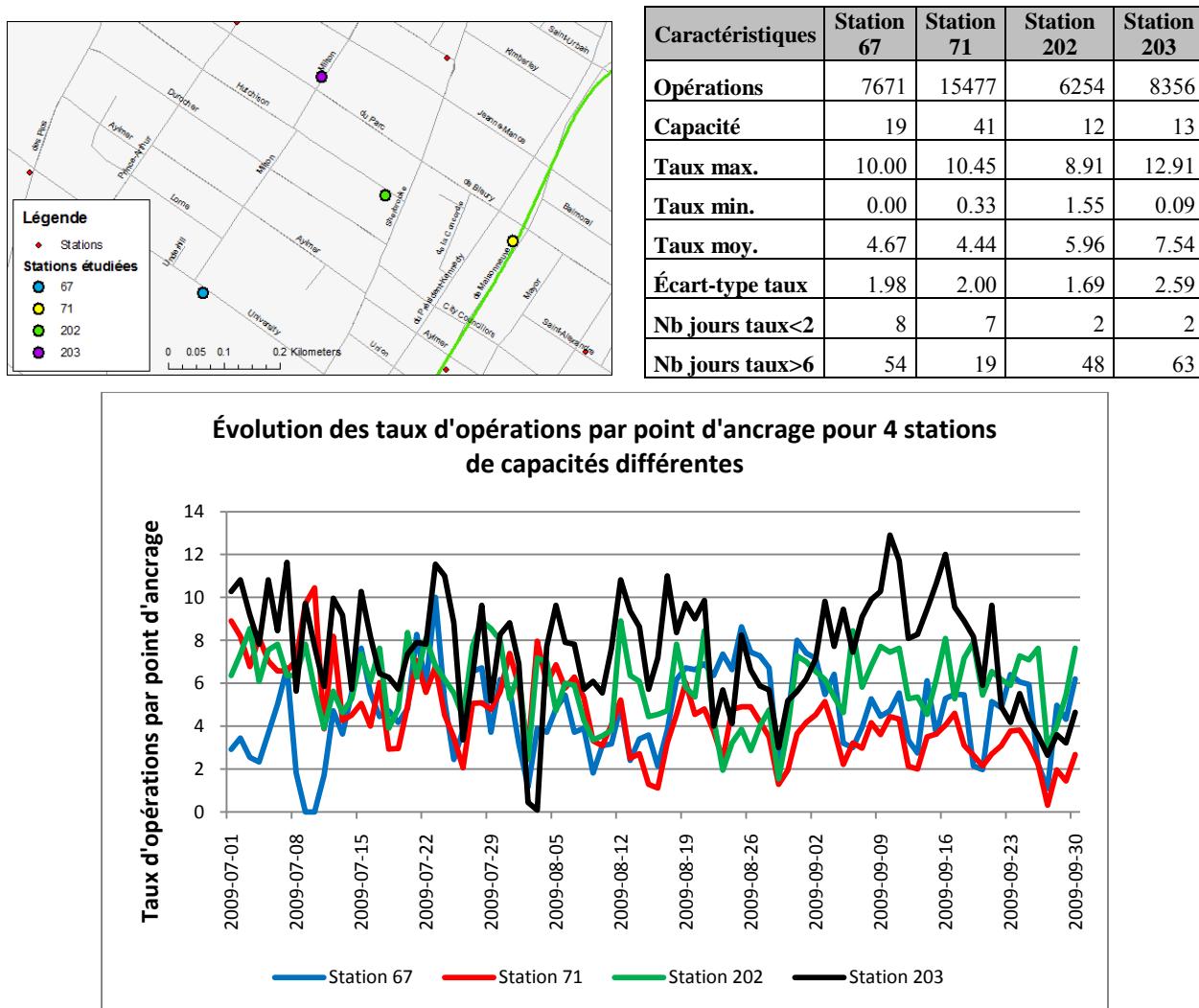


Figure 8-19 : Analyse des taux d'opérations par points d'ancrage de trois stations de capacité identique

8.6 Résumé

Au travers de ce chapitre, cinq indicateurs de performance ont été présentés et sont récapitulés dans le schéma de la Figure 8-20. Le taux de balance permet de mesurer l'équilibre d'une station au niveau des opérations d'emprunts et de dépôts. Les taux d'indisponibilité d'emprunts et de dépôts précisent le temps passé par une station dans des états critiques pendant lesquels les usagers ne peuvent profiter de l'ensemble du potentiel d'une station. Les taux de transferts d'emprunts et de dépôts fournissent une information sur l'ampleur des mouvements réalisés par le personnel technique de BIXI par rapport aux déplacements effectués par les usagers. L'indicateur de variations des taux de remplissage des stations permet de repérer les stations les

plus sensibles aux mouvements pendulaires des déplacements. Finalement, le taux d'opérations par point d'ancrage est l'indicateur permettant de comparer la performance opérationnelle des stations, tout en faisant abstraction des capacités et temps de service différents des stations du réseau.

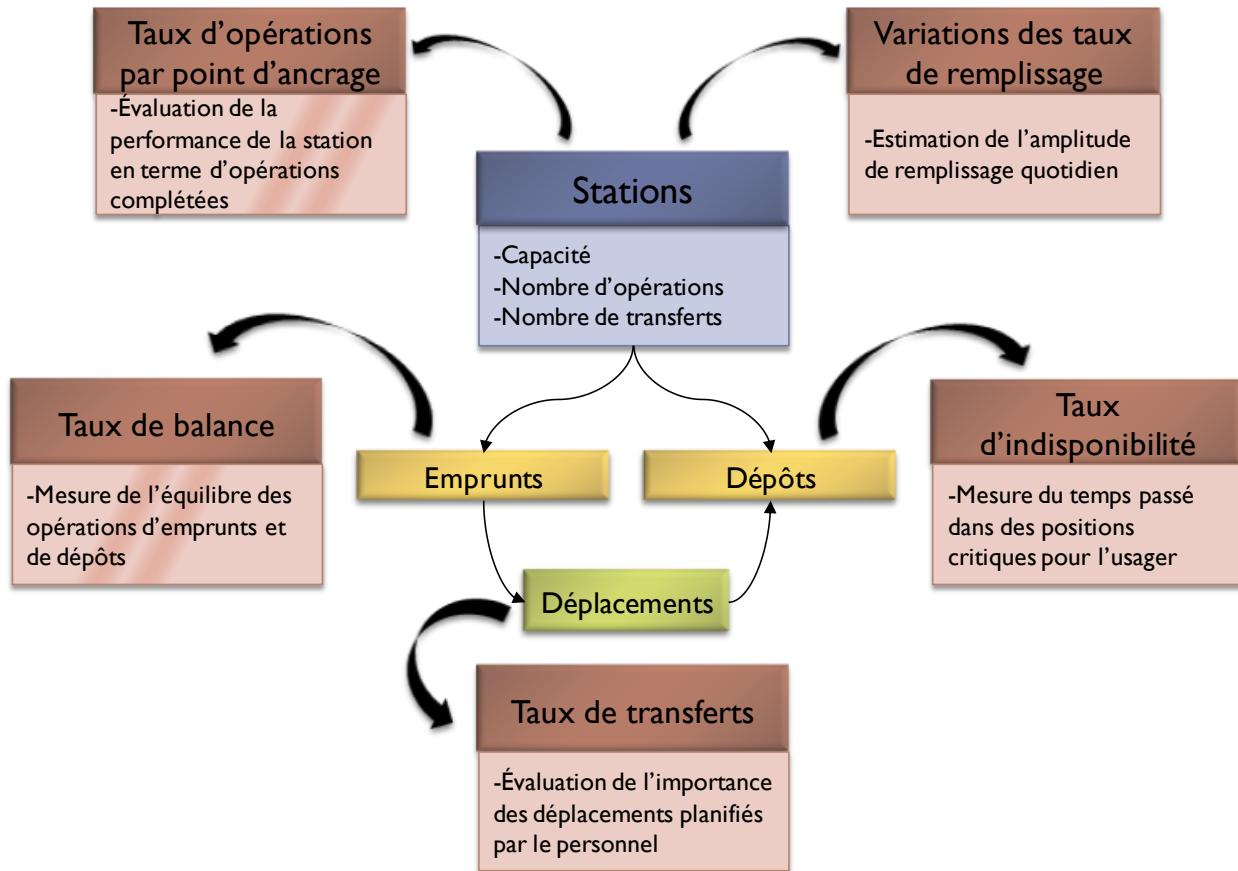


Figure 8-20 : Schéma récapitulatif des indicateurs de performance des stations

CHAPITRE 9 SEGMENTATION DES STATIONS ET MODÉLISATION DE L'ACTIVITÉ DANS LE SYSTÈME

Suite à la construction des indicateurs de caractérisation des stations, ce chapitre propose une première segmentation des stations en 5 segments (*clusters*), reposant sur leur similarité d'états d'indisponibilité d'emprunts et de dépôts. L'objectif d'une telle segmentation est de regrouper les stations ayant des niveaux d'activité similaires, permettant du même coup de localiser et d'analyser simultanément les groupes de stations problématiques pour l'opérateur BIXI. La première partie de ce chapitre décrira les caractéristiques des segments obtenus ainsi que leurs évolutions au cours du temps. Dans un second temps, il semble important d'expliciter plusieurs facteurs ayant une influence sur les niveaux d'activités du système. Par conséquent, la seconde partie s'attardera à proposer un modèle de régression linéaire modélisant l'activité des stations en fonction de plusieurs variables indépendantes, comme les conditions météorologiques, la proximité des stations de métro, etc.

9.1 Segmentation des stations

9.1.1 Méthode de segmentation

Comme, il a déjà été énoncé précédemment, deux états des stations sont particulièrement problématiques pour les usagers : lorsque les stations sont totalement pleines ou complètement vides. Ces états empêchent les usagers d'avoir recours au système ou bien les contraignent à dévier de leur destination, apparaissant comme un frein au fonctionnement et au développement du système. Les taux d'indisponibilité d'emprunts et de dépôts, détaillés au paragraphe 8.2, permettent d'évaluer, pour chacune des stations, le temps qu'elles passent quotidiennement dans ces états problématiques. Il convient maintenant de regrouper les stations selon ces états critiques pour analyser les niveaux d'activité des stations par segment homogène.

Les techniques de d'exploration de données (*Data mining*) permettent d'extraire des connaissances d'après d'importants échantillons de données. Il existe de nombreuses méthodes d'exploration et de segmentation des données, dont l'une des plus couramment utilisées est le *clustering* (Jain & Dubes, 1998). Les algorithmes de segmentation permettent, entre autres, de diviser une population hétérogène en sous-groupes homogènes (ayant des caractéristiques et

propriétés similaires). Les segments peuvent alors être analysés de manière indépendante, rendant plus aisée la détermination des facteurs influençant les comportements des éléments de ce sous-groupe (Morency, Trepanier, & Agard, 2011).

Parmi les différentes techniques de segmentation disponible, l'algorithme des k-moyennes est l'un des plus populaires (Jain, Murty, & Flynn, 1999) et a été utilisé dans cette étude. En effet, certaines techniques sont plus ou moins adaptées selon les types et volumes de données à étudier. Dans notre étude, l'objectif est de segmenter les stations suivant leurs états critiques de remplissage au cours du temps. Il est possible de créer un vecteur de dimension constante (la journée) pour décrire les états des stations. Les distances Euclidiennes entre ces vecteurs peuvent alors être calculées (même nombre de coordonnées) permettant l'application de cet algorithme.

Cet algorithme itératif se déroule comme suit : le nombre de segments k doit être prédéfini; l'algorithme sélectionne de façon aléatoire k centres, puis chacun des éléments est associé au centre le plus proche. Par la suite, les nouveaux centres sont calculés (moyennes des éléments des centres), suivi d'une nouvelle affectation des éléments au centre le plus proche. Ces itérations se poursuivent jusqu'à la stabilisation des centres et /ou l'atteinte du critère de convergence (Jain, et al., 1999). Enfin, précisions que l'algorithme de cette étude a été exécuté par le professeur B. Agard du département de génie industriel de l'école Polytechnique de Montréal.

9.1.2 Échantillon de données

Entre juillet et septembre 2009, 369 stations ont été en service. La table de données créée pour réaliser la segmentation contient alors un enregistrement par station-jour. Les enregistrements résument l'état de la station pour chaque heure de service (de 0 à 24h), la valeur 1 indiquant que la station était pleine, la valeur -1 que la station était vide et 0 dans tous les autres états (Tableau 9-1). La table contient alors 27 727 enregistrements de stations-jour et il a été retenu de créer k=5 segments.

Tableau 9-1 : Exemple d'enregistrements de la table de données de l'état des stations

Identifiant station	Date	Heures de service										
		00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	
STA_ID	ET_DATE	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	
1	09-07-01	0	1	1	0	0	0	-1	0	0	0	

9.1.3 Résultats de la segmentation

L’application de l’algorithme K-moyennes a été menée et a permis de segmenter les stations en 5 segments. Un résumé des principaux indicateurs de chacun des segments est présenté dans le Tableau 9-2. Précisons que les résultats de l’algorithme permettent d’associer chaque station-jour à un segment. Le segment revenant le plus fréquemment a été considéré comme le segment principal de la station.

Tableau 9-2 : Description des 5 segments obtenus par l’algorithme des k-moyennes

Indicateur	Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4	Segment 5
Nb stations-jour	2 748	2 850	1 669	15 789	4 171
Nb stations associés au segment principal	17	25	1	306	20
Dist. moy. du centre de gravité du réseau	2.0	1.9	2.6	2.4	1.7
Capacité moyenne	12	10	11	15	11
Taux moy. de remplissage	32.5 %	73.2 %	89.2 %	54.7 %	42.4 %
Nb moy. de transactions quotidiennes	53	41	25	52	46
Taux moy. de balance	1.00	1.10	1.07	1.04	1.05
Taux moy. indisponibilité emprunt	49.5 %	10.8 %	1.8 %	4.7 %	26.2 %
Taux moy. indisponibilité dépôt	3.0 %	37.1 %	57.7 %	5.1 %	3.3 %
Taux moy. transferts déchargement	3.4 %	5.4 %	6.7 %	7.3 %	2.7 %
Taux moy. transferts chargement	9.3 %	4.4 %	2.7 %	7.0 %	6.7 %
Moy. écart-type des taux de remplissage	0.09	0.04	0.03	0.07	0.07
Taux moy. opération par point d’ancrage	4.5	4.4	2.6	3.7	4.4

Par ailleurs, avec l’appui de la Figure 9-1 il est possible de préciser certaines propriétés des segments :

- **Segment 1** : correspond à 10,1 % des stations-jour. Ces stations tendent à être plus vides que la moyenne, notamment pendant les heures de nuit. Le taux de remplissage moyen des stations est de 32,5 %, ce qui est largement plus faible que pour les autres segments. Le taux d’indisponibilité d’emprunt (49,5 %) confirme que dans près de 50 % du temps de service de ces stations, il n’est pas possible d’emprunter un vélo. Ceci explique le très faible taux de transferts de déchargement puisque le personnel technique n’a pas besoin de venir vider ces stations. En revanche, le taux de transferts de chargement est le plus élevé comparativement aux autres segments. Ce segment de stations est donc problématique, car il nécessite de nombreuses interventions par le personnel. Enfin,

précisions que ce segment est constitué en moyenne de stations avec de forts rendements puisque le nombre d'opérations par point d'ancrage est de 4,5, soit le maximum comparativement aux autres segments.

- **Segment 2 :** représente 10,5 % des stations-jour. Ce segment est l'opposé du segment 1 avec des stations qui ont tendance à être pleines entre 18h et 9h. Le taux de remplissage est élevé (73,2 %), tout comme le taux d'indisponibilité de dépôts de 37,1 %, confirmant que ces stations sont souvent pourvues de bicyclettes. Paradoxalement, ces stations présentent un taux moyen de balance de 1,1 signifiant que le nombre d'emprunts est supérieur au nombre de dépôts. Les opérations de déchargement de la station pourraient expliquer ce phénomène. Précisons que les stations de ce segment semblent particulièrement sujettes au mouvement pendulaire des travailleurs. En effet, elles sont pleines pendant la nuit et ont tendance à se vider pendant la journée avant de se remplir le soir. D'ailleurs, le taux d'indisponibilité d'emprunt 10,8 % confirme ce constat. Finalement, précisons que ces stations ont en moyenne de plus petites capacités comparativement aux stations des autres segments.
- **Segment 3 :** ce segment est le plus petit puisqu'il correspond à 6,1 % des stations-jour. Ce segment englobe des stations qui sont très régulièrement pleines, et ce, tout au long de la journée. Il faut préciser qu'une seule station a été associée à ce segment : la station au coin des rues Hogan et Ontario. Le taux moyen de remplissage est très élevé à 89,2 % tout comme le taux d'indisponibilité de dépôts 57,7 %. Ainsi, dans près de 60 % du temps de service de ces stations, les usagers ne peuvent déposer de vélos. Le taux de transferts de déchargement est relativement élevé avec en moyenne 6,7 % des mouvements d'emprunts sur ces stations réalisées par le personnel technique. Finalement, ce segment se distingue aussi par un nombre d'opérations par point d'ancrage particulièrement faible (2,6). Cependant, ce taux peut s'expliquer par le fait qu'un nombre important d'opérations de dépôts n'ont pas lieu sur ces stations puisqu'elles sont pleines.
- **Segment 4 :** C'est le segment incluant le plus grand nombre de stations-jour (58,0 %). Il est aussi le plus stable dans le temps avec, en moyenne, très peu d'états critiques dans la journée. La majorité des taux sont équilibrés comme le taux de balance (1,07), le taux de remplissage (54,7 %) ainsi que les taux d'indisponibilités d'emprunts et de dépôts qui sont réalisés dans des proportions similaires. Paradoxalement, les taux de transferts de

déchargement et de chargement sont maximums sur ce segment avec respectivement 7,3 % et 7,0 %. Une hypothèse pour expliquer ces taux proviendrait du fait que ces stations sont en moyenne de plus grandes capacités (15 points d'ancrage). Par conséquent, il se pourrait qu'elles soient davantage vérifiées par le personnel technique que les stations de petites capacités.

- **Segment 5 :** ce segment représente 15,3 % des stations-jour. Les stations de ce segment ont tendance à se vider pendant la journée avant de retrouver des états stables pendant la soirée et la nuit. Le taux d'indisponibilité d'emprunt est le deuxième plus élevé (26,2 %), confirmant que ces stations sont en moyenne vides pendant plus du quart de leur temps de service. Ceci est aussi vérifié par le taux de transferts de chargement (6,7 %) plus élevé que la moyenne.

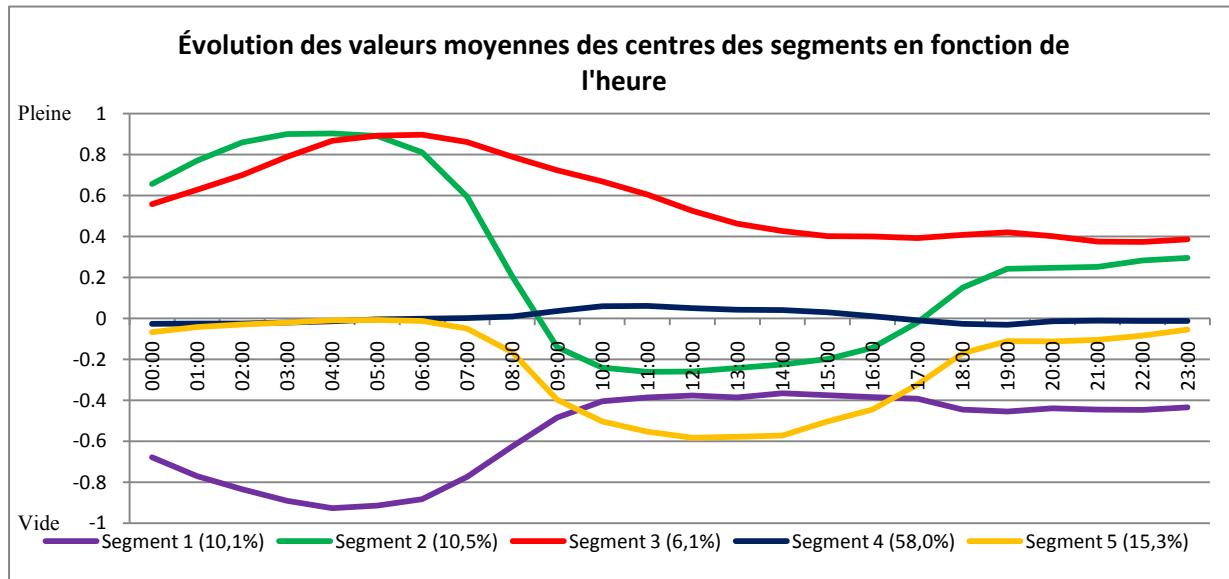


Figure 9-1 : Évolution des valeurs moyennes des centres des segments en fonction de l'heure

En outre, il semble intéressant le localiser spatialement les stations associées à chacun des segments (Figure 9-2). Chacune des stations a été associée au segment dans lequel son état a le plus régulièrement été classé. Les stations du segment 2 sont particulièrement concentrées à l'Est du Plateau-Mont-Royal, tandis que celles du segment 1 sont généralement localisées en périphérie de réseau ainsi qu'un petit groupe dans le centre-ville. Il apparaît également qu'une seule station a été associée au segment 3. Ceci confirme qu'il est souhaitable d'analyser les segments sur une base journalière.

De plus, le Tableau 9-3 présente plusieurs chiffres significatifs sur la répartition des stations au sein des segments. Ces résultats prouvent que les stations changent régulièrement de segment.

Tableau 9-3: Caractéristique de la répartition des stations au sein des segments

% stations n'ayant jamais appartenu au segment 1	15.2 %
% stations n'ayant jamais appartenu au segment 2	33.1 %
% stations n'ayant jamais appartenu au segment 3	34.1 %
% stations n'ayant jamais appartenu au segment 4	0.5 %
% stations n'ayant jamais appartenu au segment 5	16.0 %
% stations ayant appartenu à tous les segments	43.1 %
% de stations ayant appartenu à 1 seul segment	3.0 %
% de stations ayant appartenu à 2 segments	6.5 %
% de stations ayant appartenu à 3 segments	20.1 %
% de stations ayant appartenu à 4 segments	27.4 %
% de stations ayant appartenu à 5 segments	43.1 %

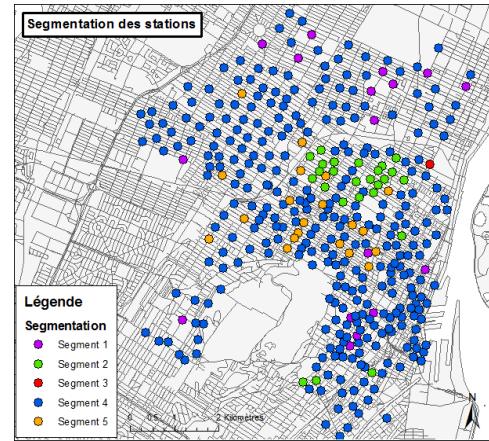


Figure 9-2 : Localisation spatiale des stations des 5 segments

En complément du tableau précédent, deux figures illustrent les variations des segments en fonction des jours (Figure 9-3 et Figure 9-4). Les segments 2 et 3 ont des distributions journalières particulièrement marquées. En effet, le nombre de stations-jour appartenant au segment 2 diminue considérablement la fin de semaine (en moyenne près de 86,3 % des stations-jour appartiennent à ce segment pendant la semaine contre 13,7 % pendant la fin de semaine). Ceci confirme l'hypothèse que ces stations sont davantage soumises aux mouvements pendulaires pendant la semaine. Un constat opposé est relevé pour le segment 3 avec près de 48,5 % des stations-jour appartenant à ce segment lors des deux jours de fin de semaine. Pour les autres segments, les variations sont plus stables au cours de la semaine.

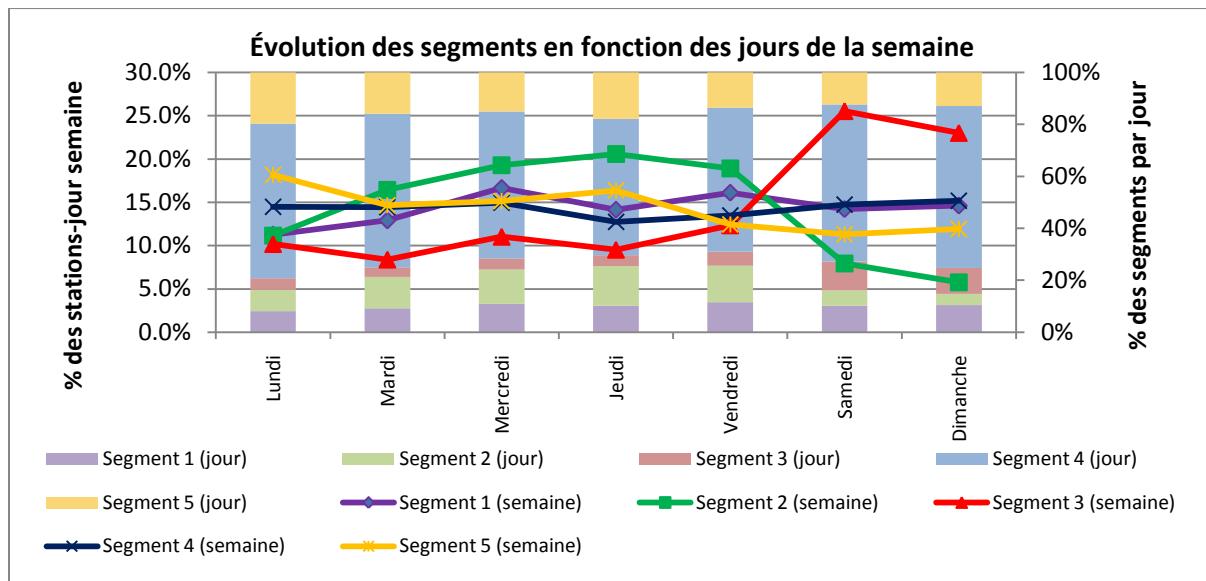


Figure 9-3 : Répartition des stations dans les segments en fonction des jours de la semaine

Par ailleurs, l'analyse de l'évolution des segments au cours de la période d'étude indique que le segment 4 prend de l'ampleur au cours du temps. En effet, entre 40 et 50 % des stations-jour appartiennent à ce segment en juillet contre plus de 80 % des stations-jour en fin septembre. De même, le segment 5 augmente rapidement pendant le mois de juillet avant de diminuer au début du mois d'août. Enfin, les variations du segment 2 diminuent systématiquement lors des fins de semaine avant de remonter pendant la semaine.

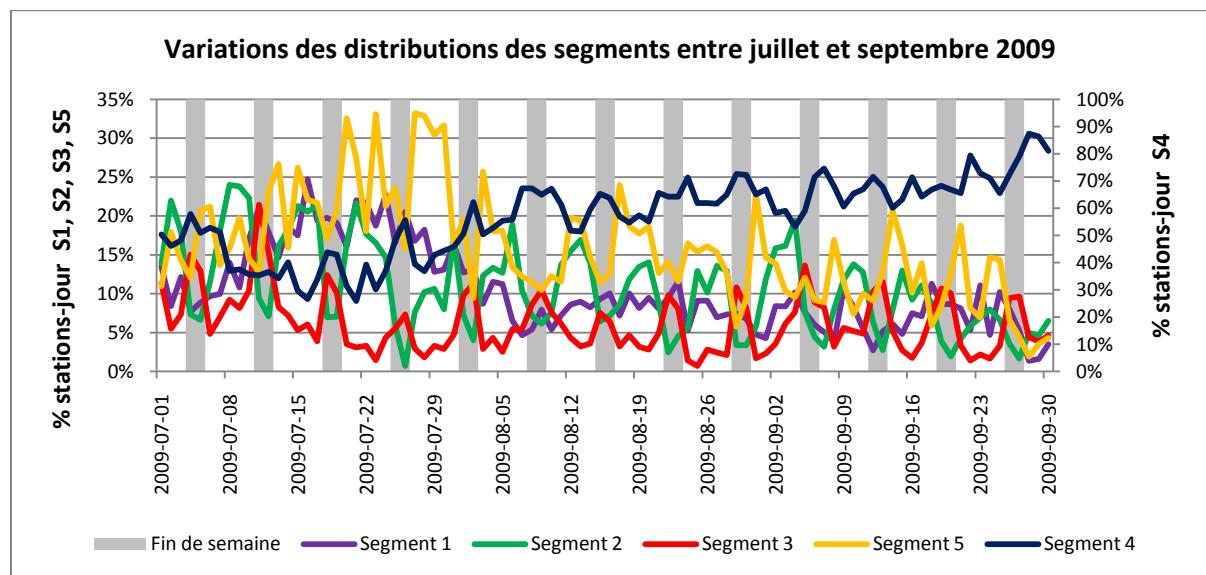


Figure 9-4 : Évolution des distributions des segments entre juillet et septembre 2009

Finalement, il est aussi intéressant de mesurer les variations quotidiennes des taux d'indisponibilité d'emprunts et de dépôts des cinq segments (Figure 9-5). Les courbes mettent en évidence les caractéristiques propres de chacun des segments. En effet, le segment 3 a un taux d'indisponibilité de dépôts particulièrement élevé (autour de 60 %), tout comme le segment 2 avec des valeurs autour de 30 %. De même, les taux d'indisponibilité d'emprunts pour les segments 1 et 5 sont très élevés comparativement aux autres segments (respectivement autour de 25 % et de 50 %). Notons, également qu'il y a peu d'évolution majeure des taux au cours de la période d'étude, et ce, malgré la forte augmentation de l'offre.

Ces premiers résultats de la segmentation mettent en évidence le potentiel de tels regroupements. En effet, l'amélioration de la redistribution des vélos passe par l'analyse des segments 1 et 3 présentant le plus régulièrement des états critiques. En outre, l'analyse quotidienne de tels segments permettrait de contrôler si certaines stations sont systématiquement associées à des segments problématiques (1 et 3), auxquels cas, des ajustements devraient être accomplis (augmentation de la capacité de la station, modification de sa position, etc.).

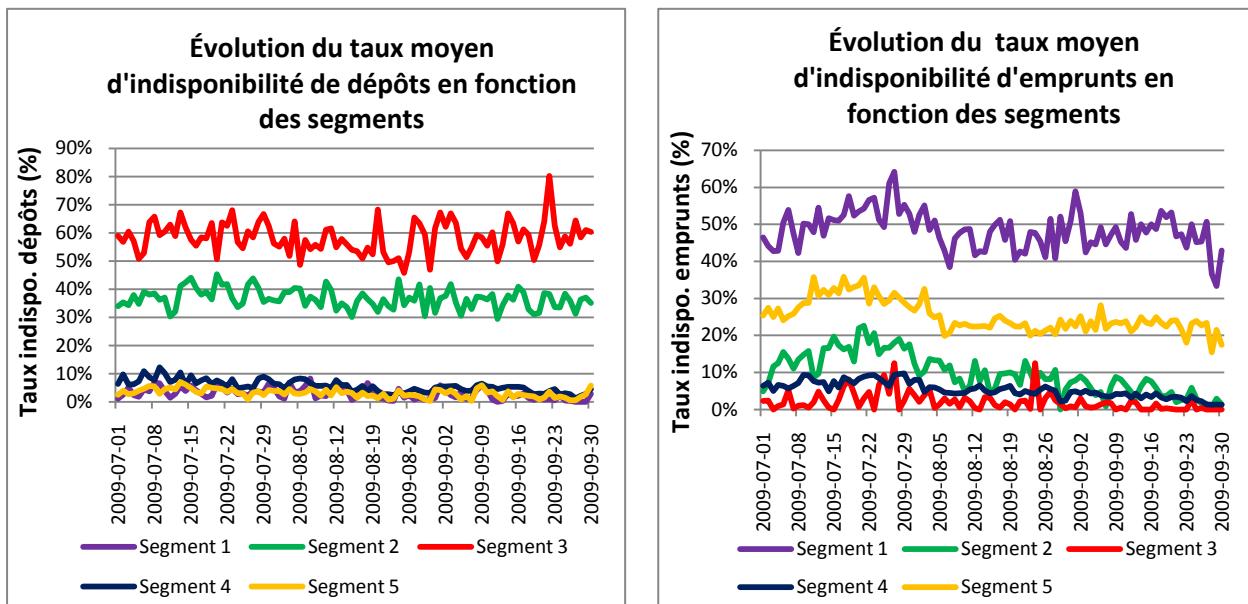


Figure 9-5 : Évolution des taux d'indisponibilité de dépôts et d'emprunts en fonction des segments

9.2 Modélisation de l'activité des stations

Comme pour la majorité des systèmes de transport complexes, déterminer les facteurs influençant les niveaux d'activités apparaît comme une étape primordiale pour améliorer l'offre de service.

Par conséquent, cette section tente de proposer un premier modèle pour estimer l'influence de certaines variables explicatives sur le niveau d'activité dans le système.

9.2.1 Définition du modèle

Le modèle de régression linéaire multiple a été sélectionné dans cette étude, car il permet d'expliquer une variable dépendante (Y) par plusieurs variables explicatives (régresseurs) de différents types. Dans notre cas, la variable dépendante sera le nombre d'opérations (emprunts et dépôts) par station-jour. L'équation d'un tel modèle peut s'écrire sous la forme:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

Avec Y la variable dépendante, (X_1, X_2, \dots, X_n) les variables indépendantes et ε l'erreur du modèle.

9.2.2 Définition des variables et échantillon de données

Une série de variables explicatives a été sélectionnée en fonction des conclusions trouvées dans la littérature et des hypothèses anticipées. Ces variables résument les principales caractéristiques opérationnelles des stations, certains attributs du quartier dans lequel la station est implantée ainsi que les conditions particulières lors de la journée d'activité (conditions météorologiques et événements) (Tableau 9-4). Précisons que les informations sur les quartiers d'implantation des stations sont extraites de l'enquête Origine-Destination de Montréal tenue en 2008. Les conditions météorologiques proviennent du site Internet de Environnement Canada (2010) et les dates des événements ont été trouvées sur les sites Internet des différents événements.

La table de données contient 26 326 enregistrements de stations-jour et plusieurs variables ont été exclues du modèle à cause de corrélations significatives. Par ailleurs, la variable EVENEMT a été retirée du modèle final puisqu'elle n'était pas significative.

Tableau 9-4 : Description des variables incluses dans le modèle de régression multiple

Variables	Descriptions
NBTR	Variable dépendante, nombre d'opérations par station-jour
CAP	Capacité de la station
DISTCDG	Distance station-centre de gravité du réseau de stations (km)
DISTCV	Distance station-centre-ville (Peel/Ste-Catherine) (km)
DISTMETRO	Distance station-métro le plus proche (km)
DENSSTAT	Nombre de stations dans un rayon de 500m autour de la station
DENSAB500	Nombre d'abonnés dans un rayon de 500m autour de la station
DISTPC	Distance station-piste cyclable la plus proche (km)
POP500	Population résidant dans un rayon de 500 autour de la station
TRAVAIL500	% de travailleurs dans la population résidant dans un rayon de 500m autour de la station
ETUD500	% d'étudiants dans la population résidant dans un rayon de 500m autour de la station
MOTOR500	Motorisation moyenne des ménages résidant dans un rayon de 500m autour de la station
TEMPMOY	Température moyenne de la journée
PLUIE	Quantité de précipitation de la journée (mm)
VENT	Vitesse des rafales de vent (km/h) de la journée
EVENEMT	Présence d'un évènement particulier (pannes de métro, festivals (Jazz, coupe Rogers, Francofolies, Osheaga), En ville sans ma voiture)

Tableau 9-5 : Variables corrélées dans le modèle de régression linéaire multiple

Variable 1	Variable 2	Coefficient de corrélation	Variable conservée
DISTCDG	DENSAB500	-0.843	DENSAB500
DENSSTAT	DISTCV	0.5393	DENSSTAT
POP500	DISTCV	0.5782	Aucune
DENSAB500	POP500	0.5231	DENSAB500
TRAVAIL500	ETUD500	0.707	ETUD500

9.2.3 Résultats du modèle

Tout comme le modèle d'estimation du potentiel du vélo, la réalisation de ce modèle a été réalisée avec le logiciel STATA. Les résultats révèlent que le modèle est significatif à 99 % ($\text{prob}>\text{F}=0.000$) et toutes les variables incluses dans le modèle sont significatives à plus de 95 % ($P>|t|\geq 0.05$). Le modèle construit explique 39,3 % de la variabilité de l'activité du système.

Tableau 9-6 : Résultats du modèle de régression linéaire multiple

F(9,26316)= 1894.54 Prob>F = 0.000		R2 = 0.3932 R2-adj = 0.393		Nb obs. = 26 326 Root MSE = 32.64		
<u>Variables explicatives</u>	<u>Coef.</u>	<u>Stand. Err.</u>	<u>t</u>	<u>P> t </u>	<u>Valeur moyenne</u>	<u>Effet Moyen</u>
cap	2.700216	0.292552	92.30	0.000	13.4962	36.4426
distmetro	-6.835301	0.6028977	-11.34	0.000	0.5235	-3.5785
densstat	2.655537	0.0732893	36.23	0.000	8.7537	23.2457
densab500	0.0948689	0.0021194	44.76	0.000	184.0097	17.4567
tempmoy	0.9129516	0.051593	17.70	0.000	18.5351	16.9216
pluie	-0.7896777	0.0356077	-22.18	0.000	2.4002	-1.8953
vent	-0.0683593	0.0108757	-6.29	0.000	17.9216	-1.2251
etud500	76.04251	3.511783	21.65	0.000	0.2150	16.3487
motor500	-7.400033	1.353874	-5.47	0.000	0.7530	-5.5723
cons	-49.6175	2.028227	-24.46	0.000		

Rappelons également que le nombre moyen d'opérations par station-jour s'élève à 48,5 (écart-type $\pm 41,9$). Plusieurs faits saillants peuvent alors être extraits du modèle :

- Une forte concentration d'étudiants à moins de 500 m d'une station est extrêmement favorable à l'utilisation des stations. L'augmentation d'un point de pourcentage de la proportion d'étudiants dans la population résidant à moins de 500 m d'une station provoque une augmentation de plus de 76 opérations par station-jour.
- L'augmentation d'un point d'ancrage sur une station implique un accroissement de 2,7 opérations sur la station.
- L'ajout d'une station dans un rayon de 500 m amène une croissance de 2,7 opérations sur la station.
- Pour chaque 1 km d'écart entre la station BIXI et la station de métro, le nombre d'opérations quotidiennes sur la station diminue de 6,8.
- Une hausse d'un degré de la température moyenne entraîne 0,9 opération supplémentaire (10 degrés = 9 opérations supplémentaires par station-jour).
- Chaque millimètre de pluie occasionne une réduction de 0,7 opération par station. (10 millimètres = 7 opérations en moins par station-jour).
- Plus la population du quartier de déploiement est motorisée, moins l'activité de la station est soutenue. L'accroissement de 1 unité la motorisation (nombre d'automobiles/ nombre de personnes) réduit de 7 opérations par station-jour.

Pour conclure, l'équation de régression peut alors s'écrire sous la forme :

$$Y = -49,6 + 2,7X_{cap} - 6,8X_{distmetro} + 2,6X_{densstat} + 0,1X_{densab500} + 0,9X_{tempmoy} \\ - 0,8X_{pluie} - 0,1X_{vent} + 76,0X_{etud500} - 7,4X_{motor500} + \varepsilon$$

Ce premier modèle confirme plusieurs constats anticipés comme l'influence de la proximité des stations de métro ainsi que l'augmentation de la densité de stations BIXI. L'influence majeure des étudiants sur les niveaux d'activités est particulièrement surprenante. En outre, l'effet des conditions météorologiques n'est pas aussi important qu'attendu. Finalement, il n'a pas été possible de mesurer l'ampleur des variations causées par les événements extérieurs comme les festivals puisque la variable n'était pas significative.

9.3 Résumé

Dans ce chapitre, une première segmentation des stations a été présentée, révélant le potentiel d'analyse et l'utilité d'un tel regroupement. Ce type de classification apparaît comme particulièrement intéressant pour déterminer les stations atypiques du réseau. La création du modèle de régression linéaire a permis de mettre en lumière l'influence de certaines variables sur les niveaux d'activités des stations. Ces deux types d'analyse sont une première étape dans la détermination d'algorithmes de redistribution des bicyclettes sur le réseau.

CHAPITRE 10 CONCLUSION

10.1 Contributions

Cette étude visait à présenter une analyse approfondie de l'utilisation du vélo sur l'île de Montréal abordée selon trois approches : le portrait des cyclistes actuels, le potentiel du vélo et la caractérisation du vélopartage.

Dans la première partie, l'exploitation de l'enquête Origine-Destination de 2008 a permis de dresser un portrait sociodémographique des cyclistes ainsi qu'une caractérisation des tendances lourdes de mobilité de ces personnes, en s'appuyant sur un large échantillon de données. Jusqu'à présent, le vélo restait un mode de transport considéré bien souvent comme marginal, dans la mesure où moins de 1 % des déplacements des Montréalais et Montréalaises étaient réalisés avec ce mode de transport. Cependant, depuis plusieurs années l'utilisation du vélo comme mode de transport connaît un regain de popularité, pouvant atteindre plus de 8 % des déplacements dans certains secteurs municipaux. Par conséquent, les principales contributions de cette première partie ont été de définir, de mesurer et de comparer les profils et comportements des cyclistes entre les différents secteurs municipaux. Ceci permet de mieux appréhender ce mode de transport en plein essor. En outre, la méthodologie d'affectation des déplacements cyclistes sur le réseau routier illustre une possibilité d'utilisation des données désagrégées de l'enquête Origine-Destination facile et rapide à mettre en œuvre.

Dans la seconde partie de ce mémoire, une méthodologie d'évaluation du potentiel du vélo a été développée. Bien que ce mode de transport soit en constante croissance depuis plusieurs années, aucune estimation minutieuse du marché potentiel de ce mode n'avait encore été menée. Ainsi, la méthode proposée permet de pallier ce manque d'information en détaillant plusieurs aspects méthodologiques pour évaluer un tel potentiel. Le modèle établi explicite les principaux facteurs influençant l'usage du vélo sur l'île de Montréal, confirmant du même coup plusieurs études réalisées dans différentes villes à travers le monde. L'estimation du potentiel du vélo permet également de quantifier les volumes de déplacements qu'il serait possible d'obtenir dans le cas d'un usage optimal du vélo. Il ressort de cette analyse que plus de 18 % des déplacements en automobile sont potentiellement réalisables en vélo. Ceci laisse entrevoir une partie du marché dans lequel le programme de vélopartage BIXI s'est implanté.

Suite à l'analyse du vélo dans le contexte montréalais, l'étude du programme de vélopartage BIXI a été menée. Cette étude fait partie des rares études ayant porté sur un échantillon conséquent de données opérationnelles d'un programme de vélopartage déployé à grande échelle. Jusqu'à présent, la majorité des études réalisées sur le vélopartage consistait simplement à décrire et à analyser de manière superficielle les programmes instaurés. La qualité et la quantité de données disponibles lors de cette recherche ont permis de caractériser de façon approfondie les trois objets composant les systèmes de vélopartage, à savoir les stations, les usagers et les bicyclettes. Cette recherche est une première exploitation de données provenant d'un opérateur de vélopartage et a pour principale contribution d'illustrer le potentiel de telles données.

De plus, du fait de ce manque de recherche sur le vélopartage, la majeure partie du travail a été de proposer une méthodologie permettant l'analyse de ce type de système. L'objectif recherché était de développer, à travers un échantillon de trois mois consécutifs de données, une méthodologie d'analyse applicable à de plus vastes échantillons de données. Ainsi, pour chaque objet du système, une série d'indicateurs quantitatifs et qualitatifs ont été construits afin de permettre d'évaluer leur évolution dans le temps. Ces indicateurs pourront dès lors être utilisés sur divers découpages temporels et dans d'autres programmes de vélopartage afin de procéder à des comparaisons de comportements entre les systèmes.

Suite à ces analyses descriptives des objets du système, une série de cinq indicateurs de performance des stations a été construite. Ces indicateurs permettent de mesurer et de détecter les stations problématiques du réseau ainsi que de confirmer les tendances de performance relevées sur le terrain. Ces outils constituent un point de départ pour comprendre l'univers d'étude et caractériser les stations d'un point de vue opérationnel.

Par ailleurs, ce mémoire propose une première segmentation des stations reposant sur leurs états d'indisponibilité d'emprunts et de dépôts. Cette segmentation permet de regrouper les stations dont les états sont similaires au cours du temps et d'analyser les facteurs ayant une influence sur leur fonctionnement de manière globale et non plus spécifique. Il s'agit d'une première étape dans la formulation d'un algorithme d'optimisation de la redistribution des vélos sur le réseau.

Finalement, plusieurs recommandations peuvent être précisées pour améliorer l'analyse de ce programme. D'abord, le manque de correspondance entre les tables de données a été l'un des plus grands freins à l'exploitation des données. En effet, à cause des différences de découpages

temporels, établir la correspondance entre la table des transactions et celle des états des stations fut une étape particulièrement laborieuse. L'utilisation d'un découpage plus fin que les heures dans la table des états des stations permettrait de réduire considérablement ce manque de correspondance entre les tables. De plus, obtenir l'accès à une table de suivi des bicyclettes est essentiel pour affiner la mesure de l'évolution du système et pour caractériser de façon plus rigoureuse cet objet. Aussi, l'optimisation des transferts nécessiterait plusieurs informations complémentaires, comme les types de transferts (entretiens, réparations ou redistributions; les tournées des camions, etc.), qui ne sont pour l'instant pas mentionnées dans la table. Ces recommandations peuvent également être considérées comme une contribution de cette recherche au regard de l'opérateur et des futures personnes qui exploiteront ces données.

10.2 Limitations

Que soit ce dans la description du vélo dans le contexte montréalais ou bien dans la caractérisation du vélopartage, plusieurs limites dans les analyses doivent être explicitées.

Tout d'abord, la présentation du vélo et l'estimation du potentiel de ce mode de transport se limitent à l'île de Montréal. Bien que ce soit sur ce territoire que le programme de vélopartage se soit implanté, il n'en demeure pas moins qu'une partie des usagers de ce système réside dans la grande région de Montréal. L'analyse des comportements des cyclistes et du potentiel du vélo sur le territoire de la grande région de Montréal aurait permis d'affiner le portrait des cyclistes et de définir les niches dans lesquelles le vélo a le plus de potentiel de développement.

La seconde limite identifiée provient du médium de collecte des données de l'enquête Origine-Destination. En effet, les personnes sont interrogées par téléphone et une seule personne du ménage doit répondre aux questions pour tous les membres du foyer. Par le fait même, des erreurs sont systématiquement commises tant au niveau de la précision des informations (heures, lieux, etc.) qu'au niveau des déplacements déclarés. Le répondant peut omettre certains déplacements des différents membres du ménage dont il n'a pas eu connaissance. Il doit également estimer les départs et les arrivées des différents déplacements déclarés sans nécessairement connaître les détails et circonstances exactes des déplacements des personnes de son ménage. Ainsi, ces incertitudes ont un impact non négligeable dans l'évaluation des modes actifs et ont tendance à sous-estimer les résultats présentés dans ce mémoire.

De plus, précisons que plusieurs limites s'appliquent aux affectations des déplacements sur le réseau. Tout d'abord, dans le but de favoriser l'affectation des déplacements sur les pistes cyclables, une hypothèse a été posée : réduction de 25 % de la longueur du lien s'il y a une infrastructure cyclable. Cependant, l'utilisation d'un tout autre critère modifierait considérablement l'affectation. Ensuite, le réseau de rue n'inclut pas les sens uniques ainsi que les données topographiques. Ceci peut créer un biais majeur dans l'affectation puisque des segments deviendraient infranchissables ou beaucoup plus pénibles pour les usagers. Enfin, l'affectation sur les chemins les plus courts reste aussi une hypothèse puisque nous ne connaissons pas les trajets réellement empruntés par les usagers.

Pour résumer, les indicateurs calculés pour présenter le contexte du vélo sur l'île de Montréal sont volontairement simples. L'objectif de ces indicateurs était de définir les faits saillants de la mobilité des cyclistes de manière agrégée. Ainsi, la simplicité de ces analyses a pu avoir comme effet de sous-estimer certains comportements et de réduire la pertinence de certaines analyses.

Ensuite, lors de l'estimation du potentiel du vélo, la première limite identifiée provient de l'abstraction des caractéristiques du réseau routier. En effet, pour pouvoir être réalisés en bicyclette, les trajets doivent non seulement être franchissables, mais aussi réalisables. Par exemple, certains parcours obligeraient l'individu à traverser des autoroutes, des fleuves ou encore des voies ferrées. Ces barrières physiques sont des contraintes majeures pouvant impliquer des itinéraires beaucoup plus longs pour les contourner. Cette abstraction a alors pour conséquence de surestimer le potentiel du vélo. Dans un même ordre d'idées, l'étude proposée ne tient pas compte des limitations physiques des individus. En effet, les personnes doivent avoir la condition physique pour réaliser les déplacements en vélo. Dans le cas des déplacements des personnes âgées ou encore des enfants en bas âge, des inaptitudes physiques pourraient les empêcher d'accomplir les déplacements en vélo, réduisant en même temps le potentiel du vélo. La dernière limite de l'évaluation du potentiel du vélo est liée à la méthode de calcul des distances seuils. Une hypothèse a été posée pour déterminer les distances seuils (distance franchie par 80 % des cyclistes). Ce critère est une limite propre à cette étude, car l'utilisation de distances seuils différentes conduirait à des résultats différents de ceux présentés ici.

Par ailleurs, le manque de références littéraires nous a contraints à définir des indicateurs propres au système de vélopartage de Montréal. Ceci a deux conséquences majeures : d'une part, les

indicateurs n'ont pu être comparés avec les résultats d'autres recherches et d'autres conditions, ce qui peut limiter leur pertinence ; et, d'autre part, les indicateurs ont permis de caractériser certains comportements du système sans toutefois nous permettre d'être certains d'aborder les problématiques les plus significatives du réseau. Par conséquent, l'application de ces indicateurs sur d'autres échantillons pourrait en révéler leurs propres limites et pertinences.

De plus, un des problèmes majeurs de l'analyse de ces systèmes réside dans les variations quotidiennes de l'offre de transport. Ces contraintes obligent à calculer les indicateurs sur des périodes de temps particulièrement courtes. Dans notre étude, les indicateurs ont été calculés sur des journées, mais les très fortes variations journalières de l'offre ont montré que ce découpage temporel est encore trop long. Par conséquent, plusieurs tendances ont pu être biaisées à cause de ces variations.

Ensuite, plusieurs limites proviennent directement de la structure et de la qualité des données. Bien que l'échantillon de données soit exceptionnellement riche en information, des erreurs dans les données et des manques d'information ont pu mener à interprétations d'indicateurs erronés. Par exemple, de nombreuses transactions ont des durées dépassant les 10 heures d'emprunt cumulées (914, soit 0,14 %). Dans cette étude, une hypothèse a été posée et les transactions de plus de 10 heures ont été exclues des analyses. Cependant, aucune information n'a permis de déterminer le seuil pour séparer les données erronées des transactions réellement accomplies. Un problème similaire est apparu pour les transactions de très courte durée : à partir de combien de temps peut-on considérer qu'un déplacement a eu lieu ? Ainsi, malgré les procédures de correction des données et de suppression des enregistrements non valides, les carences d'informations ont tout de même pu créer des distorsions et biaiser certaines analyses.

En outre, les analyses spatiales reposent sur la position des stations à un instant donné. Or, l'étude des temps de parcours a mis en évidence des erreurs récurrentes pour des déplacements au départ de certaines stations. Ceci prouve que plusieurs analyses spatiales peuvent également être biaisées à cause des variations de position des stations au cours de la saison.

Finalement, il convient de modérer les conclusions des analyses présentées dans ce mémoire puisqu'elles ne reposent que sur un échantillon de trois mois de données pendant laquelle de très fortes variations de l'offre ont été opérées. Les indicateurs devraient être recalculés avec les

données de la saison d'exploitation 2010 qui a été beaucoup plus stable pour l'opérateur. Ceci permettrait de juger objectivement de la pertinence des indicateurs développés dans cette étude.

10.3 Perspectives

Les analyses réalisées au cours de ce projet de recherche ont permis de dresser un portrait global de l'usage du vélo sur l'île de Montréal. Cependant, au terme de cette recherche de nombreuses inconnues persistent et maintes problématiques n'ont pas encore été abordées.

Au niveau du contexte du vélo, des améliorations majeures de l'affectation des déplacements sur le réseau sont à mener. En effet, le module *Network analyst* du logiciel ArcGIS dispose d'options supplémentaires qui n'ont pas été incluses dans ce travail. Par exemple, l'introduction dans le calcul de chemin des données topographiques ainsi que des directions des liens routiers est réalisable. Ce type d'ajout raffinerait considérablement l'affectation. En outre, l'estimation des pénalités et bonus pour favoriser l'usage des pistes cyclables dans le calcul des chemins n'a pas fait l'objet d'étude approfondie et mériterait d'être détaillée.

L'estimation du potentiel du vélo nécessite également d'être raffinée. Tout d'abord, des modèles explicatifs pourraient être construits en segmentant les individus selon leur quartier (banlieue et centre-ville), et leurs âges. Ceci permettrait d'améliorer la compréhension des facteurs influençant l'usage du vélo dans la grande région de Montréal. De plus, concernant l'évaluation des volumes de déplacements transférables en vélo, une validation des itinéraires serait nécessaire. Il serait envisageable de comparer spatialement les corridors empruntés par les cyclistes et les principaux déplacements automobiles ayant lieu dans ces corridors. Cette comparaison reposera sur le principe voulant que si un cycliste réalise un trajet similaire à un automobiliste alors cela signifie que le déplacement est faisable en vélo. Ce type d'analyse devrait être ajouté en complément à l'analyse des distances de parcours. Par ailleurs, d'autres critères devraient être inclus dans l'estimation pour les personnes âgées et les enfants en bas âge.

Finalement, en ce qui a trait à l'analyse du programme BIXI, de très nombreuses analyses restent à mener pour améliorer la compréhension de ce nouveau mode de transport urbain. Plusieurs défis majeurs ont été identifiés comme perspectives pour de futures recherches :

- Valider la méthodologie d'analyse développée dans cette étude et les indicateurs calculés. Les indicateurs devraient être calculés sur des échantillons plus vastes lorsque le système sera stable. Ceci permettra de juger objectivement de la pertinence des indicateurs.
- Construire des algorithmes de redistribution des bicyclettes. À l'heure actuelle, cette étape peut être considérée comme le défi principal des programmes de vélopartage puisque la redistribution des vélos sur le réseau est la seule garantie de la pérennité du système. Des algorithmes devront être construits pour définir des tournées de véhicules de service et ajuster la planification des bicyclettes sur le réseau en fonction des conditions extérieures (conditions météorologiques, pannes de métro, etc.).
- Les comportements des usagers n'ont volontairement pas fait l'objet d'une analyse poussée. Néanmoins, la compréhension de ces comportements apparaît aussi comme un élément clé dans la définition et la compréhension de ce mode de transport. La fidélité au programme, les taux de survie dans le système, l'accessibilité au réseau ainsi que l'impact de l'implantation d'une station sur les choix modaux des citoyens restent à réaliser.
- Les facteurs influençant l'utilisation du système et l'analyse des quartiers favorables au développement de ce mode de transport n'ont pas été abordés et sont aussi des perspectives de recherche intéressantes pour planifier de nouveaux déploiements.

Pour conclure, le succès croissant de ce mode de transport et les prévisions de croissance justifient l'importance d'étudier de tels systèmes. Pour l'année 2010, le programme BIXI a continué de croître pour dépasser les 3 millions de déplacements (BIXI Montréal, 2010). Néanmoins, l'augmentation de l'activité de ces systèmes induit également une croissance des coûts d'exploitation pour les opérateurs afin d'assurer une qualité de service, mettant en lumière l'urgence de poursuivre la recherche sur ces systèmes pour assurer leur pérennité.

BIBLIOGRAPHIE

- 8D Technologies. (2010). *Profil de l'entreprise*. 8D technologies. Consulté le 16 juin 2010, tiré de <http://www.8d.com/content.php?section=who&subsection=profile>.
- Abraham, J., McMillan, S., Brownlee, A. T., & Hunt, J. D. (2002). *Investigation of Cycling Sensitivities*. Paper presented at the Transportation Research Board, 81th Annual Meeting Washington D.C. <http://people.ucalgary.ca/~jabraham/Papers/calgarybike/CalgaryBike.pdf>
- Allaire, J. (2007). *L'histoire moderne de la petite reine dans l'empire du Milieu* (UMR 5252 CNRS - UPMF). Grenoble, France: Laboratoire d'économie de la production et de l'intégration internationale. Consulté le 25 juin 2010, tiré de http://upmf-grenoble.fr/iepe/textes/JA_Transports-2007.pdf
- Altshuler, A., & Rosenbloom, S. (1977). Equity Issues in U.S. Transportation Policy. *Policy Studies Journal*, 6(1), 29-40. Consulté le 28 juin 2010, tiré de <http://www3.interscience.wiley.com/journal/119630966/abstract>
- AMT. (2009a). *Enquête Origine-Destination 2008 : Constat sur la mobilité des personnes de la grande région de Montréal*. Montréal, Québec: Agence Métropolitaine des transports. Consulté le 10 septembre 2010, tiré de http://www.enquete-od.qc.ca/docs/EnqOD08_Results.pdf
- AMT. (2009b). *Enquête Origine-Destination : La mobilité des personnes dans la région de Montréal Faits saillants*. Montréal: Agence Métropolitaine des Transports. Consulté le 10 novembre 2010, tiré de http://www.enquete-od.qc.ca/docs/EnqOD08_FaitsSaillants.pdf
- Andersen, L. B., Schnohr, P., Schroll, M., & Hein, H. O. (2000). All-Cause Mortality Associated With Physical Activity During Leisure Time, Work, Sports, and Cycling to Work. *Archives of Internal Medicine*, 160(11), 1621-1628. Consulté le 03 avril 2010, tiré de <http://archinte.ama-assn.org/cgi/content/abstract/160/11/1621>
- Antonakos, C. (1994). Environmental and travel preferences of cyclists. *Transportation Research Record, Washington D.C.* (Vol. 1438, pp. 25-33) National Academy Press.
- Ashley, C. A., & Banister, C. (1989). Cycling to Work from Wards in a Metropolitan Area. *Traffic Engineering and Control*, 30(6), 297-302.
- Aultman-Hall, L., Hall, F. L., & Baetz, B. B. (1997). *Analysis of bicycle commuter routes using geographic information systems implications for bicycle planning*. Paper presented at the Transportation Research Board, 76th Annual Meeting Washington D.C. <http://www.enhancements.org/download/trb/1578-13.PDF>
- Baltes, R. (1996). Factors influencing Nondiscretionary Work Trips by Bicycle Determined from 1990 U.S. Census Metropolitan Statistical Area Data. *Transportation research record*

1538, 96-105. Consulté le 26 mars 2010, tiré de <http://www.enhancements.org/download/trb/1538-013.PDF>

Basset, D., Pucher, J., Buehler, R., Thompson, D. L., & Crouter, S. E. (2008). Walking, cycling and Obesity rates in Europe, North America, and Australia. *Journal of Physical Activity and Health*, (5), 795-814. Consulté le 17 juin 2010, tiré de <http://policy.rutgers.edu/faculty/pucher/JPAH08.pdf>

Bauman, A., Rissel, C., Garrard, J., Fishman, E., & Speidel, R. (2008). *Cycling : Getting Australians moving: Barriers, facilitators and interventions to get more Australians physically active through cycling*. Melbourne: Australian Government, Department of Health and Ageing. Cycling Promotion Fund. Consulté le 17 juin 2010, tiré de <http://www.cyclingpromotion.com.au/images/stories/downloads/CPFHlthRpr08V3prf1.pdf>

BBC News. (2009). Thefts puncture Paris bike scheme. *BBC News*, (Mardi 10 février 2009), Consulté le 08 juin 2010, tiré de <http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/7881079.stm>

Bergeron, K., & Cragg, S. (2009). Les avantages environnementaux du transport actif. *Encourager le transport actif - Institut Canadien de la recherche sur la condition physique et le mode de vie*, (Bulletin n°4), 1-2. Consulté le 18 juin 2010, tiré de http://www.cflri.ca/fra/transport_actif/documents/AT4_environment_fra.pdf

Bergström, A., & Magnusson, R. (2003). Potential of transferring car trips to bicycle during winter. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 37(8), 649-666. Consulté le 23 mars 2010, tiré de <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VG7-48JSJ00-1/2/b58c666ff4bfab1d20586a7decbde89e>

Beroud, B. (2007). Les expériences de vélo en libre-service en Europe. *Transport urbains, Sepembre 2007*(N°111), p. 16-20. Consulté le 15 mars 2010, tiré de http://mobiped.com/cariboost_files/Les_velos_publics_en_Europe-Mobiped-Benoit_Beroud-Transports-urbains_n_111.pdf

Beroud, B. (2009). *Vélo'v : un service de mobilité de personnes à transférer ?* (Mémoire de Maitrise, Université Lumière Lyon 2, Lyon). Consulté le 09 février 2010, tiré de <http://www.bb-mobilit.com/>

BIXI Montréal. (2009a). *BIXI se multiplie : une deuxième phase s'amorce dès cet été !* BIXI Montréal. Consulté le 16 juin 2010, tiré de <http://montreal.bixi.com/nouvelles/complete/bixi-se-multiplie-phase2/>.

BIXI Montréal. (2009b). *Costaud, le vélo BIXI.* BIXI Montréal. Consulté le 16 juin 2010, tiré de <http://montreal.bixi.com/nouvelles/complete/costaud-le-velo-bixi-fr/>.

BIXI Montréal. (2010). *BIXI : Une deuxième année couronnée de succès à Montréal* BIXI Montréal. Consulté le 12 décembre 2010, tiré de <http://montreal.bixi.com/accueil>.

- BIXI Système. (2009). *Design - Innovation - Technologie*. Consulté le 03 mai 2010, tiré de http://www.bixisysteme.com/systeme_bixi/presentation.
- BIXI Système. (2010). *La station*. Consulté le 03 juin 2010, tiré de http://www.bixisysteme.com/systeme_bixi/la_station.
- Bonnel, P. (2004). *Prévoir la demande en transport*. Paris: Presses de l'École nationale des ponts et chaussées.
- Bonnel, P., Caubel, D., & Mignot, D. (2005). *Lyon 21 : Étude de faisabilité d'un système de transport radicalement différent pour la zone dense lyonnaise* (ISSN 0769-6434). Lyon, France: Laboratoire d'économie des transports. Consulté le 05 juillet 2010, tiré de http://halshs.archives-ouvertes.fr/docs/00/07/85/49/PDF/Etudes_et_Recherches_N17.pdf
- Bonnette, B. (2007). *The implementation of a public-use bicycle program in philadelphia* (Doctorat, Université de Pennsylvanie). Consulté le 17 Mars 2010, tiré de <http://www.bikesharephiladelphia.org/PDF %20DOC/PUBBonnetteThesis.pdf>
- Borgnat, P., Abry, P., & Flandrin, P. (2009). Modélisation statistique cyclique des locations de Vélo'v à Lyon. *XXIIème Colloque GRETSI - Traitement du Signal et des Images, Dijon (France)* (pp. 1-4). Consulté le 30 août 2010, tiré de <http://prunel.ccsd.cnrs.fr/ensl-00420578>
- Brandenburg, C., Matzarakis, A., & Arnberger, A. (2004). *The Effects of Weather on Frequencies of use by Commuting and Recreation Bicyclists* (Advances in Tourism Climatology). Freiburg, Allemagne: Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg. Consulté le 30 juin 2010, tiré de <http://www.mif.uni-freiburg.de/ISB/ws2/report/report12.pdf>
- Britton, E. (2000). Carsharing 2000 : SUSTAINABLE TRANSPORT'S MISSING LINK. *The Journal of World Transport Policy & Practice*, (Janvier 2000), 1-351. Consulté le 09 juin 2010, tiré de <http://www.ecoplan.org/library/wt5-3.pdf>
- Britton, E. (2008). *World City Bike Implementation Strategies A New Mobility Advisory Brief*. Paris: The New Mobility Agenda. Consulté le 03 mai 2010, tiré de <http://www.ecoplan.org/library/prospectus.pdf>
- Bührmann, S. (2008). *Bicycles as public individual transport - European Developments*. Paper presented at the Meetbike - European Conference on Bicycled Transport and Networking, Dresden (Allemagne). http://www.gtkp.com/uploads/20091127-150125-6592-Meetbike_article_Buehrmann_040408.pdf
- Bührmann, S., Rupprecht Consult Forschung, & Beratung GmbH. (2007). *New Seamless Mobility Services*. Paris: Niches. http://www.bb-mobilis.com/cariboot_files/Niches_project_brochures_public_bicycles.pdf
- Bycyklen København. (2009a). *Bycyklen København news and facts* Consulté le 02 mai 2010, tiré de <http://www.bycyklen.dk/english/newsandfacts.aspx>.

- Bycyklen København. (2009b). *Sponsors*. Bycyklen København, . Consulté le 08 juin 2010, tiré de <http://www.bycyklen.dk/english/sponsors.aspx>.
- Carret, E. (2006). *Enquête auprès des usagers Vélo'V*. Grand Lyon Communauté urbaine. Consulté le 14 juin 2010, tiré de <http://www.grandlyon.com/Info.1164+M53f7b303bcf.0.html>.
- Cavill, N., Kahlmeier, S., & Racioppi, F. (2006). *Physical activity and health in Europe : Evidence for action*. Copenhaguen: WHO Regional Office for Europe. Consulté le 17 juin 2010, tiré de http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0011/87545/E89490.pdf
- Cervero, R. (1996). Mixed land-uses and commuting: Evidence from the American Housing Survey. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 30(5), 361-377. Consulté le 3 juillet 2010, tiré de <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VG7-3VV41D6-4/2/1691d493ffd69fbe7ecc5cc754c8d495>
- Cervero, R., & Duncan, M. (2003). Walking, Bicycling, and Urban landscapes : Evidence from the San Francisco Bay area *American Journal of Public Health*, 93(9), 1478-1483.
- Cervero, R., Sarmiento, O. L., Jacoby, E., Gomez, L. F., & Neiman, A. (2009). Influences of built Environments on walking and Cycling : Lessons from Bogota. *International Journal of sustainable Transportation*, (3), 203-226. Consulté le 28 juin 2010, tiré de http://pdfserve.informaworld.com/418955_770887251_912373693.pdf
- Chapleau, R. (1990). La planification et l'analyse des systèmes de transport urbains : un bilan des modèles et méthodes disponible avec l'approche désagrégée. *25ème congrès annuel de l'Association Québécoise du Transports et des Routes, Montréal* (pp. 27-51)Association Québécoise du Transports et des Routes.
- Chapleau, R. (1992). La modélisation de la demande en transport urbain avec une apporche totalement désagrégée. *World Congress in Transportation Research, Lyon, France* (pp. 1-12).
- Chapleau, R., & Morency, C. (2002). Pour une confusion interrompue à propos des déplacements urbains. *37ème Congrès de l'Association Québécoise des Transports et de Routes (AQTR), Québec* (pp. 1-19).
- Chapleau, R., & Trepanier, M. (2002). Transit itinerary calculation on the Web based on a transit user information system. *Journal of Public Transportation*, 5(3), 89.
- CityRyde. (2010). *First 3rd Generation University Bike Share – Saint Xavier University*. CityRyde Bikesharing Expert. Consulté le 08 juin 2010, tiré de <http://www.cityryde.com/blog/first-3rd-generation-university-bike-share-saint-xavier-university/>.
- CIVITAS. (2009). *City Bike Scheme in Burgos*. CIVITAS - cleaner and better transport in cities Consulté le 8 juin 2010, tiré de http://www.civitas-initiative.org/measure_sheet.phtml?lan=en&id=302/.

Clear Channel. (2010). *Vélo à la Carte*. Consulté le 03 mai 2010, tiré de <http://www.clearchannel.fr/veloalacarte/>.

Cleaveland, F., & Douma, F. (2009). *The Impact of Bicycling Facilities on Commute Mode Share*. Paper presented at the Transportation Research Board 88th Annual Meeting, Washintgton D.C. <http://www.cts.umn.edu/Publications/ResearchReports/reportdetail.html?id=1646>

DB Bahn. (2010). *Call a Bike : Der schnelle Weg durch die Stadt*. Consulté le 02 juin 2010, tiré de <http://www.callabike-interaktiv.de/index.php?id=132&&key=f957ab6fe7a09b0f3cbd003f3ec79508...00000&f=500>.

De Maio, P. (2003). Smart Bikes : public transportation for the 21st Century. *Transportation Quarterly*, Vol.57(1), 9-11.

De Maio, P. (2008). The Bike-Sharing Phenomenon. *Carbusters*, 36, p. 12. Consulté le 18 mars 2010, tiré de <http://carbusters.org/files/2009/12/Carbusters-36.pdf>

De Maio, P. (2009). Bike-sharing : History, Impacts, Models of provision, and future. *Journal of Public Transportation*, Vol. 2(N°4), p. 41-56. Consulté le 16 Mars 2010, tiré de <http://www.nctr.usf.edu/jpt/pdf/JPT12-4DeMaio.pdf>

De Maio, P., & Gifford, J. (2004). Will Smart Bikes succeed as public transportation in the United States ? *Journal of public transportation*, Vol. 7(N°2), p. 1-15. Consulté le 16 mars 2010, tiré de www.metrobike.net/index.php?s=file_download&id=22

Deflorio, F., Amoruso, P., & Binetti, M. (2009). *Requirements Analysis of a Bike Sharing System based on ITS Applications*. Paper presented at the 16th ITS World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services, Stockholm, Suède.

Dekoster, J., & Schollaert, U. (1999). *Villes cyclables villes d'avenir*. Bruxelles: Office des publications officielles des Communautés Européennes Retrieved from http://ec.europa.eu/environment/archives/cycling/cycling_fr.pdf.

Delcan, iTRANS, & ADEC. (2006). *Le coût de la congestion urbaine au Canada* (N° H006/06). Ottawa, Canada: Transport Canada. Consulté le 18 juin 2010, tiré de <http://www.tc.gc.ca/fra/medias/communiques-nat-2006-06-h006f-2353.htm#information>

Dill, J., & Carr, T. (2003 Janvier 2003). Bicycle Communtin and Facilities in Major U.S. Cities: If you Build Them, Commuters Will Use Them - Another Look. *Transportation Research Board, Washington D.C.* (pp. 1-9). TRB 2003 Annual Meeting CD-ROM. Consulté le 24 mars 2010, tiré de <http://nexus.umn.edu/Courses/pa8202/Dill.pdf>

Dill, J., & Gliebe, J. (2008). *Understanding and measuring bicycling behavior: a focus on travel time and route choice* (OTREC-RR-08-03): Oregon Transportation Research and Education Consortium. Consulté le 28 juin 2010, tiré de http://www.ibpi.usp.pdx.edu/media/OTREC_Dill_BikeGPS_Report.pdf

- Dill, J., & Voros, K. (2007). *Factors affecting bicycling demand : initial survey findings from the Portland Region*. Paper presented at the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C.
- Dobrovolny, J. (2009 3 février 2009). Cycling statistics update. *Standing Committee on transportation and traffic, City of Vancouver* (Vol. Supports Item N°1, pp. 1-8). City of Vancouver: Greenways and Neighbourhood transportation branch. Consulté le 19 mars 2010, tiré de <http://vancouver.ca/cityclerk/cclerk/20090217/documents/tt1.pdf>
- Dora, C., & Phillips, M. (2000). *Transport, Environment and Health* (ISBN 92 890 1356 7). Copenhague: World Health Organization Regional Office for Europe. Consulté le 21 juin 2010, tiré de http://www.hiaconnect.edu.au/files/Transport_Environment_and_Health.pdf
- Dossett, B., Munger, J., & Bono, K. (2008). Non-profit business plan for twin cities bike share system.
- EcoBici. (2010). *Informacion del servicio*. Consulté le 07 mai 2010, tiré de <https://www.ecobici.df.gob.mx/home/home.php#>.
- El-Geneidy, A., & Larsen, J. (2009). Build it but where ? The use of Geographic information systems in identifying optimal location for new cycling infrastructure.
- El-Geneidy, A., Yasmin, F., & Jacob, L. (2010). *Examining travel distance by walking and cycling*. Paper presented at the Transportation Resaerch Board 89th Annual Meeting, Washington D.C. <http://pubsindex.trb.org/orderform.html>
- Elvik, R. (2009). The non-linearity of risk and the promotion of environmentally sustainable transport. *Accident Analysis & Prevention*, 41(4), 849-855. Consulté le 3 juillet 2010, tiré de <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V5S-4W7YF4X-1/2/33384c62e231287d8348e92eb8b6c506>
- Environnement Canada. (2010). *National Climate Data and Information Archive*. Environnement Canada. Consulté le 18 novembre 2010, tiré de http://www.climate.weatheroffice.gc.ca/Welcome_e.html.
- Ericson, T. J., & Meinzer, J. H. S. (2009). *“Bicycle Sharing Systems Worldwide : Selected Case Studies”*. Philadelphie: CityRyde. Consulté le 09 juin 2010, tiré de <http://www.cityryde.com/reports/>
- FHWA. (2009). Manual on Uniform Traffic Control Devices, (Édition 2009 ed.). Washington D.C.: US Department of Transportation. Consulté le 15 décembre 2010, tiré de: <http://mutcd.fhwa.dot.gov/pdfs/2009/mutcd2009edition.pdf>
- Froehlich, J., Neumann, J., & Oliver, N. (2009). Sensing and Predicting the Pulse of the City through Shared Bicycling. *21st international joint conference on Artificial intelligence, Pasadena, California, USA* (pp. 1420-1426). San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc. . Consulté le 30 août 2010, tiré de http://www.nuriaoliver.com/bicing/IJCAI09_Bicing.pdf

- Garrard, J., Rose, G., & Lo, S. K. (2008). Promoting transportation cycling for women: The role of bicycle infrastructure. *Preventive Medicine*, 46(1), 55-59. Consulté le 29 juin 2010, tiré de <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6WPG-4P6VD47-6/2/eafb664e04fa49569c9f988d60bbfefe>
- Gerdil, V. (2009). JCDecaux fait grimper les prix. *10 du Mat'*, (25), 1-10. Consulté le 07 juin 2010, tiré de <http://www.keskiscpass.com/pdf/ddm240209.pdf>
- Gilbert, R., & Perl, A. (2010). *Transport Revolutions : Moving people and freight without oil* (Revised and Updated Edition 2^e éd.). Gabriola Island: New Society Publishers.
- Goldsmith, S. A. (1993). Reasons Why Bicycling and Walking Are and Are Not Being Used More Extensively as Travel Modes. In *National Bicycling and Walking Study* (Vol. Case study n°1, pp. 1-95): Report FHWA, U.S. Department of transportation. Consulté le 07 avril 2010, tiré de http://safety.fhwa.dot.gov/ped_bike/docs/casel.pdf
- Grasset, V. (2009). *Analyse évolutive de l'offre et la demande de l'autopartage à Montréal* (M.Sc.A, École Polytechnique de Montréal, Montréal).
- Gris Orange Consultant. (2009). *Guide du vélopartage*. Ottawa: Transport Canada Retrieved from www.tc.gc.ca/urbain.
- Hamer, M., & Chida, Y. (2008). Active commuting and cardiovascular risk: A meta-analytic review. *Preventive Medicine*, 46(1), 9-13. Consulté le 17 juin 2010, tiré de <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6WPG-4N9DJSC-3/2/aa09678c66431c8e6cafade5c78c6410>
- Hangzhou Bicycle Public. (2010). *À propos de Hangzhou vélos publics*. Hangzhou Bicycle Public. Consulté le 08 juin 2010 tiré de <http://www.hzzxc.com.cn/>.
- Hanson, S., & Hanson, P. (1977). Evaluating the Impact of Weather on Bicycle Use. *Transportation Research Record, Washington D.C.* (Vol. 629, pp. 43-48)National Academy Press.
- Heinen, E., Wee, B.-V., & Maat, K. (2009). *The impact of work-related factors on levels of bicycle commuting* Paper presented at the Transportation Research Board 88th Annual Meeting, Washington D.C. <http://pubsindex.trb.org/orderform.html>
- Holtzman, D. (2008). Share a Bike. *Planning*, 74(5), 20-23. Consulté le 23 mars 2010, tiré de www.metrobike.net/index.php?s=file_download&id=1
- Howard, C., & Burns, E. K. (2001). Cycling to work in Phoenix: Route choice, travel behavior, and commuter characteristics. *Transportation Research Record, Washington D.C.* (Vol. 1773, pp. 39-46)National Academy Press.
- Hunt, J., & Abraham, J. (2007). Influences on bicycle use. *Transportation*, 34(4), 453-470. Consulté le 29 juin 2010, tiré de doi:10.1007/s11116-006-9109-1

- Hurtley, C., & Dagmar, B. (2009). *Night Noise Guidelines for Europe* (ISBN 978 92 890 4173 7). Copenhague: World Health Organisation Reginal office For Europe. Consulté le 21 juin 2010, tiré de http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf
- Iacono, M., Krizek, K., & El-Geneidy, A. (2008). *Access to Destination : How Close is Close Enough? Estimating Accurate Distance Decay Functions for Multiple Modes and Different Purposes* (MN/RC 2008-11). Saint-Paul, Minnesota: Minnesota Department of Transportation Consulté le 05 juillet 2010, tiré de <http://www.lrrb.org/PDF/200811.pdf>
- Instituto para la diversificacion y Ahorro de la Energia IDAE. (2007). *Guia metodologica para la implantacion de sistemas de bicicletas publicas en Espana*. Madrid: IDAE Retrieved from http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Guia_Bicicletas_8367007d.pdf.
- International Energy Agency (IEA). (2010). *Statistics by country*. International Energy Agency (IEA). Consulté le 22 juin 2010, tiré de <http://www.iea.org/about/contact.asp>.
- Jacobsen, P. L. (2003). Safety in numbers : more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. *Injury Prevention*, 9(3), 1-9. Consulté le 22 Mars 2010, tiré de <http://injuryprevention.bmj.com/content/9/3/205.full>
- Jain, A. K., & Dubes, R. (1998). *Algorithms for clustering*. New Jersey: Prentice Hall.
- Jain, A. K., Murty, M. N., & Flynn, P. J. (1999). Data Clustering: A Review. *ACM Computing Surveys*, 31(3), Consulté le 13 décembre 2010, tiré de <http://delivery.acm.org/10.1145/340000/331504/p264-jain.pdf?key1=331504&key2=3531622921&coll=DL&dl=ACM&CFID=2054001&CFTOKEN=78687413>
- Katzmarzyk, P. T., Gledhill, N., & Shephard, R. J. (2004). The economic costs associated with physical inactivity and obesity in Canada. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 29(1), 90-115. Consulté le 18 juin 2010, tiré de <http://article.pubs.nrc-cnrc.gc.ca/RPAS/rpv?hm=HInit&calyLang=eng&journal=apnm&volume=29&afp=h04-008.pdf>
- Kim, J.-K., Kim, S., Ulfarsson, G. F., & Porrello, L. A. (2007). Bicyclist injury severities in bicycle-motor vehicle accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 39(2), 238-251. Consulté le 3 juillet 2010, tiré de <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V5S-4M04J97-1/2/72713ba7d0ff5bef9a4660af3bdedff7>
- Komanoff, C., & Roelofs, C. (1993). *The Environmental Benefits of Bicycling and Walking*.: Report FHWA, U.S. Department of transportation Consulté le 08 avril 2010, tiré de http://safety.fhwa.dot.gov/ped_bike/docs/case15.pdf
- Krizek, K. J., Barnes, G., & Thompson, K. (2009). Analyzing the Effect of Bicycle Facilities on Commute Mode Share over Time. *Journal of Urban Planning and Development*, (Juin

- 2009), 66-73. Consulté le 28 juin 2010, tiré de http://carbon.ucdenver.edu/~kkrizek/pdfs/Analyzing_effect.pdf
- Krizek, K. J., & Johnson, P. J. (2006). Proximity to trails and retail : Effects on Urban Cycling and Walking. *Journal of the American Planning Association*, 72(1), 33-42. Consulté le 28 juin 2010, tiré de http://carbon.ucdenver.edu/~kkrizek/pdfs/Walk_and_bike_demand.pdf
- La Mairie de Paris. (2007). *Le bilan des déplacements à Paris en 2007*. Paris, France: Observatoire des déplacements de la mairie de Paris. Consulté le 10 juin 2010, tiré de http://www.nxtbook.fr/newpress/Mairie-de-paris-direction-voirie-deplacements/Bilan_des_deplacements_en_2007_Paris/index.php#/20
- Landis, B. W., Vattijuti, V. R., & Brannick, M. T. (1998). Real-time human perceptions: Toward a bicycle level of service. *Transportation Research Record, Washington D.C.* (Vol. 1578, pp. 119-126)National Academy Press.
- Larsen, J., & El-Geneidy, A. (2010). A travel behavior analysis of urban cycling facilities in Montréal Canada. *Transportation Research Part D Transport and Environment*, 1-9. doi:10.1016/j.trd.2010.07.011
- Lott, D. Y., Tardiff, T., & Lott, D. F. (1977). Bicycle Transportation for downtown work trips : A case study in Davis, California. *Transportation Research Record, Washington D.C.* (Vol. 629, pp. 30-37)National Academy Press.
- Martin, B. (2007). *Caractérisation du système d'autopartage dans l'agglomération Montréalaise et analyse spatio-temporelle de ses différents objets : usagers, stationnements, véhicules* (M.Sc.A, École Polytechnique de Montréal, Montréal).
- Massot, M.-H., & Armoogum, J. (2002). Évaluation des potentiels de réduction des trafics automobiles dans le cas de la zone dense francilienne. *Recherche - Transports - Sécurité*, 77, 259-280. Consulté le 05 juillet 2010, tiré de <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VSP-4C4VNTP-4/2/67b0efe91d660d91b713737a00e8ce7a>
- Mattews, C., Jurj, A., & Shu, X. (2007). Influence of exercise, walking, cycling, and overall nonexercise physical activity on mortality in Chinese women. *American Journal Epidemiology*, 165(12), 1-8. Consulté le 17 juin 2010, tiré de <http://aje.oxfordjournals.org/cgi/reprint/165/12/1343>
- Midgley, P. (2009 25 février 2009). Shared Smart Bicycle Schemes in European Cities. *Fourth Regional Environmentally Sustainable Transport (EST) Forum in Asia, Séoul, République de Corée* (pp. 1-36)Global Transport Knowledge Partnership (gtkp). Consulté le 17 mars 2010, tiré de http://www.uncrd.or.jp/env/4th-regional-est-forum/Presentations/28_PS4_gTKP.pdf
- Ministère des transports du Québec. (1998). *Conception Routière*. Normes Ouvrages Routiers, ISBN 2-551-15909-1. Consulté le 28 juin 2010, tiré de

Ministère des transports du Québec. (2005). *Guide de sécurité à vélo* (C-4710). Montréal, Québec: Transport Québec. Consulté le 28 juin 2010, tiré de http://www.saaq.gouv.qc.ca/publications/prevention/guide_velo.pdf

Miranda-Moreno, L. F., & Nosal, T. (2010). *Weather or not to cycle, whether or not to invest: a look at weather's impact on physically separated cycling facilities and temporal trends in an urban environment?* . Université McGill. Montréal.

Mlasowsky, H. (2008). *Bike sharing - Key findings and recommandations* (EIE/05/059/SI2.421631): Intelligent Energy - Europe (IEE). Consulté le 16 mars 2010, tiré de http://spicycles.velo.info/Portals/0/FinalReports/D3.3_Final_Bike_Sharing.pdf

Monzon, A., & Vega, L. A. (2006). How to measure the potential of transferring trips from car to public transport and soft modes. The case of Madrid. *European Transport Conference, Strasbourg, France* (pp. 1-12). Consulté le 5 juillet 2010, tiré de <http://www/etcproceedings.org/paper/how-to-measure-the-potential-of-transferring-trips-from-car-to-public-transport>

Morency, C. (2004). *Contributions à la modélisation totalement désagrégée des interactions entre mobilité urbaine et dynamiques spatiales* (Ph.D.). Consulté le 11 novembre 2010, tiré de ProQuest Dissertations and Thesis. (UMI No. NQ92159)

Morency, C. (2007). Les méthodes d'acquisition de données en transport. In Presses Internationales Polytechnique, (éd.), *Système de transport, Notes de cours* (Vol. 6175, pp. 49-68). Montréal.

Morency, C., Roorda, M.-J., & Demers, M. (2009). *Steps in Reserve: Comparing Latent Walk Trips in Toronto and Montreal*. Paper presented at the Transportation research Board 88th Annual Meeting, Washington D.C. <http://dx.doi.org/10.3141/2140-12>

Morency, C., Trepanier, M., & Agard, B. (2011). Typology of carsharing members. *Transportation research board 90th annual meeting Washington D.C.* (pp. 1-14).

Morency, C., Trepanier, M., & Godefroy, F. (2011). Insight into the Montreal bikesharing system. *Transportation Research Board, 90th annual meeting, Washington D.C., USA* (pp. 1-17).

Morency, C., Trepanier, M., Tremblay, V., & Poliquin, E. (2011). Insights on the determinants of walk trips using large scale travel survey data. *Integrated Transportation and Development, Chicago, USA* (pp. 1-10).

Nadal, L. (2007). Paris bike sharing, Rio de Janeiro downtown revival, New York congestion pricing. *Sustainable transport Automne 2007*(19), 1-7. Consulté le 16 Mars 2010, tiré de

Nankervis, M. (1999). The effect of weather and climate on bicycle commuting. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33(6), 417-431. Consulté le 24 mars 2010, tiré de

<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VG7-3WXP2MJ-1/2/44fecfedfcdbceb6a49e7344a3d5558>

Nelson, A. C., & Allen, D. (1997). If You Build Them, Commuters Will Use Them : Association Between Facilities and Bicycle commuting. *Transportation Research Record* 1578(10), 79-83. Consulté le 12 avril 2010, tiré de <http://www.enhancements.org/download/trb/1578-10.PDF>

Noël, N., & Lee-Gosselin, M. (2002). Mieux comprendre la pratique de la bicyclette enquête sur les déplacements et les activités de cyclistes de la Région métropolitaine de Québec. *Recherche - Transports - Sécurité*, 74, 26-49. Consulté le 15 avril 2010, tiré de <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VSP-4863FT9-2/2/c2127c43e8217f88aad68e7ec4a379ae>

Noland, R. B., & Ishaque, M. M. (2006). Smart Bicycles in an Urban Area: Evaluation of a Pilot Scheme in London. *Journal of Public Transportation*, 9(5), 71-95. Consulté le 24 mars 2010, tiré de <http://www.nctr.usf.edu/jpt/pdf/JPT %209-5 %20Noland.pdf>

Noland, R. B., & Kunreuther, H. (1995). Short-run and long-run policies for increasing bicycle transportation for daily commuter trips. *Transport Policy*, 2(1), 67-79. Consulté le 1 juillet 2010, tiré de <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VGG-3YBB0G0-S/2/caa9f5a644bec38540bc434be66c3cfe>

O'Keefe, T., & Keating, J. (1995). *The Yellow bike Story*. Consulté le 23 mars 2010, tiré de <http://c2.com/ybp/story.html>.

Parkin, J., Wardman, M., & Page, M. (2008). Estimation of the determinants of bicycle mode share for the journey to work using census data. *Transportation*, 35(1), 93-109. Consulté le 28 juin 2010, tiré de doi:10.1007/s11116-007-9137-5

Pucher, J., & Buehler, R. (2005). Cycling trends and policies in canadian cities. *World Transport Policy and Practice*, 11(1), 43-61. Consulté le 2 février 2010, tiré de www.ecologica.co.uk/WTPParticles.html

Pucher, J., & Buehler, R. (2008). Making Cycling Irresistible: Lessons from the Netherlands, Denmark, and Germany *Transport Reviews*, 28, 1-57. Consulté le 18 juin 2010, tiré de <http://www.sharetheroad.ca/pdf/ %28Pucher %29-Making-Cycling-Irresistable.pdf>

Pucher, J., & Dijkstra, L. (2000). Making Walking and Cycling Safer : Lessons from Europe. *Transportation Quarterly*, 54(3), 25-50. Consulté le 02 avril 2010, tiré de <http://www.ta.org.br/site/Banco/7manuais/VTPIpuchertq.pdf>

Pucher, J., & Dijkstra, L. (2003). Promoting Safe Walking and Cycling to Improve Public Health : Lesson from The Netherlands and Germany. *American Journal of Public Health*, 93(9), 1509-1516. Consulté le 23 mars 2010, tiré de <http://policy.rutgers.edu/faculty/pucher/AJPHfromJacobsen.pdf>

- Pucher, J., Komanoff, C., & Schoimek, P. (1999). Bicycling renaissance in North America? Recent trends and alternative policies to promote bicycling. *Transportation Research Part A*, 33(7/8), 625-654. Consulté le 20 mars 2010, tiré de <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VG7-3X6B557-7/2/42c76203c3b89094443bcab54fc46794>
- Radio Canada. (2009a, 24 octobre 2009). *Bilan d'un succès*. Consulté le 02 avril 2010, tiré de http://www.radio-canada.ca/regions/Montreal/2009/10/24/001-Bixi_bilan_suggestions.shtml.
- Radio Canada. (2009b, 12 août 2009). *Boston et Londres adoptent le concept*. Consulté le 07 mai 2010, tiré de http://www.radio-canada.ca/nouvelles/Economie-Affaires/2009/08/12/003-bixi_boston_londres.shtml.
- Radio Canada. (2010a, 06 mai 2010). *BIXI prévoit rouler sur l'or dès cette année*. Consulté le 07 mai 2010, tiré de http://www.radio-canada.ca/regions/Montreal/2010/05/06/004-Bixi_bilan2009_previsions2010.shtml.
- Radio Canada. (2010b, 31 août 2010). *Le Bixi, ennemi du taxi?* Consulté le 4 octobre 2010, tiré de <http://www.radio-canada.ca/regions/Montreal/2010/08/31/009-taxi-bixi.shtml>.
- Rajamani, J., Bhat, C. R., Handy, S., Knaap, G., & Song, Y. (2003). Assessing Impact of Urban form Measures on Nonwork Trip Mode Choice After Controlling for Demographic and Level-of-Service Effects. *Transportation Research Record*, Washington D.C. (Vol. 1831, pp. 158-165) National Academy Press.
- Rietveld, P., & Daniel, V. (2004). Determinants of bicycle use: do municipal policies matter? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 38(7), 531-550. Consulté le 1 juillet 2010, tiré de <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VG7-4CVR160-2/2/86cccdabdf80da208140cc4486bba2318>
- Roberts, I., Owen, H., Lumb, P., & MacDougall, C. (1996). *Pedaling health : Health benefits of a modal transport shift* (University of Adelaide, Adelaide). Consulté le 17 juin 2010, tiré de http://safety.fhwa.dot.gov/ped_bike/docs/cyhealth.pdf
- Robinson, D. L. (2005). Safety in numbers in Australia: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. *Health Promotion Journal of Australia*, 16(1), 1-5. Consulté le 3 juillet 2010, tiré de http://www.industrializedcyclist.com/safeinnumbers_au.pdf
- Rose, G., & Marfurt, H. (2007). Travel behaviour change impacts of a major ride to work day event. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(4), 351-364. Consulté le 29 juin 2010, tiré de <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VG7-4MK60WV-1/2/cc8c9e234d0002c76015623ebefc1ad3>
- Schroeder, B., Hagen, J., Leve, Z., & Penalosa, A. (2009). Bike-sharing goes viral. *Sustainable transport*, Hiver 2009(21), 23-29. Consulté le 19 mars 2010, tiré de http://www.itdp.org/documents/st_magazine/itdp-sustran-20100101.pdf

- Shafizadeh, K., & Niemeier, D. (1997). Bicycle Journey-to-Work: Travel Behavior Characteristics and Spatial Attributes *Transportation Research Record*, Washington D.C. (Vol. 1578, pp. 84-90)National Academy Press.
- Shaheen, S. A., Guzman, S., & Zhang, H. (2010). *Bike Sharing in Europe, the America and Asia : Past, present and future*. Paper presented at the Transportation Research Board 89th Annual Meeting, Washington D.C. Papier de recherche retrieved from <http://76.12.4.249/artman2/uploads/1/TRB10-Bikesharing.Final.pdf>
- Shephard, R. (2008). Is active commuting the answer to population health ? *Sport Med.*, 1-10. Consulté le 17 juin 2010, tiré de <http://www.pgedf.ufpr.br/Is %20Active %20Commuting %20the %20Answer %20to %20Population %20Health-RR.pdf>
- Société des Transports de Montréal (STM). (2009). *Le mouvement es en marche : Rapport d'activités 2009* STM. Consulté le 10 novembre 2010, tiré de <http://www.stm.info/en-bref/ra2009.pdf>.
- Stationnement Montréal. (2010a). *À propos de stationnement Montréal*. Stationnement Montréal. Consulté le 16 juin 2010, tiré de http://www.statdemtl.qc.ca/index.php?page_id=42&lang=fr.
- Stationnement Montréal. (2010b). *Vélo en libre-service*. Stationnement Montréal. Consulté le 16 juin 2010, tiré de http://www.statdemtl.qc.ca/index.php?page_id=11&lang=fr.
- Stinson, M. A., & Bhat, C. R. (2005). A comparaison of the route preference of experienced and inexperienced bicycle commuters. *Transportation Research Board 84th Annual Meeting, Washington D.C.* Consulté le 1 juillet 2010, tiré de http://www.ce.utexas.edu/prof/bhat/ABSTRACTS/Nov15_Inexperienced_Bicycle_Commuters_TRB2005.pdf
- Taylor, D., & Mahmassani, H. (1996). Analysis of Stated Preferences for Intermodal Bicycle-Transit Interfaces. *Transportation Research Record*, Washington D.C. (Vol. 1556, pp. 86-95)National Academy Press.
- The centre for the sustainable transportation. (2002). *Définition du transport durable*. Mississauga, Ontario, Canada: The centre for the sustainable transportation. Consulté le 18 juin 2010, tiré de http://cst.uwinnipeg.ca/documents/Definition_Vision_F.pdf
- Tilahun, N. Y., Levinson, D. M., & Krizek, K. J. (2007). Trails, lanes, or traffic: Valuing bicycle facilities with an adaptive stated preference survey. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(4), 287-301.
- Timperio, A., Ball, K., Salmon, J., Roberts, R., Giles-Corti, B., Simmons, D., et al. (2006). Personal, Family, Social, and Environmental Correlates of Active Commuting to School. *American Journal of Preventive Medicine*, 30(1), 45-51. Consulté le 1 juillet 2010, tiré de <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VHT-4J2J3JH-7/2/e076c1392cee49683515b53a75d5854e>

Transitec ingénieurs-conseils SA. (2009 Juin 2009). Vélos en libre-service en Suisse : harmonisation des système d'accès : Opportunité, possibilités et préconisations. *Conférence Vélo Suisse, Lausanne* (pp. 57). Consulté le 04 mai 2010, tiré de <http://www.velokonferenz.ch/dateien/velokonferenz %20veloverleih %2009.pdf>

Transport Canada. (2006). *Stratégie de développement durable 2007-2009* (TP 13123). Ottawa, Canada: Transport Canada. Consulté le 18 juin 2010, tiré de http://www.tc.gc.ca/media/documents/politique/sdd2007_2009frpdf.pdf

Transport Canada. (2010). *Transport durable*. Transport Canada. Consulté le 18 juin 2010, tiré de <http://www.tc.gc.ca/fra/quebec/environnement-durable-1591.htm>.

Trépanier, M. (1999). *Modélisation totalement désagrégée orientée-objet appliquée aux transports urbains* (Ph.D., École Polytechnique de Montréal). Consulté le 13 septembre 2010, tiré de Proquest Dissertations and theses (UMI No. NQ48896)

Urie, H. (2010, 05 mai 2010). *Denvers beats Boulder to public bike-share program*. Consulté le 07 mai 2010, tiré de http://www.dailycamera.com/ci_14998719#axzz0nBBIIvLr.

Valiquette, F. (2010). *Typologie des chaînes de déplacements et modélisation descriptive des systèmes d'activités des personnes* (M.Sc.A., École Polytechnique de Montréal, Québec, Canada).

Van Houton, R., & Seiderman, C. (2005). How Pavement Markings Influence Bicycle and Motor Vehicle Positioning : A Case Study in Cambridge, MA. *Transportation Research Record, Washington D.C.* (Vol. 1939, pp. 3-14)National Academy Press.

Vélib'. (2010, 11 mai 2007). *Abonnements / Tarifs*. Consulté le 04 juin 2010, tiré de <http://www.velib.paris.fr/Abonnements-tarifs/Les-tarifs/Au-delà-des-30-premieres-minutes>.

Vélo'V. (2005). La barre des 20 000 abonnés a été franchie !!! *Vélo'v la newsletter, Édition de novembre 2005*(1), 1. Consulté le 01 juin 2010, tiré de <http://www.velov.grandlyon.com/Newsletter-Velo-v-numero-1.65.0.html>

Vélo'V. (2008). Relevé des compteurs. *Vélo'v la newsletter, Éditions de novembre 2008*(34), 1. Consulté le 01 juin 2010, tiré de <http://www.velov.grandlyon.com/Newsletter-Velo-v-numero-34.130.0.html>

Vélo à la Carte. (2010). *Exemple de statistiques obtenues*. Clear Channel. Consulté le 11 juin 2010, tiré de <http://www.clearchannel.fr/veloalacarte/>.

Vernez-Moudon, A., Lee, C., Cheadle, A. D., Collier, C. W., Johnson, D., Schmid, T. L., et al. (2005). Cycling and the built environment, a US perspective. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 10(3), 245-261. Consulté le 28 juin 2010, tiré de <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VH8-4G7GG0P-1/2/57acc690ea86eca97d9e5a92e46d724b>

- Viklund, A. (2010). *Bike Share is coming !* Nice Ride Minnesota. Consulté le 07 mai 2010, tiré de <http://www.niceridemn.com/>.
- Ville de Montréal. (2010a). *Faits saillants Bilan 2009-2010 Plan de transport*. Ville de Montréal. Consulté le 12 décembre 2010, tiré de http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/TRANSPORT_V2_FR/MEDIA/DOCUMENTS/Faits_saillants_Bilan_2009-2010.pdf.
- Ville de Montréal. (2010b). *L'essentiel en un clin d'oeil : Budget 2011 de la ville de Montréal* (978-2-7647-0942-9). Montréal, Québec, Canada: Ville de Montréal. Consulté le 12 décembre 2010, tiré de http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/service_fin_fr/media/documents/0-budget-2011-clin-oeil.pdf
- Ville de Montréal. (2010c). *Plan de transport*. Ville de Montréal. Consulté le 12 décembre 2010, tiré de http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=4577,7757563&_dad=portal&_schema=PORTAL.
- Voguel, P., & Mattfeld, D. C. (2010). Modeling of repositioning activities in bike-sharing systems. *12th WCTR Lisbonne (Portugal)* (pp. 1-13).
- Voiland, A. (2009, 17 février 2009). *DC bike-sharing programs tops 1,000 users; Clear Channel eyes expansion*. Examnier.com San Fransisco. Consulté le 07 mai 2010, tiré de <http://www.examiner.com/x-2429-DC-Bicycle-Transportation-Examiner~y2009m2d17-DC-bikesharing-program-tops-1000-users-Expansion-eyed>.
- Wardman, M., Tight, M., & Page, M. (2007). Factors influencing the propensity to cycle to work. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(4), 339-350. Consulté le 29 juin 2010, tiré de <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VG7-4MBT1PP-4/2/d7fada6ff7c48bc7cbe5043719be2070>

ANNEXES

ANNEXE 1 – Consommation d'énergie des modes de transport par passager-kilomètre

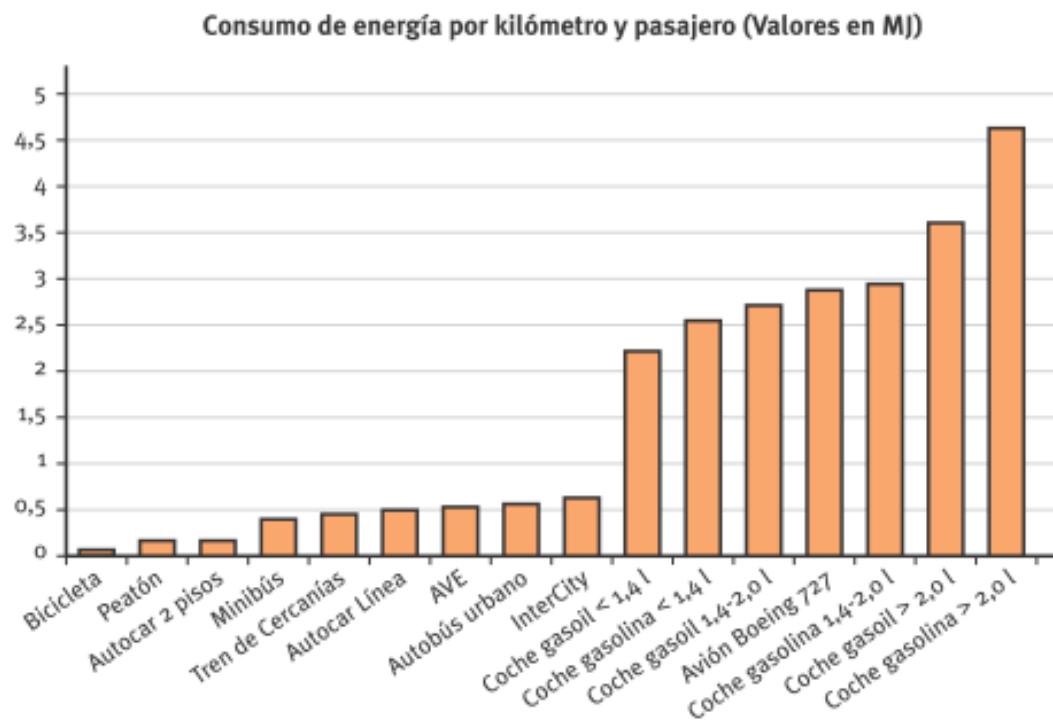


Figure 10-1: Consommation énergétique par passager-kilomètre suivant les modes de transport
(Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía IDAE, 2007)

ANNEXE 2 – Arbre décisionnel d'estimation du potentiel de déplacements transférables

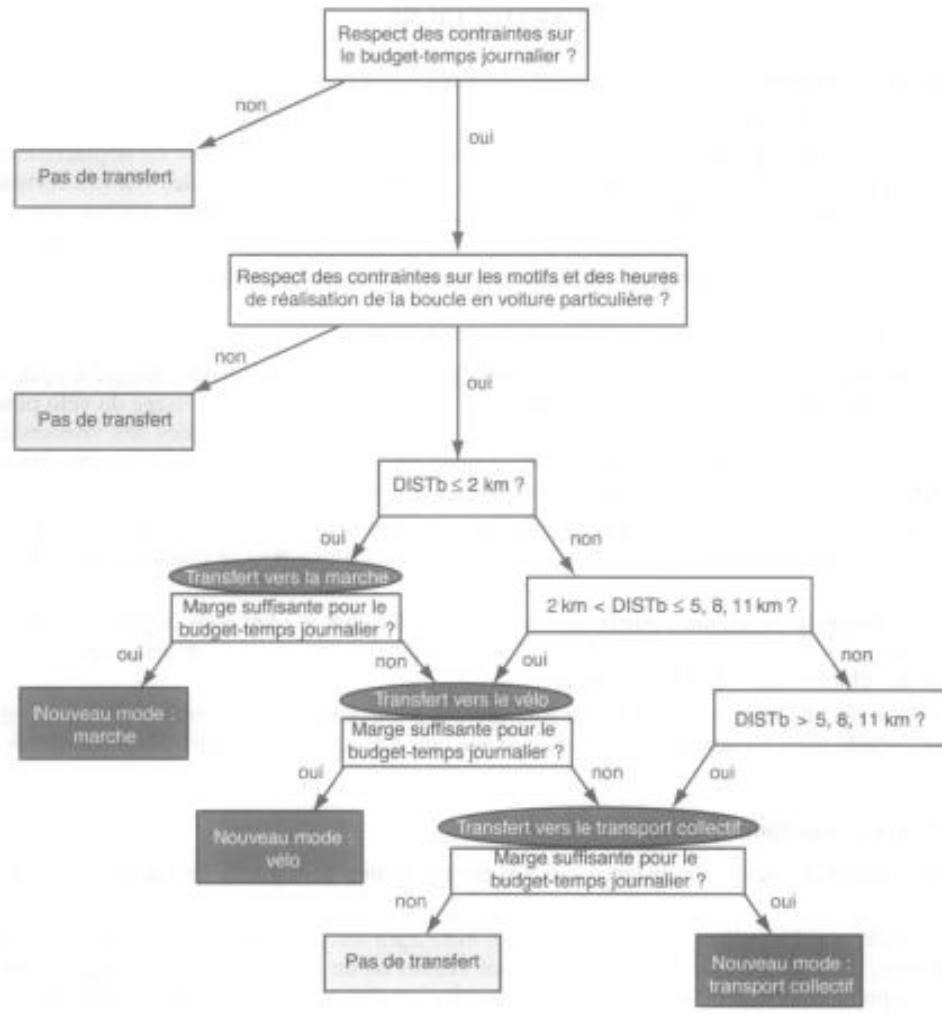


Figure 10-2 : Arbre décisionnel d'estimation du potentiel de déplacements transférables (Massot & Armoogum, 2002)

ANNEXE 3 – Programme de vélopartage dans le monde

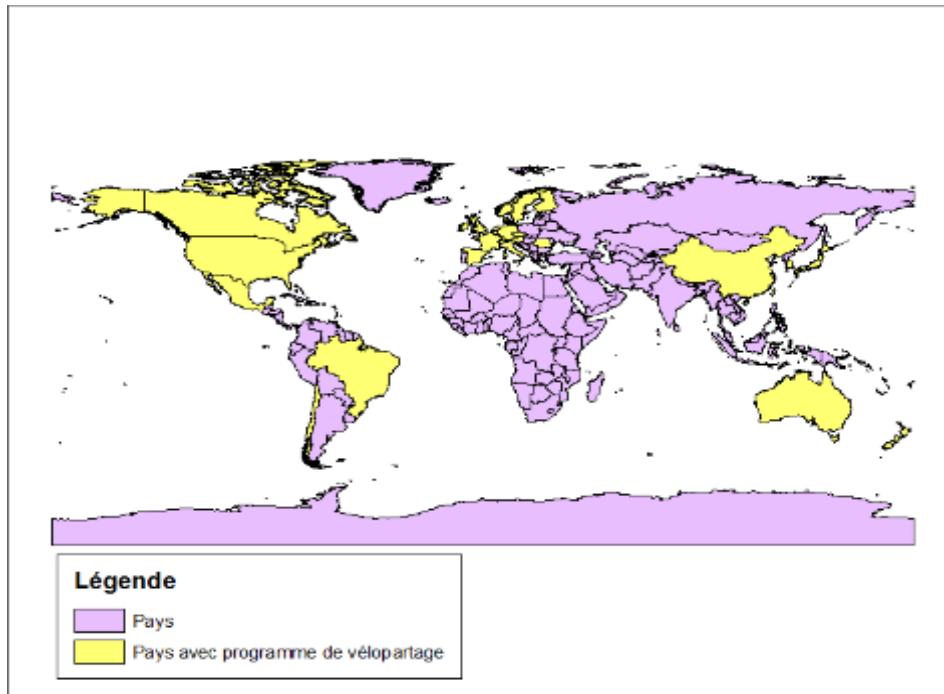


Figure 10-3 : Localisation des pays possédant au moins un programme de vélopartage

Tableau 10-1: Distribution des programmes de vélopartage entre les pays (Shaheen, et al., 2010)

Country	Programs	Bicycles	Stations
Austria	3	1,500	82
Belgium	1	1,000	100
Brazil	2	232	26
Canada	1	5,000	400
Chile	1	50	10
China	3	65,000	2,522
Czech Republic	3	51	16
Denmark	3	2,513	277
Finland	1	300	26
France	21	34,898	2,797
Germany ²	3	6,069	128
Italy	16	3,392	361
Ireland	1	450	40
Luxembourg	2	370	40
Mexico ³	1	—	12
Monaco	1	10	2
Netherlands	1	— ⁴	200
Norway	1	1,660	154
New Zealand	1	175	11
Poland	1	100	13
Romania	1	100	10
Spain	21	11,080	842
South Korea	1	430	20
Sweden	3	2,125	171
Switzerland	1	120	11
Taiwan	2	2,000	31
United States	1	120	10
United Kingdom	2	1,410	809
Total	99	140,155	9,121

ANNEXE 4 – Principes d'utilisation du vélopartage

Conditions d'accès au service

Toutes les sociétés de vélopartage disposent de conditions différentes d'utilisation du système. L'ensemble des documentations est accessible gratuitement sur les sites Internet. Ainsi, le système est offert à l'ensemble de la population sans aucune limitation. Les seules limitations existantes dans la très large majorité des opérateurs concernent : l'interdiction aux enfants de moins de 14 ans (principalement à cause des dimensions des vélos) et l'obligation de posséder une carte de crédit pour procéder aux transactions (que l'on soit abonné ou non au programme). Enfin, les prestataires peuvent tout de même exclure un client dans le cas où il causerait systématique des dégradations sur les bicyclettes.

Emprunter et déposer une bicyclette

Un individu souhaitant emprunter une bicyclette doit se rendre à l'une des stations du réseau sur lequel au moins un vélo est disponible. Ensuite, la personne doit procéder à la libération d'une bicyclette. Pour se faire, les personnes ont deux alternatives : soit devenir membre (en s'abonnant), soit effectuer une utilisation ponctuelle du service (sans abonnement).

Dans le premier cas, l'individu peut soit s'inscrire sur internet par le site de l'opérateur, soit entrer directement ses informations personnelles dans la borne transactionnelle. Par la suite, il recevra une clé, lui permettant d'emprunter n'importe quel vélo sans procéder à une transaction à la borne. L'individu pourra alors se rendre directement à un vélo pour le déverrouiller et commencer son parcours. Ce cas de figure est particulièrement favorable aux usagers fréquents du système ne voulant pas accomplir l'ensemble des démarches à chaque utilisation et par conséquent, gagner du temps. Pour terminer, cette option est également intéressante économiquement, car les tarifs d'abonnement sont souvent avantageux pour l'usager.

Dans le second cas de figure, l'individu va être identifié grâce à son numéro de carte bancaire. La seule démarche consiste à se rendre à la borne transactionnelle pour y insérer sa carte de crédit et ainsi procéder à la libération d'un vélo. Le désavantage pour le client vient du fait que la plupart des opérateurs de vélopartage prennent une caution d'au moins 200\$ sur la carte de crédit pour des durées variant d'un jour à une semaine. Cette mesure résulte de problèmes de vandalisme causés par certains individus dans le passé. À la suite de l'identification, plusieurs moyens

existent pour débloquer les vélos. Les deux méthodes les plus courantes sont les suivantes : l'individu choisit directement son vélo à la borne lors de la transaction. Lorsque la transaction sera accomplie, la bicyclette sera automatiquement débloquée; ou bien à la fin de la transaction, l'utilisateur reçoit un code d'accès qu'il devra inscrire au point d'ancrage pour provoquer la libération de l'un des vélos. Dans les deux cas de figure, la transaction sera complétée lors du retour de la bicyclette. La caution sera alors libérée sur la carte bancaire de l'usager.

Tarification

En ce qui a trait à la tarification, il existe aussi de très nombreuses formules suivant les programmes. Dans la majorité des programmes à grande échelle comme à Lyon, Paris, ou encore Montréal, deux tarifications s'appliquent : une tarification fixe et une seconde, variable. Ainsi, chaque utilisateur doit payer un montant de base (couramment entre 2\$ et 7\$) afin de pouvoir déverrouiller un vélo. Ce montant payé permet à l'utilisateur d'emprunter autant de vélos qu'il le souhaite sur une période de 24h. Bien entendu, il ne peut louer qu'une seule bicyclette à la fois. À cela s'ajoute un montant additionnel dépendant du temps d'utilisation du vélo. La plupart des programmes offrent, à chaque emprunt, trente minutes non facturées à l'ensemble des usagers. Par la suite, la tarification augmente considérablement afin de réduire le temps d'utilisation et permettre de maximiser la redistribution des bicyclettes sur le réseau. Par exemple, dans le programme Vélib' de Paris, la première demi-heure est gratuite, la seconde coûte un euro (1,30\$CAN), l'heure suivante deux euros (2,60\$CAN) et enfin 4 euros (5,50\$CAN) pour chaque heure dépassant les deux heures d'utilisation (Vélib', 2010). De plus, il faut savoir que certaines sociétés limitent les temps d'utilisations à quelques heures. C'est par exemple le cas à Rennes où la société Clear Channel limite l'emprunt à deux heures (Clear Channel, 2010).

Accessibilité au service

Les systèmes de vélopartage de troisième et quatrième génération sont majoritairement disponible 24h/24 et 7j/7. Néanmoins, dans certains contextes comme les pays nordiques, les programmes font une trêve pendant l'hiver afin de limiter les dégradations du matériel. D'autres circonstances particulières peuvent diminuer l'accès au service, par exemple à Oslo où le très haut niveau de dégradations entre minuit et six heures du matin a contraint la société Clear Channel à empêcher les locations pendant cette plage horaire. Seul le dépôt des bicyclettes est autorisé à ce moment (Beroud, 2009).

ANNEXE 5 – Composants des systèmes de vélopartage

Exemples de plateformes de station :

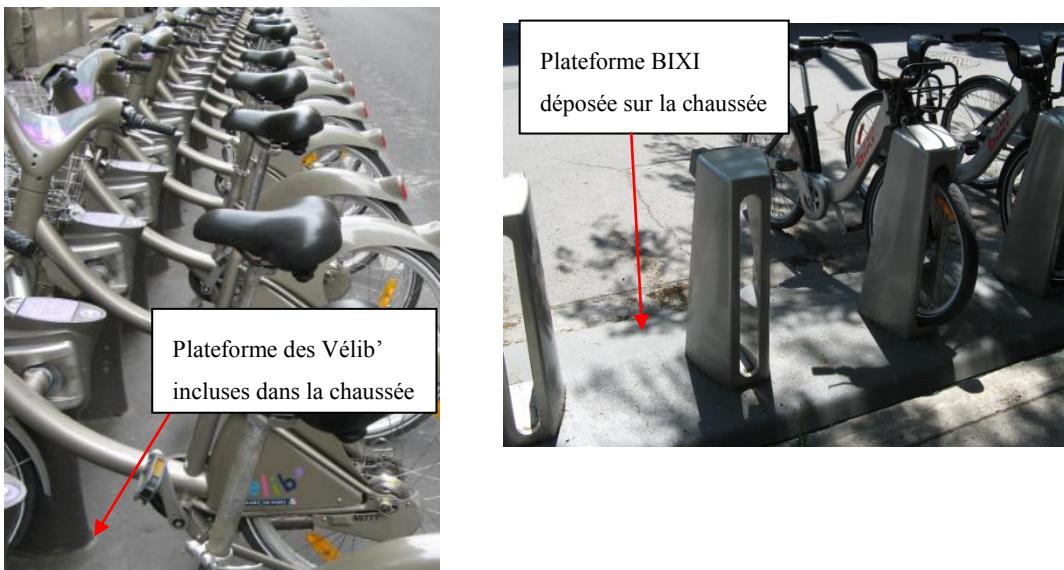


Figure 10-4 : Différents types de plateformes : intégrée ou déposée sur la chaussée

Exemples de bornes transactionnelles :

Toutes les bornes transactionnelles incluent :

- un écran tactile (1) permettant de procéder à une transaction ou encore d'obtenir de l'information sur l'état du réseau (dans le cas où la station est à pleine capacité ou vide).
- un terminal pour les cartes bancaires (2) afin que la personne puis s'acquitter des frais pour l'utilisation du service. Il est intéressant de noter que les stations n'offrent qu'un seul moyen de paiement : par carte bancaire.
- une sortie pour les reçus de transactions (3). Dans le cas du système BIXI, un reçu contenant le code de déverrouillage de la borne est émis par cette sortie.
- Dans le cas du programme Vélib', un lecteur de cartes d'accès (4) permet aux abonnés d'obtenir de l'information sur l'état de leur compte ainsi que sur différentes promotions.

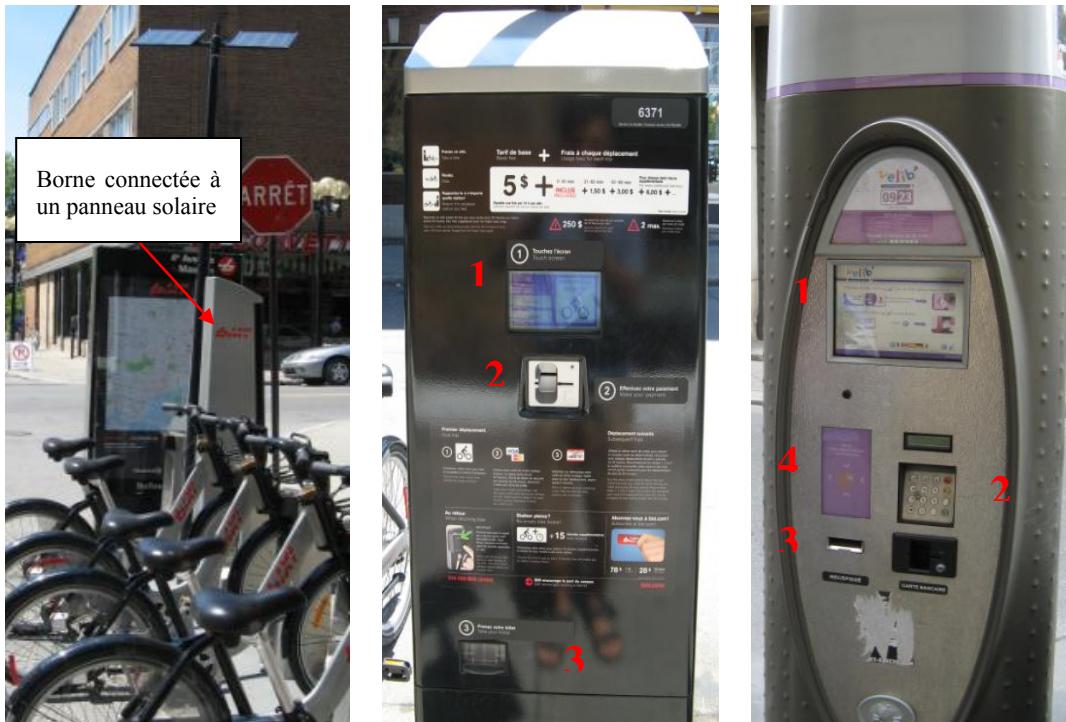


Figure 10-5 : Exemples de borne transactionnelle (BIXI et Vélib')

Exemple du point d'ancrage des stations BIXI :

- Dans le cas du programme BIXI, les points d'ancrage contiennent chacun un bouton pour signaler à l'opérateur qu'un vélo nécessite un entretien (1), un système de voyants lumineux pour signaler l'état du point d'ancrage (2), un clavier permettant de taper le code de déverrouillage de la bicyclette (3) et enfin un lecteur de carte pour les abonnés (4).



Figure 10-6 : Exemple d'un point d'ancrage de la station BIXI

Exemple de vélos :



Figure 10-7 : Trois types de vélos : DB Bahn (Berlin), BIXI (Montréal), Vélib' (Paris)

ANNEXE 6 – Les principaux coûts de déploiement des programmes de vélopartage

Dans le fonctionnement d'un système de vélopartage, il faut distinguer les coûts d'investissement initiaux, aussi appelés coûts de lancement, des coûts d'exploitation annuels permettant l'entretien et la préservation du réseau dans un état favorable à son développement.

Les coûts de lancement

Tout d'abord, en ce qui a trait aux coûts initiaux de lancement, les informations divulguées par plusieurs dirigeants de JCDecaux, l'un des plus grands opérateurs de vélopartage, permettent d'estimer à 90 millions d'euros (114 000 000 \$CAN) les coûts de lancement du programme Vélib' de Paris (Nadal, 2007). Avec un réseau de 20 600 bicyclettes en service au moment du déploiement, il apparaît que l'investissement initial était de l'ordre de 5550 \$CAN par vélo. Pour le programme Vélo'V, également géré par JCDecaux, une autre source mentionne que les coûts de lancement ont été de l'ordre de 2500 à 3000 euros par vélo (3 150 \$CAN à 3 800 \$CAN) (Gerdil, 2009). Par ailleurs, la ville de Minneapolis, au Minnesota, a également lancé un programme de vélopartage. Le réseau, disponible à partir du 10 juin 2010 et géré par un organisme à but non lucratif, a divulgué les détails de l'ensemble de son plan d'affaires. Il ressort alors que l'investissement initial sera de 3 387 000 \$US (3 562 000 \$CAN) pour un réseau de 1000 bicyclettes, soit près de 4 273\$US (\$CAN) par vélo (Dossett, et al., 2008). Ces coûts sont répartis en trois grandes catégories :

- 3 200 000 \$US (3 365 000 \$CAN) pour la fabrication des stations et bicyclettes (94 %)
- 106 000 \$US (111 500 \$CAN) pour le matériel d'entretien et la promotion (3 %)
- 80 000 \$US (84 000 \$CAN) pour les salaires et l'administration du système (2 %)

Il est intéressant de souligner que ce déploiement repose sur l'utilisation de plateformes portatives ne nécessitant aucun travail lourd de construction. Ceci pourrait expliquer une partie de l'écart de coût avec les programmes comme Vélib'.

Les coûts d'exploitation

Ensuite, concernant les coûts d'exploitation annuels, d'après une recherche effectuée pour la commission européenne, les coûts d'exploitation des bicyclettes du programme Vélo'V (JCDecaux) et de son concurrent Clear Channel dans le programme Vélo à la Carte (Rennes) se

situeraient autour de 1000 euros par vélo par année (1300 \$CAN) (Bührmann, 2008; Nadal, 2007). Cependant, ces résultats sont contestables puisqu'un autre document provenant d'une étude du gouvernement espagnol établirait les coûts d'entretien pour ces programmes entre 1400 et 3900 euros (1800 \$CAN et 5000\$CAN) (IDAE, (2007)). Enfin, dans le plan d'affaires du programme *NiceRide* de Minneapolis, les coûts d'exploitation provisionnelle sont de 1 574 000 \$US (2 000 000 \$CAN) pour l'ensemble de la flotte. Ceci donnerait un ratio de l'ordre de 2000\$ par bicyclette, par an (Dossett, et al., 2008). Il apparaît alors clairement que les coûts engendrés par un tel projet nécessitent d'obtenir d'importantes sources de financement. C'est pour cette raison qu'une très forte majorité de municipalités ont recours à des partenariats public-privé.

ANNEXE 7 – Les différents types d’organisme de vélopartage

Les organismes gouvernementaux

Dans le cas des organismes gouvernementaux, le programme de vélopartage est entièrement organisé, implanté puis géré par la municipalité. La ville peut alors gérer le programme comme n’importe quel autre programme de transport établi sous sa juridiction. Un des avantages majeurs dans ce type d’organisation vient du fait que la ville contrôle totalement le projet et peut allouer différentes ressources suivant les phases du projet. En revanche, l’ensemble des frais d’exploitation et d’entretien pour assurer la pérennité du projet est à la charge de la ville. Par conséquent, dans le cas de dégradations majeures, la municipalité pourrait faire face à des coûts d’exploitation très importants. Enfin, il faut remarquer que dans ce type d’organisation, la ville ne bénéficie d’aucun savoir-faire dans le domaine et donc plusieurs erreurs de planification ou encore d’estimation peuvent être commises, ce qui ne serait pas le cas d’une société avec de l’expertise sur ce marché. Pour terminer et à titre d’exemple, la ville de Burgos en Espagne exploite un système de vélopartage totalement géré par la municipalité (CIVITAS, 2009).

Les agences de transport

L’objectif de ce type d’arrangement est de confier à une des agences de transport de la ville la responsabilité de mener à bien le projet. Dans la plupart des cas, l’agence de transport reçoit de la municipalité une subvention pour instaurer le système (Shaheen, et al., 2010). L’avantage majeur est issu de l’utilisation de toute l’expertise d’une agence de transport pour ce qui a trait à la planification et à l’optimisation du service (De Maio, 2009). L’agence prend en charge le service de vélopartage comme tous les services qu’elle développe. Compte tenu de ce partenariat, il est aussi facile pour l’agence de transport de mettre en place des tarifs attrayants pour augmenter la multimodalité des déplacements. À titre d’exemple, la société Deutsche Bahn (Call a Bike en Allemagne) ou encore la société Public Bicycle (en Chine) sont des agences de transport responsables de l’instauration des programmes (DB Bahn, 2010; Hangzhou Bicycle Public, 2010).

Les universités

Comme mentionnées dans l’historique du vélopartage, plusieurs universités sont parmi les pionnières dans la mise en place de système de vélopartage comme c’est le cas de l’Université de

Portsmouth en Angleterre (De Maio, 2008) ou encore de l'Université Saint-Xavier de Chicago (CityRyde, 2010). De même, l'Université de Montréal a mis en place un programme de vélos en libre-service pendant l'été 2006. Lorsque les programmes sont gérés par des universités, ils sont très souvent déployés à moins grande échelle. L'idée est de proposer aux étudiants un moyen de se déplacer rapidement sur les campus. D'ailleurs, les universités exploitent rarement un service hors de leur juridiction car hors des limites du campus, des autorisations d'exploitation d'un système de transport sont nécessaires (De Maio, 2003).

Les associations et organismes à but non lucratif

Les premiers systèmes de vélopartage ont très souvent été mis en place et autogéré par des associations, collectifs ou encore fondations regroupant des personnes voulant proposer une alternative de transport. Les problèmes auxquels font face tous ces types d'organismes sont les montants considérables et indispensables pour assurer l'exploitation des programmes. Plusieurs cas de figure ont existé afin de permettre aux associations de trouver des subventions pour diriger un plan de vélopartage. Par exemple, le programme *Bycyklen København* à Copenhague, géré par une association à but non lucratif, propose aux entreprises de déposer leur logo sur la surface des roues des vélos afin d'assurer le financement de son système. De cette manière, les entreprises subventionnent le système tout en obtenant un espace de publicité (Bycyklen København, 2009b). Dans un autre cas de figure, le programme *NiceRide* à Minneapolis est sous la responsabilité de la fondation *City of Lakes Nordic Ski Fondation*. L'argent de la fondation, ainsi que des subventions de commanditaires (de sport notamment) et du gouvernement fédéral vont permettre de financer le projet (Dossett, et al., 2008). Lorsque la gestion du réseau est sous la responsabilité d'un organisme sans but lucratif, il en résulte des avantages pour les utilisateurs. En effet, ce sont généralement des organismes engagés sur le développement durable ou encore prônant des alternatives de transport. Ainsi, les intérêts des utilisateurs sont privilégiés à la rentabilité ou au profit du système. Les usagers ont alors accès à un service de qualité moyennant des tarifs extrêmement compétitifs.

Les organismes privés

Les organismes privés ayant les capacités d'instaurer un réseau de vélos en libre-service sont divisés en deux catégories : les sociétés publicitaires et les autres sociétés privées. Toutes catégories confondues, les principaux organismes présents sur le marché sont : JCDecaux, Clear

Channel Outdoor, Cemusa, B-Cycle et Veolia Transportation (Ericson & Meinzer, 2009). Il faut noter que dans plusieurs programmes, le système est mis en place à la suite d'un partenariat entre le privé et le public (PPP).

Les sociétés publicitaires :

Dans ce cas de figure, la municipalité décide de soumissionner l'exploitation du système de bicyclettes en libre service à une grande entreprise publicitaire. À travers ce contrat, l'entreprise publicitaire s'engage à mener les études, à mettre en place le réseau et à gérer l'exploitation, en échange d'espaces publicitaires offerts par la ville (panneaux, kiosques, côtés des autobus...). Dans la plupart des déploiements à grande échelle, l'entreprise et la municipalité se partagent les responsabilités et les bénéfices du système. Ainsi, ce moyen de financement est particulièrement intéressant pour les villes puisque l'entreprise prend en charge une très large majorité (voire même l'intégralité) des frais de lancement et d'exploitation. Il s'agit d'un type de financement alternatif pouvant permettre de développer de nouveaux modes de transport sans avoir à piquer dans les réserves municipales. Néanmoins, la ville se prive de recettes publicitaires, ce qui a tout de même un coût (Gris Orange Consultant, 2009).

Actuellement, les deux plus grandes entreprises publicitaires se partageant le marché européen sont JCDecaux et Clear Channel Outdoor. JCDecaux a développé le modèle de bicyclette baptisé « *Cyclocity®* » et gère notamment les réseaux de Lyon (Vélo'V), de Paris (Vélib') ainsi qu'une vingtaine d'autres réseaux en France, en Irlande, en Belgique, au Luxembourg, en Norvège, en Autriche et en Espagne, pour un total de 67 villes. À l'heure actuelle, c'est l'entreprise qui dispose du plus grand nombre de bicyclettes en circulation. Le concurrent direct est Clear Channel Outdoor, avec son modèle « *smartbike* », qui gère le réseau de Barcelone (Bicing), d'Italie (Biccincittà), de Washington D.C. (smartbike D.C) et d'une quinzaine d'autres réseaux en France, en Norvège, en Suède et en Espagne.

Les autres sociétés :

Le dernier type d'organisation concerne l'ensemble des entreprises privées s'étant spécialisées dans le domaine des vélos en libre-service. Il faut savoir qu'à l'heure actuelle ces types d'organisation ne représentent qu'une petite partie des contrats attribués. En outre, une des difficultés majeures résulte des importants coûts de lancement et de l'incertitude des retombées économiques à court et moyen terme.

ANNEXE 8 – Évaluation du potentiel du vélo

Tableau 10-2 : Résultats de l'évaluation du potentiel du vélo par cohorte d'âge

Cohorte d'âge		Dépl. en auto	Critère 1	Critère 2	Critère 3	Critère 4	Critère 5	TOTAL
Homme	4-12 ans	67 760	37 440	37 440	37 260	18 280	18 210	18 210
	13-17 ans	29 800	13 300	13 300	13 290	6 900	6 850	6 850
	18-44 ans	471 280	253 050	253 050	250 080	92 230	92 210	92 210
	45-59 ans	295 670	162 860	162 860	161 570	58 370	58 370	58 370
	60 ans et +	190 630	102 760	102 760	102 070	34 970	34 930	34 930
	Sous-total	1 055 140	569 410	569 410	564 270	210 750	210 570	210 570
Femme	4-12 ans	62 550	27 040	27 040	26 860	12 960	12 840	12 840
	13-17 ans	37 860	14 150	14 150	14 070	6 920	6 870	6 870
	18-44 ans	440 610	225 730	225 730	224 210	81 250	81 030	81 030
	45-59 ans	276 870	156 330	156 330	155 600	56 660	56 640	56 640
	60 ans et +	180 890	64 520	64 520	63 990	19 940	19 630	19 630
	Sous-total	998 780	487 770	487 770	484 730	164 770	164 170	164 170
TOTAL		2 053 920	1 057 180	1 057 180	1 049 000	375 520	374 740	374 740

Tableau 10-3 : Résultats de l'évaluation du potentiel du vélo en incluant tous les critères

Cohorte d'âge		Dépl. automobile	Critère 1	Critère 2	Critère 3	Critère 4	Critère 5	TOTAL
Homme	4-12 ans	67 760	55.3 %	55.3 %	55.0 %	27.0 %	26.9 %	26.9 %
	13-17 ans	29 800	44.6 %	44.6 %	44.6 %	23.2 %	23.0 %	23.0 %
	18-44 ans	471 280	53.7 %	53.7 %	53.1 %	19.6 %	19.6 %	19.6 %
	45-59 ans	295 670	55.1 %	55.1 %	54.6 %	19.7 %	19.7 %	19.7 %
	60 ans et +	190 630	53.9 %	53.9 %	53.5 %	18.3 %	18.3 %	18.3 %
	Sous-total	1 055 140	54.0 %	54.0 %	53.5 %	20.0 %	20.0 %	20.0 %
Femme	4-12 ans	62 550	43.2 %	43.2 %	42.9 %	20.7 %	20.5 %	20.5 %
	13-17 ans	37 860	37.4 %	37.4 %	37.2 %	18.3 %	18.1 %	18.1 %
	18-44 ans	440 610	51.2 %	51.2 %	50.9 %	18.4 %	18.4 %	18.4 %
	45-59 ans	276 870	56.5 %	56.5 %	56.2 %	20.5 %	20.5 %	20.5 %
	60 ans et +	180 890	35.7 %	35.7 %	35.4 %	11.0 %	10.9 %	10.9 %
	Sous-total	998 780	48.8 %	48.8 %	48.5 %	16.5 %	16.4 %	16.4 %
TOTAL		2 053 920	51.5 %	51.5 %	51.1 %	18.3 %	18.2 %	18.2 %

ANNEXE 9 – Stations problématiques pour le calcul des vitesses**Tableau 10-4: Stations à l'origine de déplacements de plus de 45 km/h**

Stations	Nb enregistrements >45km/h
132	2 431
127	700
287	651
128	636
234	605
103	555
281	505
131	440
282	426
286	402
239	407
TOTAL	7 758