

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Déplacements par taxi : caractérisation et étude de compétitivité

YVES DARLY MATHIEU

Département des Génie Civil, Géologique et des Mines

Mémoire

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

Génie Civil

Août 2020

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé:

Déplacements par taxi : caractérisation et études de compétitivité

présenté par

Yves Darly MATHIEU

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

a été dûment accepté par le jury

d'examen constitué de :

Geneviève BOISJOLY, présidente

Martin TRÉPANIÉR, membre

Catherine MORENCY, membre et directrice de recherche

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Prof. Catherine Morency, ma directrice de recherche, qui m'a donné cette opportunité et qui a su me guider, me conseiller et développer mon esprit critique, dans un domaine si politisé. A travers son enseignement et sa passion, elle a su m'acclimater et me sensibiliser aux enjeux d'une planification des transports efficace.

Je voudrais souligner le travail hors-pair et l'assistance pourvue par les associés de recherche, dans les personnes de Pierre-Leo Bourbonnais, Hubert Verreault, Jean-Simon Bourdeau et Brigitte Milord. L'atmosphère au local n'aurait pas été la même sans mes collègues à la maîtrise et au doctorat, qui ont su me prodiguer des conseils, encouragements et des moments inoubliables. De ce fait, je n'oublie pas mes collègues expérimentés qui ont su m'inspirer, tel que Gabriel Lefebvre-Ropars, Jérôme Laviolette, Elodie Deschaintres, Laurent-David Beaulieu, Mohamed Khachman, Gregory Wielinsky et Hamzeh Alizadeh. Je voudrais prendre un moment pour remémorer les moments sympathiques, au bureau, qui ont su ensoleiller mon parcours à Polytechnique Montréal. Je reconnais les contributions de certains noms à cet effet : Charles Michaud, Simon Lepage, Yann Jeudy, Vincent Chabin, Judith Mageau-Béland, Lea Fabre, Marc-Antoine Gauthier, Julien Douville, Anjeli Narrainen, Asad Yarahmadi, Hamed Alizadeh, Lionel Janvier, Etienne Beauchamp et d'autres collègues.

Je tiens à mentionner l'importance de mon unité familiale, dans la personne de ma mère, mon père et ma sœur à Ottawa, et de ma famille élargie et éparpillée autour du globe, dans la complétion de ce projet. Je voudrais souligner mes amis et ma communauté de foi pour tous les encouragements, les exhortations et surtout les sorties/*chillings* entre amis pour décompresser.

Finalement, je tiens à remercier formellement le Bureau du Taxi de Montréal et Revenu Québec pour le financement pourvu et Taxi Diamond pour le partage de données pour fins de recherche.

RÉSUMÉ

À l'aube de l'arrivée de nouvelles technologies de mobilité (Transportation Network Companies (*TNC*), micromobilité, Mobility as a service (*MaaS*)), la part de marché du taxi dans la mobilité quotidienne est une question d'importance dans une optique de planification métropolitaine. De ce fait, avec l'introduction d'UBER à Montréal, en 2016, la réflexion autour de la compétitivité du taxi et de ses alternatives est encore plus pertinente. Ainsi, certains enjeux existent face aux méthodes d'évaluation de la performance de ce mode de transport par rapport à ses concurrents. Le défi d'évaluer l'adéquation entre l'offre et de la demande se présente également. Ce projet de recherche s'inscrit dans une thématique plus large traitant de l'élaboration d'indicateurs de suivi de l'industrie du taxi à Montréal. Ainsi, il sert de continuité aux travaux de Lacombe (2016) et de Laviolette (2017). En revanche, ce projet s'attarde à cibler les déterminants de la demande de déplacements par taxi, sous la perspective de la compétitivité de ce mode par rapport aux alternatives. Trois objectifs sous-jacents tentent de proposer des éléments de réponse à cette problématique.

- Caractériser les attributs des diverses alternatives des modes disponibles aux origines et destinations des courses (déplacements) de taxi ;
- Développer des indicateurs de compétitivité des déplacements par taxi par rapport à d'autres modes ;
- Élaborer un modèle explicatif de la compétitivité des courses commandées de taxi, n'ayant que le transport collectif comme alternative ;

Dans le but de cerner les enjeux principaux de la problématique, une revue de littérature s'axe sur les aspects fondamentaux de la demande en déplacement par taxi. D'emblée, les fondements historiques du taxi sont introduits. Par la suite, un inventaire des différentes variables ayant un impact sur la demande de déplacements par taxi et la probabilité de le choisir pour faire un déplacement est proposé. De même, les différentes approches de modélisation sont relatées. Cette revue littéraire se conclut par une discussion sur l'estimation du coût généralisé d'un déplacement par taxi.

De ce fait, une procédure méthodologique est explicitée, traitant de la validation et de l'enrichissement d'une base de données de courses de taxi, en vue de permettre la réalisation d'une analyse de compétitivité du taxi. Une mise en contexte permet de situer le cadre spatio-temporel de l'étude sur l'île de Montréal, lors du mois de septembre 2016. Les règles de disponibilité des alternatives sont définies lors de ce processus.

L'essentiel de ce mémoire se cadre sur l'analyse de la demande en déplacement, de la disponibilité des alternatives et de la compétitivité des courses de taxi. Ces analyses permettent d'approfondir les connaissances sur la part de marché du taxi dans la mobilité quotidienne, selon la fenêtre temporelle définie. De ce fait, découlant des faits saillants de la demande en déplacements par taxi en septembre 2016, les propriétés des déplacements les plus fréquents se définissent par une longueur se comprenant dans l'intervalle [1-2 km [, une durée de course entre [6-7 min [et un coût monétaire entre [6 \$ - 8 \$]. De plus, il a été estimé que 53% des courses de taxi sont hélées et que les temps d'attente les plus fréquents, pour les courses commandées, se situent à 4,6 min. Les secteurs municipaux aux extrémités de l'île sont les plus pénalisés, compte tenu de leur temps d'attente moyen plus élevé.

L'analyse de disponibilité des alternatives révèle que le vélo personnel et le vélopartage sont les alternatives les plus fréquemment disponibles, lors de la réalisation de plus de 70% des courses de taxi. Ainsi, la combinaison qui la plus fréquente, dans la quantification des combinaisons d'alternatives, est celle qui combine à la fois le vélopartage, les véhicules en libre-service et le vélo personnel.

Par surcroît, en ne considérant que les alternatives vélo, TC et marche et les courses de taxi commandées, une analyse de compétitivité, orchestrée par combinaison d'alternatives, permet de décrire différentes classes de courses. Dans l'ensemble, 33% des courses de taxi n'ont que le vélo comme alternative. Ainsi, la nuit caractérise les classes de courses n'ayant que le vélo comme alternative ou aucune alternative. Il est estimé qu'une combinaison de vélo et de transport collectif est disponible pour 75% des courses commandées. Une hiérarchie des longueurs de courses de taxi segmente les combinaisons d'alternatives telles que caractéristiques des courses courtes ($\leq 1,3$ km), moyennes ([2,0-4,4 km]) et longues ([6,2-14,7 km). Enfin, des heures de départ favorables à l'utilisation du taxi ont été identifiées pour les classes de courses commandées, impliquant les modes vélo et TC dans leurs combinaisons d'alternatives. Il a été conclu que le taxi est plus attractif

aux plages horaires s'inscrivant respectivement entre 4h-8h et entre 17h-23h (seulement sur la base du temps de déplacement).

En vue de cerner des facteurs favorables à l'utilisation du taxi à Montréal, un modèle par régression linéaire est élaboré, pour la classe de courses commandées n'ayant que le transport collectif pour alternative. Les facteurs les plus déterminants de la compétitivité du taxi avec le transport collectif sont la période de la nuit, la présence d'une destination de course à Montréal-Ouest, une forte proportion de segments TC à bord du bus et un fort éloignement de la destination de la course par rapport au centre-ville.

Plusieurs ouvertures se présentent pour l'avancement des connaissances sur la planification de la demande du taxi. Une telle étude peut être répliquée pour étudier la compétitivité du temps de déplacement en taxi par rapport à celui offert par les nouvelles offres de micromobilité. Ainsi, avec le déploiement d'une enquête client ou l'usage d'une population synthétique permettra une analyse plus minutieuse des déterminants de la demande et le calibrage d'un modèle de choix modal.

ABSTRACT

At the dawn of the arrival of new mobility technologies (Transportation Network Companies (*TNC*), micromobility, Mobility as a service (*MaaS*)), the market share of the taxi in urban mobility is a matter of importance in strategic planning. As a result, with the introduction of UBER in Montreal in 2016, thinking about the competitiveness of the taxi and its alternatives is even more relevant. Thus, certain challenges exist in the face of methods for monitoring the performance of this mode among its competitors. Along these lines lies the challenge of evaluating the supply-demand balance. This research project is part of a broader program dealing with the development of indicators to monitor the taxi industry in Montreal. Thus, it serves as a continuity to the work of Lacombe (2016) and Laviolette (2017). On the other hand, this project is focusing on targeting the determinants of taxi trip demand, from the perspective of the competitiveness of this mode with respect to its alternatives. Three underlying objectives make it possible to provide insights into this problem.

- Characterize the attributes of the various alternatives of the available modes, at the origins and destinations of taxi trips;
- Develop taxi trips competitiveness indices, in comparison with other modes;
- Develop an explanatory model of the competitiveness of dispatched taxi trips, with only transit as an alternative.

In order to identify the main issues, a literature review focuses on the fundamental aspects of taxi travel demand. From the outset, the historical foundations of the taxi are introduced. Subsequently, an inventory of the various variables having an impact on taxi travel demand and probability of choosing taxi for a trip is proposed. Similarly, the different modeling approaches are reported. This literary review concludes with a discussion on the estimation of the generalized cost for taxi trips.

As a result, a methodological procedure is explained, dealing with the validation and enrichment of a taxi trip database, in order to analyze the competitiveness of taxi trips. A contextualization allows to locate the space-time framework of the study on the island of Montreal, during the month of September 2016. The rules of availability of the alternatives are defined during this process.

Most of this thesis is based on the analysis of travel demand, the availability of alternatives and the competitiveness of taxi trips. These analyzes allow to deepen the knowledge on the market share of taxi, according to the defined time window. Therefore, arising from the highlights of the demand for taxi trips in September 2016, the properties of the most frequent trips are defined by a length, comprised within the interval [1-2 km[, a travel time between [6-7 min[and a monetary cost between [\$6 - \$8]. In addition, it has been estimated that 53% of taxi trips are hailed and that the most frequent waiting times for dispatched trips are 4.6 min long. The municipal sectors at the ends of the island of Montreal are the most disadvantaged, given their average waiting time.

An analysis of the availability of alternatives reveals that personal bicycles and bikesharing were the most frequent alternatives, for more than 70% of taxi trips. Therefore, the combination that surfaced the most, when quantifying alternative combinations, was the one that included bikesharing, free-floating cars and cycling.

In addition, while considering only cycling, transit and walking alternatives and dispatched trips, a competitiveness analysis, segmented by combination of alternatives, makes it possible to describe several trip classes. Overall, 33% of taxi trips had only cycling as an alternative. The night period therefore characterizes trips subsets having only cycling as an alternative or no alternative. It is estimated that a combination of cycling and transit was available for 75% of the dispatched trips. A hierarchy of taxi trip lengths segmented the combinations of alternatives, such as those associated with short (≤ 1.3 km), medium ([2.0-4.4 km]) and long ([6.2-14.7 km) trips. Lastly, trip start times for which taxi usage would be favourable were identified for dispatched trips classes with combinations of alternatives involving public transit and cycling. It was concluded that the taxi is more attractive during those following periods : 4 a.m - 8 a.m and 5 p.m – 11 p.m.

In conclusion, in order to identify explanatory factors for the favourable use of the taxi in Montreal, a linear regression model is developed, using the enriched taxi trip database, for the subset of dispatched trips, having only transit as an alternative. The most determining factors of the competitiveness of the taxi with public transport are night time, distance to city center, taxi trip end in the region of Montreal-West, and high proportion of transit segments aboard buses.

Several openings are presented for the advancement of knowledge on taxi demand. Such a study could be replicated to study the competitiveness of taxi travel time compared to that offered by

new micromobility options. Thus, with the deployment of a customer survey or the use of a synthetic population would allow a more careful analysis of the determinants of demand and the calibration of a modal choice model.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	III
RÉSUMÉ.....	IV
ABSTRACT	VII
TABLE DES MATIERES	X
LISTE DES TABLEAUX.....	XIV
LISTE DES FIGURES.....	XVI
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XVIII
LISTE DES ANNEXES.....	XIX
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Problématique.....	1
1.2 Objectifs	2
1.3 Structure du mémoire	3
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE.....	5
2.1 Historique de la compétitivité du mode taxi	5
2.2 Modélisation de la demande en taxi	8
2.2.1 Facteurs déterminants de la demande en déplacement par taxi	8
2.2.2 Modèles de prévision de la demande en taxi.....	15
2.3 Coût généralisé de déplacement	18
2.3.1 Variables de la fonction du cout généralisé	19
2.3.2 Notion et estimation de la compétitivité	23
2.4 Synthèse de la revue de littérature.....	25
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE ET DONNÉES	26
3.1 Concepts clés.....	26

3.2	Description de l'étude de cas	27
3.3	Méthodologie générale	27
3.4	Sources de données	28
3.4.1	Données des courses de taxi.....	29
3.4.2	Méthodologie de calcul de chemin.....	30
3.5	Validation des courses brutes.....	31
3.5.1	Pré-filtrage des reconstitutions des courses	31
3.5.2	Second filtrage.....	31
3.5.3	Analyse descriptive du filtrage.....	33
3.6	Enrichissement de la base de courses de taxi	35
3.6.1	Faisabilité d'un déplacement TC.....	36
3.6.2	Faisabilité d'un déplacement vélopartage et VLS.....	39
3.6.3	Formulation des temps estimés de déplacement	39
3.6.4	Calcul du ratio de compétitivité	39
3.6.5	Récapitulatif des règles de faisabilité des déplacements alternatifs.....	40
CHAPITRE 4 FAITS SAILLANTS DE LA DEMANDE EN TAXI		42
4.1	Demande journalière et horaire	42
4.2	Usages dominants à l'origine et à la destination	45
4.3	Distances parcourues.....	48
4.4	Durées de courses.....	50
4.5	Évolution du coût monétaire de la course	53
4.6	Temps d'attente pour un taxi.....	55
CHAPITRE 5 ANALYSE DE DISPONIBILITÉ D'ALTERNATIVES		58
5.1	Disponibilité unimodale et multimodale	58

5.2	Variabilité temporelle.....	60
5.3	Variabilité spatiale des alternatives aux origines et destinations	64
CHAPITRE 6 ANALYSE DE COMPÉTITIVITÉ PAR CLASSES.....		72
6.1	Portrait des classes de courses à l'étude.....	72
6.2	Occurrence des classes de courses selon l'heure	73
6.3	Longueurs caractéristiques des différentes classes de courses.....	75
6.4	Séquence de modes TC par classe de courses.....	78
6.5	Analyse des composantes du temps de déplacement par classe.....	80
6.5.1	Temps en véhicule type.....	80
6.5.2	Temps d'accès TC type à l'origine	83
6.6	Analyse par ratio de compétitivité	84
6.6.1	Distribution fréquentielle des ratios de compétitivité par classe.....	85
6.6.2	Variations selon l'heure de départ.....	87
6.6.3	Variations selon la longueur de la course.....	90
6.7	Synthèse de l'analyse de compétitivité	94
CHAPITRE 7 MODÉLISATION DE LA COMPÉTITIVITÉ.....		95
7.1	Données utilisées.....	95
7.2	Caractérisation spatiale du ratio de compétitivité TC-taxi.....	97
7.3	Méthodologie de l'analyse de régression	100
7.4	Analyse de corrélation.....	101
7.5	Estimation d'un modèle explicatif par régression linéaire.....	105
CHAPITRE 8 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....		108
8.1	Synthèse de la recherche	108
8.2	Contributions.....	111

8.3	Limitations	113
8.4	Perspectives	115
	RÉFÉRENCES	116
	ANNEXE A.....	122
	ANNEXE B.....	124
	ANNEXE C.....	128

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 Spectre des modes privés et parallèles	7
Tableau 2.2 Déterminants du choix modal taxi et impacts	13
Tableau 2.3 Attributs des autres modes et impact sur le choix modal taxi	14
Tableau 3.1 Champs des données taxi	29
Tableau 3.2 Test de Welch sur les longueurs moyennes journalières.....	34
Tableau 3.3 Sommaire de la validation	35
Tableau 3.4 Champs de caractérisation du déplacement taxi.....	35
Tableau 3.5 Champ de la caractérisation des autres alternatives	41
Tableau 4.1 Distribution journalière de la demande par type de course (1000 Taxis).....	43
Tableau 4.2 Proportions des usages dominants aux origines et destinations (Commandées).....	47
Tableau 4.3 Proportions des usages dominants aux origines et destinations (Hélée)	48
Tableau 4.4 P-values des tests d'égalité des durées moyennes journalières	52
Tableau 5.1 Analyse de la disponibilité unimodale et multimodale (septembre 2016)	59
Tableau 5.2 Combinaison d'alternatives aux extrémités (septembre 2016).....	59
Tableau 5.3 Proportions de courses selon le nombre d'alternatives disponibles	60
Tableau 5.4 Part des alternatives au taxi selon les périodes de la journée	63
Tableau 5.5 Les 10 combinaisons plus fréquentes	71
Tableau 6.1 Sommaire des classes de courses	73
Tableau 6.2 Longueurs des courses de taxi selon les classes de courses	76
Tableau 6.3 Longueurs équivalentes à la marche et à vélo par classes.....	78
Tableau 6.4 Fréquence du nombre de segments de transport en commun par classes	79
Tableau 6.5 Séquences de modes TC les plus fréquentes par classes.....	79
Tableau 6.6 Durée des courses hélées et commandées par classes	81

Tableau 6.7 Temps en véhicule équivalents en TC par classe	82
Tableau 6.8 Différences statistiques des temps en véhicule par mode	83
Tableau 6.9 Sommaire statistique des temps d'accès à l'origine par combinaison.....	84
Tableau 6.10 Description sommaire des classes de courses	94
Tableau 7.1 Variables explicatives à l'étude	96
Tableau 7.2 Classes de coefficients de corrélation	101
Tableau 7.3 Sommaire statistique des variables à l'étude	102
Tableau 7.4 Matrice de corrélation entre les variables.....	103
Tableau 7.5 Matrice de corrélation entre les variables (suite)	104
Tableau 7.6 Modèle explicatif de la compétitivité du taxi sur le TC (Classe C1)	107

LISTE DES FIGURES

Figure 3.1 Schéma méthodologique.....	28
Figure 3.2 Différentes alternatives sur l'île de Montréal.....	32
Figure 3.3 Distributions fréquentielles des longueurs de courses (non valides et validées).....	33
Figure 3.4 Distributions fréquentielles des heures de départ (non valides et validées)	34
Figure 3.5 Détermination d'un seuil de décalage des heures de départ.....	36
Figure 3.6 Scénarios de décalage entre les heures de départ du TC et du taxi	37
Figure 3.7 Distribution fréquentielle du temps d'accès (origine et destination).....	38
Figure 3.8 Schéma conceptuel de la caractérisation des alternatives.....	41
Figure 4.1 Proportions horaires des courses commandées par jour	44
Figure 4.2 Proportions horaires des courses hélées par jour	45
Figure 4.3 <i>Schéma d'aménagement et de développement (PMAD)</i>	46
Figure 4.4 Distribution des longueurs des courses de taxi par type (commandée vs hélée).....	49
Figure 4.5 Longueur moyenne horaire des courses commandées et hélées.....	50
Figure 4.6 Distribution fréquentielle des durées de courses par type	51
Figure 4.7 Durée moyenne horaire des courses commandées par jour.....	51
Figure 4.8 Durées moyennes horaire des courses hélées par jour.....	52
Figure 4.9 Distribution fréquentielle des prix de courses	54
Figure 4.10 Prix moyen horaire par type de course	55
Figure 4.11 Distribution fréquentielle du temps d'attente (courses commandées)	56
Figure 4.12 Temps d'attente horaire (courses commandées)	57
Figure 5.1 Distribution journalière de la disponibilité des alternatives (Courses commandées) ...	61
Figure 5.2 Distribution horaire de la disponibilité des alternatives (Courses hélées).....	61
Figure 5.3 Distribution horaire des courses commandées selon le nombre d'alternatives	62

Figure 5.4 Distribution horaire des courses hélées selon le nombre d'alternatives	62
Figure 5.5 Origines par alternative des courses hélées (a) et commandées (b) (septembre 2016)	65
Figure 5.6 Destinations par nombre d'alternatives des courses hélées (a) et commandées (b).....	66
Figure 5.7 Densité des courses aux origines (Hélées – 1 ou 2 alternatives, entre 4h et 6h)	67
Figure 5.8 Densité des courses aux destinations (Hélées – 1 ou 2 alternatives, entre 4h et 6h) ...	68
Figure 5.9 Quantification des alternatives pour les courses hélées.....	69
Figure 5.10 Quantification des alternatives pour les courses commandées	70
Figure 6.1 Évolution horaire de la part des courses commandées par classes	74
Figure 6.2 Évolution horaire de la part des courses hélées par classes	75
Figure 6.3 Distribution des longueurs de courses de taxi par classes	77
Figure 6.4 Distribution fréquentielle des temps en véhicule en taxi par combinaison	82
Figure 6.5 Sommaire statistique des ratios de compétitivité par classe	86
Figure 6.6 Distributions fréquentielles des ratios de compétitivité par classe de courses	87
Figure 6.7 Évolution horaire des ratios de compétitivité TC-Taxi par classe.....	88
Figure 6.8 Évolution horaire des ratios de compétitivité vélo-taxi par classe	89
Figure 6.9 Évolution des ratios de compétitivité marche-taxi par classe.....	90
Figure 6.10 Ratio moyen de compétitivité (C1).....	90
Figure 6.11 Ratio moyen de compétitivité (C3).....	91
Figure 6.12 Ratios moyens de compétitivité (C5).....	92
Figure 6.13 Ratios moyens de compétitivité (C6).....	93
Figure 6.14 Ratios moyens de compétitivité (C7).....	93
Figure 7.1 Zones favorables à l'utilisation du TC et du taxi (Origine).....	98
Figure 7.2 Zones favorables à l'utilisation du TC et du taxi (Destination).....	99
Figure 7.3 Résidus du modèle	105

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

La liste des sigles et abréviations présente, dans l'ordre alphabétique, les sigles et abréviations utilisés dans le mémoire ainsi que leur signification. En voici quelques exemples :

API	Application Programming Interface
GES	Gaz à effets de serre
MaaS	Mobility as a service
MMNL	Multinomial Logit Mixte
MNL	Multinomial Logit
OSRM	Open Source Routing Machine
O-D	Origine-Destination
PPAM	Pointe du Matin
PPPM	Pointe de l'après-midi
REM	Réseau Express Métropolitain
STM	Société de Transport de Montréal
VLS	Véhicule en libre-service
TC	Transport Collectif
TNC	Transportation Network Companies
TX	Taxi
X^2	Chi Carré

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A Densité des courses de taxi	122
ANNEXE B Durées interpolées des courses de taxi.....	124
ANNEXE C Temps d'attente moyen pour un taxi par secteur municipal	128

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

Le mode taxi s'inscrit dans la classe des modes parallèles, car il offre un service de transport porte-à-porte, qui peut comporter 1 ou plusieurs passagers, par déplacement. Ce mode relativement ancien, dont les origines remontent au 19^e siècle, fait partie des diverses options des usagers montréalais pour un déplacement vers le lieu d'activité.

Il est important de noter qu'en 2017, l'industrie du taxi, à Montréal, connaît une modernisation majeure, avec l'intégration du Registre du Taxi, par le Bureau du Taxi de Montréal. Ainsi, toutes les données de géolocalisation, en temps réel, des différents véhicules répertoriés chez les différents intermédiaires de la flotte de taxi (ainsi que les propriétaires indépendants de permis de taxis), doivent être soumise et uniformisées. À l'issue de l'avancée globale et récente des recherches effectuées dans le domaine de l'industrie du taxi, un influx de données inexploitées est très prometteur pour mieux approfondir la caractérisation de la demande en déplacements par taxi.

1.1 Problématique

Présentement, l'industrie du taxi subit une expansion, accentuée par l'ascension et la popularisation du « ridesourcing » ou *Transportation Network Companies* (TNC) tel qu'UBER. Rares sont les outils permettant de comprendre pourquoi la population décide de se déplacer ou non par taxi. Les modèles de prévision de la demande ne s'attaquent pas souvent à ce mode, au profit de l'étude d'autres modes motorisés comme l'automobile et le transport collectif. Ainsi, comprendre le choix modal taxi est primordial. Le choix du mode de transport est typiquement associé avec la densité de population et d'emplois, au temps de parcours et plus généralement au temps de déplacement associé au mode en particulier. D'autre part, la demande de déplacements par taxi est mise en parallèle avec la tenue de certains événements majeurs, l'influx de touristes, la variabilité des conditions météorologiques et à la disponibilité d'autres modes de transport. Enfin, dans une perspective de planification de la mobilité durable, le rôle du taxi dans la mobilité doit être défini. Pour viser une meilleure répartition stratégique de l'offre et la réduction des GES, les conditions spatio-temporelles favorables à l'utilisation de chaque mode sont à délimiter. Ainsi, cela pourra assurer une plus grande transférabilité des déplacements faits en automobile privé vers des modes durables. De ce fait, une question importante s'impose : comment comprendre la compétitivité du taxi par rapport aux autres modes de transport disponibles.

Effectivement, lorsqu'un usager à Montréal fait un déplacement vers une certaine destination pour un motif donné, différents modes peuvent être disponibles par exemple le métro, le bus, l'automobile, le taxi, le vélopartage, l'autopartage (libre-service et basé station), le covoiturage et la marche. Les modèles de choix modaux supposent une rationalité du choix, basé sur le concept de coût généralisé et d'utilité. Ainsi, il est supposé qu'un mode est utilisé après une évaluation objective des alternatives disponibles. Le temps de déplacement est une des composantes de la fonction de coût généralisé associée à chaque mode ; cela sera étudié dans ce mémoire. Ce mémoire propose d'analyser la compétitivité du taxi par rapport aux autres options de mobilité, pour évaluer si le choix rationnel du taxi est justifié. La compétitivité taxi vs transport collectif ou taxi vs vélopartage a été étudiée dans la littérature. Néanmoins, dans la littérature, l'étude de la compétitivité du taxi avec une multiplicité de modes urbains est presque inexistante. À l'aide de calculateurs de trajets et des paires O-D des déplacements par taxi, des trajectoires sont générées et des temps sont tabulés, pour tout autre mode disponible. Les circonstances spatio-temporelles des alternatives sont examinées et des indicateurs de compétitivité sont proposés. Un modèle explicatif est élaboré pour identifier les facteurs déterminants de la compétitivité du taxi, pour les courses commandées n'ayant que le transport collectif comme alternative. En somme, lorsque l'état des connaissances des déterminants du mode taxi sera plus approfondi, des perspectives de modèles de choix modaux incluant d'autres modes que le mode auto-conducteur ou transport collectif.

1.2 Objectifs

L'objectif principal de ce projet de recherche est l'identification des déterminants de la demande en déplacements par taxi.

À cet objectif principal, s'ajoutent des objectifs secondaires tels :

- Caractériser les attributs des diverses alternatives des modes disponibles, aux origines et destinations des courses en taxi ;
- Développer des indicateurs de compétitivité des déplacements par taxi par rapport à d'autres modes ;
- Élaborer un modèle explicatif de la compétitivité des courses commandées de taxi, n'ayant que le transport collectif comme alternative

1.3 Structure du mémoire

Ce mémoire se divise en 8 chapitres. Le premier chapitre introduit le contexte du taxi. Il pose la problématique actuelle de la compétitivité de ce mode, par rapport à différents modes de transport, y compris les modes émergents. La pertinence du projet est ainsi explicitée, y compris les objectifs proposés. Le chapitre 2 recense les travaux scientifiques, dans une revue de littérature, autour du contexte mentionné précédemment. Il pose les fondations sur le contexte de la compétitivité du taxi, introduit les facteurs déterminants de la demande de déplacements en taxi et montre les approches menant à l'estimation de son temps de déplacement. Ainsi, les axes de recherche sont ainsi justifiés. Le chapitre 3 présente la méthodologie de validation et d'enrichissement de la base de données de courses de taxi. À ce chapitre, le contexte de l'île de Montréal, étant le sujet de l'étude de cas, est présenté ainsi que les différentes étapes et méthodes de traitement de données utiles pour conduire des analyses de disponibilité et estimer des indicateurs de compétitivité. Les règles de faisabilité des déplacements à bord des alternatives sont ainsi établies.

Le chapitre 4 permet de montrer les faits saillants de la demande de déplacements en taxi pour le mois de septembre 2016, en segmentant les analyses selon le type de course de taxi. Le chapitre 5 sert à montrer les résultats d'une analyse de disponibilité des alternatives au mode taxi pour les courses actuellement effectuées avec ce mode. Une analyse quantitative lors de la réalisation de la course permet de faire état du portrait spatio-temporel des alternatives disponibles.

Au chapitre 6, pour donner suite à l'analyse des alternatives, une analyse de compétitivité du taxi est conduite par classe de courses, afin d'identifier les propriétés des courses de taxi. Cette analyse est poursuivie dans le contexte des différentes combinaisons d'alternatives identifiées préalablement.

Un modèle explicatif de la compétitivité du taxi est estimé au chapitre 7, pour les courses commandées de taxi n'ayant que le transport collectif comme alternative. La base de données utilisée est décrite. De plus, une analyse de corrélation entre la variable dépendante et les variables explicatives spatiales et temporelles est entreprise. Un modèle explicatif par régression linéaire est élaboré pour cibler les facteurs déterminants de la compétitivité du taxi pour la classe de courses commandées, n'ayant que le transport collectif comme alternative. Le chapitre 8 résume les faits

saillants de ce projet de recherche, les différentes contributions apportées, ses limitations tout autant que les perspectives proposées dans la recherche sur l'industrie du taxi.

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

Ce chapitre a pour but de faire état des travaux antérieurs sur l'industrie du taxi et des enjeux majeurs sous-jacents, dans une revue de littérature. En premier lieu, un historique de la compétitivité du taxi sera exposé. Par la suite, un recensement est effectué vis-à-vis des facteurs pertinents et nécessaires à l'élaboration de modèles de prévision de la demande en courses de taxi, soit dans sa quantité, soit dans la probabilité de choisir ce mode. Les diverses approches sont relatées succinctement. Enfin, une discussion sur les différentes composantes du coût généralisé et de la notion de la compétitivité du taxi est proposée.

2.1 Historique de la compétitivité du mode taxi

Le mode taxi permet à un client de demander un déplacement porte-à-porte, pour un ou plusieurs passagers, selon plusieurs types (hélage, commande téléphonique ou application mobile). Lorsque le déplacement est effectué, il est dénoté comme course (Austin, 2011; Geneste, 2017). Le chauffeur du véhicule de taxi doit détenir un permis de chauffeur et le propriétaire du véhicule, dont l'opération se partage souvent parmi plusieurs chauffeurs, doit se procurer un permis de propriétaire de véhicule taxi (Austin, 2011; Geneste, 2017).

Le mode taxi se démarque des autres modes par sa flexibilité. Il n'est pas contraint par un horaire ou une séquence d'arrêts, tel le mode métro ou bus, mais il permet un déplacement porte-à-porte entre une paire de points origine-destination (Austin, 2011). Étant considéré comme un mode de transport à la demande, il réduit considérablement le temps d'accès.

Historiquement, avant le 19^e siècle, les systèmes de transport publics, tels qu'ils sont connus aujourd'hui n'existaient pas. En effet, au 17^e siècle, des hippomobiles, prédécesseurs des taxis, dénommés coach ou fiacres, scrutaient les rues de Paris et de Londres pour des passagers. Néanmoins, ce mode s'adressait à une classe de la société plus aisée (Vuchic, 2007). Pendant le premier quart du 19^e siècle, les omnibus font surface en France, Angleterre et aux États-Unis. Ils compétitionnaient avec les fiacres et offraient un service régulier dans les grandes métropoles. Une autre alternative, l'omnibus sur rail, par traction hippomobile, se présentait aux usagers des modes précédents, surtout à New York, en 1832. L'omnibus et l'omnibus sur rail font place aux tramways électriques et aux autobus à essence/diesel, respectivement vers le dernier quart du 19^e siècle et le

premier quart du 20^e siècle (Vuchic, 2007). Faisant suite à l'invention de l'automobile en 1886, les premiers taxis font surface. En 1907, des taxis sont déployés dans les rues de New York, s'accostant dans le voisinage des hôtels (Austin, 2011; Vuchic, 2007).

Plus récemment, à New York et au Québec, des mesures d'intégration intermodales voient le jour, situant le taxi en tant que mode d'accès au transport collectif. Au Québec émane le concept du *Cocktail Transport* en 1997, exploitant le potentiel du taxi en premier plan, pour venir en aide au transport collectif qui flétrissait. Celui-ci combine en conjonction au taxi, le transport collectif, le covoiturage, le vélo, la marche, l'automobile et d'autres modes. Son utilité est estimée maximale pour les déplacements pendulaires, en deçà de 8 km, en vue de répliquer des temps de parcours analogues au transport en commun (Labrecque, 1997). Le mode taxi est un mode de déplacement porte-à-porte qui se propose comme alternative ou complément d'intérêt pour l'utilisateur du transport en commun. Wang et Ross (2017) ont classifié les courses de taxi, dans l'agglomération de New York, en trois classes : en compétition avec le transport en commun, comme mode d'accès au transport en commun ou en substitution au transport en commun. Ainsi, en vue d'offrir des définitions, les courses en compétition avec le transport en commun sont des déplacements qui peuvent s'effectuer par le transport en commun. Les courses en substitution au transport en commun sont des déplacements qui ne peuvent pas s'effectuer par le transport en commun, d'un point de vue spatial ou temporel. Enfin, les courses de taxi comme mode d'accès au transport en commun sont des déplacements ayant pour origine ou destination, des stations de transport en commun rapide (Wang & Ross, 2017). Yang et Gonzalez (2014) proposent que la nature de la relation entre le taxi et le transport en commun soit dépendante réciproquement du niveau d'activité de la zone en question (Yang, C. & Gonzales, 2014). Le mode taxi se démarque parmi les modes en compétition tels que l'automobile, la location automobile, le covoiturage, l'autopartage (libre-service et basé station), le vélopartage, le transport à la demande, les *Transportation Network Companies* (TNC) et le transport collectif, comme le montre le Tableau 2.1. Les déplacements par taxi se caractérisent par leur flexibilité. Ils impliquent un itinéraire personnel, contrairement au transport en commun dont la capacité du véhicule est plus élevée. De nos jours, un déplacement par taxi peut être hélé sur rue, commandé par téléphone ou à l'aide d'une application mobile comme les modes autopartage et le covoiturage. Certes, les modes autopartage (basé station et libre-service) et vélopartage semblent souvent disponibles, moyennant la capacité des stations ou la présence d'un véhicule au sein de la zone de service. Tout comme l'automobile, le coût d'utilisation

reste élevé comparativement aux autres modes de transport. Enfin, l'utilisation du taxi permet l'élimination du besoin de stationnement au niveau du passager, en contraste par rapport aux modes auto-conducteur, autopartage (basé station et libre-service) et vélopartage (Cervero, 1997; Vuchic, 2007). De nouveaux modes de transport se sont ajoutés aux offres de mobilité dans les dernières années, telles que les options de micromobilité (vélopartage électrique, trottinette électrique). Ainsi, dans le cas de la ville de Zurich, le vélopartage électrique compétitionne directement avec le taxi, sa part de marché en longueur de déplacement se situant entre [2.0-3.0 km] (Guidon, Becker, Dediu, & Axhausen, 2019).

Tableau 2.1 Spectre des modes privés et parallèles

	Modes	Modes privés	Modes parallèles			Modes
Caractéristique	Type	Auto -Conducteur Location automobile	Covoiturage	Autopartage libre-service Autopartage basé station Vélopartage	Taxi Transport à la demande <i>TNC</i>	Transport en commun
Type d'itinéraire	Personnel					
	Partiellement Personnel					
	Route fixe					
Méthode d'obtention de service	Toujours disponible					
	Horaire fixe					
	Pré-commandé					
	Sur rue/par téléphone					
Capacité des véhicules	=< 4					
	>= 16					
Coût	Faible					
	Modéré					
	Élevé					
Stationnement à l'origine ou la destination	Requis					
	Non requis					

Adapté de (Vuchic, 2007) et (Cervero, 1997)

2.2 Modélisation de la demande en taxi

Modéliser la demande peut se concevoir sous plusieurs perspectives et fenêtres temporelles. Ainsi, d'emblée, une distinction est faite entre la modélisation à court terme, et la modélisation à long terme. Une autre segmentation dans les approches de modélisation de la demande s'effectue entre la quantité de déplacements (modèles de génération et de distribution) et la probabilité de choisir le mode en particulier (modèles de choix modal). Il est intéressant d'emblée de recenser les facteurs ayant une incidence sur la demande de transport.

2.2.1 Facteurs déterminants de la demande en déplacement par taxi

Plusieurs variables explicatives sont utiles dans la quantification de la demande de déplacements par taxi et l'estimation des probabilités de choisir ce mode. Ainsi, en suivant la procédure séquentielle classique, il est intéressant de mieux cerner les facteurs ayant une influence sur la demande en déplacements par taxi. Par la suite, le choix modal permet de témoigner de l'utilité ou de l'attractivité d'un certain mode.

2.2.1.1 Longueur de déplacement

La longueur du déplacement peut constituer un déterminant important du choix de prendre le taxi, compte tenu des alternatives possibles. En comparaison avec le mode vélopartage, à l'accroissement de la distance de déplacement, le taxi se montre plus attractif (Faghih-Imani, Anowar, Miller, & Eluru, 2017). Cependant, lorsque le métro est une alternative au taxi, celui-ci devient de moins en moins compétitif avec l'augmentation de la distance. Le mode taxi rentre en compétition avec le métro lors de courts déplacements vers le centre-ville. En revanche, le métro est préféré pour des déplacements plus longs (Hochmair, 2016; M. Li, Dong, Shen, Lang, & Ye, 2017). Dû à la tarification lourde associée à de longs déplacements en taxi, les usagers du taxi semblent beaucoup moins enclins à choisir le mode taxi, à chaque *mile* additionnel en longueur de déplacement (équivalent à 1.61 km). Une observation similaire peut être émise en considérant le vélopartage. En examinant l'interaction entre le taxi, le vélopartage et le transport en commun, les plus longues distances augmentent la probabilité d'un transfert modal vers le transport en commun (Austin, 2011; Hochmair, 2016; M. Li et al., 2017; Wang & Ross, 2017; Welch, Gehrke, & Widita, 2018).

2.2.1.2 Disponibilité des autres modes

Sous un angle temporel, le choix du taxi est moins probable en fin de semaine par rapport au métro (M. Li et al., 2017; Welch et al., 2018). Il est important de noter que pendant les heures d'opération du métro, la probabilité de choisir le taxi, pour les déplacements réalisables en métro, est moindre (M. Li et al., 2017; Pnevmatikou, Karlaftis, & Kepaptsoglou, 2015; Wang & Ross, 2017; Welch et al., 2018). Néanmoins, les déplacements complémentaires par taxi, pour accéder au transport collectif, sont plus fréquents aux heures de pointe (Wang & Ross, 2017). Ainsi, on peut supposer que le taxi est choisi lors des soirées de jours de semaine, soit lorsque le métro n'est pas disponible, ou lors des interruptions de service (M. Li et al., 2017; Pnevmatikou et al., 2015; Wang & Ross, 2017; Welch et al., 2018). De plus, en fin de soirée, il est possible de conclure que la sécurité de l'utilisateur et la faible fréquence du service TC rendent les déplacements en taxi plus attractifs (Wang & Ross, 2017; Welch et al., 2018).

2.2.1.3 Présence des autres modes

Les déplacements par taxi ayant des origines ou des destinations se situant dans des zones à forte densité d'arrêts de bus sont souvent effectués en extension au transport en commun. Néanmoins, les déplacements entre les stations de métro ou les arrêts de bus sont moins attractifs pour le taxi (Wang & Ross, 2017). Ainsi, lorsque l'offre en transport en commun en destination vers ou en provenance d'une station de métro s'avère faible, le taxi comme mode d'accès au TC, pour couvrir le dernier *mile* (équivalent à 1.6 km), devient attractif. Bref, une correspondance vers ou en provenance d'une station de métro, d'une gare de train ou d'un arrêt de bus constitue un déterminant de la probabilité de choisir le taxi (Faghih-Imani et al., 2017; Hochmair, 2016; M. Li et al., 2017; Qian & Ukkusuri, 2015; Wang & Ross, 2017). Le mode vélopartage est en compétition avec le mode taxi (Faghih-Imani et al., 2017; Welch et al., 2018). Néanmoins, en comparaison avec le vélopartage, la capacité des stations de vélopartage tant à l'origine qu'à la destination, est corrélée à la réalisation des déplacements par taxi de plus longue durée (Faghih-Imani et al., 2017). La densité d'intersections à l'origine et à la destination influe légèrement ou périodiquement (tel que les matinées) sur les probabilités de déplacements par taxi, en présence d'alternatives comme le métro ou le vélopartage (Austin, 2011; Welch et al., 2018).

2.2.1.4 Convenance / volonté de payer

D'une perspective spatiale, le transport en taxi à destination ou en provenance de l'aéroport s'avère utile pour les voyageurs portant des bagages ou pour les touristes. Cela est tout aussi pratique lorsque les usagers ne sont pas si familiers avec les services de transports publics ou si les transports rapides tels que le métro n'atteignent pas les aéroports (Austin, 2011; Hochmair, 2016; L. Li, Wang, Li, & Tan, 2018). L'ampleur de la demande, le taux d'utilisation de la capacité des véhicules de métro ou l'achalandage des stations de métro peuvent affecter l'utilité du mode métro aux dépens du taxi (Austin, 2011; Hochmair, 2016). Pour contourner le temps d'attente excédentaire en transport en commun, pendant les déplacements à motif travail, le mode taxi devient attractif (Pnevmatikou et al., 2015; Wang & Ross, 2017).

2.2.1.5 Considérations spatio-temporelles

La fin de semaine, il a été observé que le taxi est moins choisi par rapport au métro ; la probabilité de choisir le métro peut baisser de 50%. Ainsi, en jours de semaine, il peut être conclu que le taxi est plus prompt à être utilisé. Les déplacements par taxi semblent s'inscrire au sein du centre-ville et surtout aux plages horaires hors pointe de la soirée (Hochmair, 2016; M. Li et al., 2017; Wang & Ross, 2017; Welch et al., 2018). Tout simplement, la présence accrue de véhicules de taxi sur les rues, proches des stations de métro, en lien avec la hausse de la demande de déplacements dans le voisinage des corridors de métro, rend le taxi plus probable (Austin, 2011).

Par surcroît, les fluctuations de la demande en déplacement sont souvent reliées à des facteurs externes. Zhu et Prabhakar (2016) ont conclu que les fluctuations de la demande en déplacements par taxi à New York sont dues probablement aux conditions météorologiques ou aux événements sociaux majeurs (événements sportifs, concerts, festivals, jours fériés, grèves). Dans ce cas-ci, les fluctuations sont plus passagères et sont focalisées dans l'espace (Zhu & Prabhakar, 2016).

2.2.1.6 Points d'intérêts et utilisation du sol

Il s'avère que le taxi semble plus en compétition avec le métro pour des déplacements à destination ou ayant pour origine des zones à forte densité d'emplois, des zones commerciales et des districts où le revenu du ménage ou les salaires sont plus élevés (Austin, 2011; Hochmair, 2016; Wang & Ross, 2017; Welch et al., 2018). Néanmoins, on postule aussi que la présence de points d'intérêts ou la diversité d'emplois à la destination favorise légèrement le transport par vélopartage, car son

temps de parcours à travers la congestion est plus attractif que le taxi (Faghih-Imani et al., 2017). De plus, la proportion des espaces verts participe à la substitution des déplacements en transport en commun par des trajets en taxi (Austin, 2011).

Relativement aux évènements exceptionnels, Schaller (2005) suggère que le nombre de délégués à des conventions ou des chambres d'hôtel occupées comme facteur pertinent à la modélisation de la demande. La présence d'aéroport comme facteur de génération de déplacements est présente dans d'autres modèles de régression tels que celui d'Hochmair (2016) sur la ville de New York. Schaller (2005) l'a ajouté à son modèle régressif en quantifiant le volume de passagers à l'aéroport ayant pris le taxi en atterrissant. Cela peut être quantifié selon les enregistrements gardés par les agences aéroportuaires, dans le cadre d'embarquements en taxi à provenance de l'aéroport ou débarquements en taxi en destination de l'aéroport. Une autre méthode consiste à estimer le pourcentage de passagers à l'aéroport qui ne correspondent pas avec un autre vol et le pourcentage de ces passagers qui prennent le taxi (Schaller, 2005).

2.2.1.7 Coût de déplacement

Tel que mentionné précédemment, le coût de déplacement peut être directement proportionnel à la distance de déplacement, comme pour le taxi. En revanche, cela ne s'applique pas à tous les modes. Par exemple, le transport en commun implique souvent un tarif fixe, soit en abonnement ou avec un titre unitaire. Ainsi, au niveau du coût de déplacement, les déplacements plus courts favorisent le taxi, en comparaison avec le métro (Hochmair, 2016; Wang & Ross, 2017). Il a aussi été observé que la hausse du coût du déplacement pour l'utilisateur TC influe grandement sur l'abandon du choix TC vis-à-vis du mode taxi. Ainsi, il est observé qu'à chaque dollar d'augmentation de coût de transport TC, la probabilité d'un client de se tourner vers le taxi est multipliée de façon significative (Welch et al., 2018).

2.2.1.8 Impact de la chaîne de déplacement

Une chaîne de déplacement se définit par une succession de déplacements interdépendants, effectués par un individu, dans l'optique de l'agencement d'un système d'activité (Valiquette, 2010). Le taxi est vu tel un mode sans ancrage, ce qui implique que l'individu n'a pas à se soucier de son stationnement à ses lieux d'activité primaires (Sicotte, 2015). Ainsi, des modèles de choix modaux, impliquant un déplacement par taxi dans la chaîne de déplacement, ont été élaborés. En

faisant état de l'impact de la chaîne de déplacement dans le choix du mode, Roorda (2009) a établi un modèle logit multinomial, basé sur les chaînes de déplacement, à Toronto, en incluant les modes « mineurs » de transport, suivant les recherches de Miller (2005). Les modes majeurs regroupent les modes auto-conducteur, auto-passager, covoiturage, transport en commun local et la marche. En revanche, les modes dits mineurs comprennent entre autres le taxi, le vélo, le bus scolaire, train de banlieue (avec accès à l'origine/accès à la destination en automobile ou autre) et métro (avec accès à l'origine/accès à la destination en automobile). Il est résolu que la part du marché du taxi et la part des déplacements d'accès au métro ou du train de banlieue soient du même ordre de grandeur. Or, la performance du modèle est meilleure pour les modes « majeurs ». De ce fait, on note les taux de prédiction associés aux modes auto-conducteurs (99%) et covoiturage (99,5%). Le modèle ne peut prédire que 13% de la part de marché actuelle du mode taxi.

2.2.1.9 Synthèse

Les différents facteurs et propriétés des courses de taxi ayant un impact sur le choix du taxi sont répertoriés, au sein du Tableau 2.2, ainsi que leurs impacts sur la compétitivité du taxi. De même, les propriétés des autres modes de transport et leurs impacts sur le choix du taxi sont recensés dans le Tableau 2.3.

Tableau 2.2 Déterminants du choix modal taxi et impacts

	Facteur	Importance	Impact sur le nombre de courses	Auteurs
Temporel	Jour de fin de semaine	+	↓	(Li, M., Dong, Shen, Lang, & Ye, 2017; Welch, Gehrke, & Widita, 2018)
	Jour de semaine	+	↑	(Li, M. et al., 2017; Welch et al., 2018)
	Plage horaire de la soirée hors pointe	+	↑	(Wang & Ross, 2017; Welch et al., 2018)
Attributs du déplacement taxi	Présence de taxis disponibles	-	↑	(Austin, 2011)
	Courte distance de déplacement (<3 km)	+	↑	(Hochmair, 2016; Li, M. et al., 2017)
	Coût du déplacement	+	↓	(Austin, 2011; Hochmair, 2016; Li, M. et al., 2017; Wang & Ross, 2017; Welch et al., 2018)
	Longues distances de déplacement	+	↓	(Austin, 2011; Hochmair, 2016; Li, M. et al., 2017; Wang & Ross, 2017; Welch et al., 2018)
Points d'intérêts	Origine à l'aéroport	+	↑	(Austin, 2011; Hochmair, 2016; Li, L., Wang, Li, & Tan, 2018)
	Destination à l'aéroport	+	↑	(Austin, 2011; Hochmair, 2016; Li, L. et al., 2018)
	Déplacement au sein du centre-ville	+	↑	(Hochmair, 2016; Li, M. et al., 2017)
	Zone commerciale à l'origine ou à la destination	-	↑	(Austin, 2011; Faghih-Imani et al., 2017)

Tableau 2.3 Attributs des autres modes et impact sur le choix modal taxi

	Facteur	Importance	Impact sur le nombre de courses	Auteurs
Mode TC	Panne de métro ou métro hors opération	+	↑	(Li, M. et al., 2017; Pnevmatikou, Karlaftis, & Kepaptsoglou, 2015; Wang & Ross, 2017; Welch et al., 2018)
	Accès à un arrêt ou une station de TC	+	↑	(Faghieh-Imani et al., 2017; Hochmair, 2016; Li, M. et al., 2017; Qian & Ukkusuri, 2015; Wang & Ross, 2017)
	Heures d'opération du métro	-	↓	(Li, M. et al., 2017; Pnevmatikou et al., 2015; Wang & Ross, 2017; Welch et al., 2018)
	Temps d'attente excédentaire	+	↑	(Pnevmatikou et al., 2015; Wang & Ross, 2017)
	Hausse du coût de déplacement en transport collectif	-	↑	(Welch et al., 2018)
Mode vélopartage	Capacité de station de BIXI à l'origine et destination	-	↓	(Faghieh-Imani et al., 2017)
	Voie cyclable en situation de congestion automobile	+	↓	(Faghieh-Imani et al., 2017)
Mode Auto-Conducteur	Longueur du réseau routier dans le voisinage de l'origine et de la destination	-	↑	(Faghieh-Imani et al., 2017)
Mode Marche	Accès à une station de métro ou un arrêt à proximité du domicile	+	↑	(Faghieh-Imani et al., 2017; Hochmair, 2016; Li, M. et al., 2017; Qian & Ukkusuri, 2015; Wang & Ross, 2017)

2.2.2 Modèles de prévision de la demande en taxi

Modéliser la demande peut se concevoir sous différentes perspectives et fenêtres temporelles. Ainsi, d'emblée, une distinction est faite entre la modélisation à court terme, et la modélisation à long terme. Une autre segmentation dans les approches de modélisation de la demande s'effectue entre la quantité de déplacements (modèles de génération et de distribution) et la probabilité de choisir un mode en particulier (modèles de choix modal). Il est intéressant d'emblée de recenser les facteurs ayant une incidence sur la demande en déplacements.

2.2.2.1 Prévision de la demande à long terme

La prévision de la demande à long terme permet d'estimer les impacts de certaines politiques, de l'établissement de nouvelles infrastructures, ou de nouvelles réglementations sur un horizon lointain sur la demande en déplacements. Plusieurs modèles ont été développés pour estimer la demande à long terme, en courses de taxi, et d'en cerner les variables significatives.

2.2.2.1.1 Modèles de génération

Yang et Gonzalez (2014) développent des modèles de régression multiple, à partir de 187 Millions de traces GPS de courses de taxi à New York, pour modéliser les embarquements et débarquements, agrégés selon l'heure de départ de la course. Il est intéressant de noter que selon leurs conclusions, indépendamment des heures de la journée, la population, l'éducation, l'âge, le revenu, l'emploi, le temps d'accessibilité au transport en commun sont des facteurs déterminants de la génération des déplacements. Ce modèle a été repris par Lacombe et Morency (2016) et adapté pour les déplacements en taxi à Montréal. Il peut être conclu que la tranche de population entre 20 et 29 ans et la tranche des ménages ayant un revenu de plus de 80 000 \$ sont plus susceptibles d'être des clients du taxi. Avec un taux de corrélation de 27% en origines et de 28% en destinations, ce modèle ne peut expliquer que moins de 30% de la variabilité de la demande. Il peut être noté que ce modèle est assigné à la totalité des courses journalières et non à une heure spécifique. Ainsi, il s'avère important d'effectuer des caractérisations temporelles, spatiales et spatio-temporelles, pour amener un élément de réponse à ce profil de demande irrégulier pour les déplacements par taxi dans la ville de Montréal (Lacombe & Morency, 2016; Laviolette, Morency, Saunier, & Lacombe, 2017). Il est important de noter que les modèles de prévision de la demande mentionnés précédemment présentaient une périodicité saisonnière de la demande en déplacements par taxi, à

un poste d'attente. Ainsi, le modèle ARIMA est utilisé pour réduire les fluctuations dans la prévision de la demande, autrement entreprise par un modèle régressif. Ce modèle comprend une variabilité temporelle non saisonnière. La valeur future de la demande en déplacements est obtenue à travers une fonction linéaire de plusieurs variables (Gallop, Tse, & Zhao, 2012; Moreira-Matias, Gama, Ferreira, & Damas, 2012).

2.2.2.1.2 Modèles de choix modal

En revanche, la prévision de la probabilité de choisir le taxi s'effectue plus communément par des modèles de choix discret, tels que les modèles binaire logit, multinomial logit, logit emboité et probit. Elle peut se faire sous la base de préférences déclarées, de préférences révélées ou même par une approche conjointe (SP/RP). En effet, Pnevmatikou (2015) étudie les préférences modales déclarées et révélées des utilisateurs du métro en situation d'interruption de service, selon la nature des préférences (déclarées ou révélées). Pour modéliser la probabilité du choix entre le transport en commun, le vélopartage et le taxi, des modèles logit sont plus fréquemment mentionnés dans la littérature (Faghih-Imani et al., 2017; Pnevmatikou et al., 2015; Wang & Ross, 2017; Welch et al., 2018). En effet, Welch, Gehrke et Widita (2018) proposent un modèle multinomial mixte (MMNL), pour la ville de Washington, permettant d'estimer la probabilité pour un individu de choisir un mode en particulier, entre le métro (mode de référence), le vélopartage et le taxi. De même, Anowar et Eluru (2017) introduisent un modèle logit multinomial mixte (MMNL), pour la ville de New York, ayant pour alternative le mode taxi ou le mode vélopartage (mode de référence), prédisant le mode ayant le temps de parcours le plus court. En guise de justification du choix de ce modèle alternatif, une comparaison du test de vraisemblance logarithmique orchestrée par Anowar et al (2017) sur les modèles MNL et MMNL, permet de se tourner vers le modèle MMNL (Anowar, Eluru, Miranda-Moreno, & Lee-Gosselin, 2015; Faghih-Imani et al., 2017).

2.2.2.2 Prévision de la demande à court terme

Plusieurs autres modèles de prévision horaire sont disponibles pour déterminer le nombre de courses prédites à plusieurs niveaux d'agrégation. Les bases de données historiques des courses de taxi sont utiles pour réaliser des prévisions sur l'opération du mode taxi. On compte parmi ceux-ci les modèles de Poisson temporalisés et ses variantes, ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*), des méthodes d'apprentissage machine tels que l'agrégation *bootstrap* et la forêt aléatoire. L'indicateur MAPE, démontré ci-dessous, réfère au pourcentage d'erreur moyenne

absolue et permet communément de comparer la performance des modèles (Moreira-Matias et al., 2012; Peng, Pan, & Luo, 2018; Tong et al., 2017).

$$sMAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|F_t - A_t|}{|F_t| + |A_t|}$$

Où F_t représente les valeurs prédites et A_t les valeurs actuelles.

Le modèle de Poisson temporalisé, initialement proposé par Ihler (2006), peut être appliqué dans l'industrie du taxi pour détecter les périodicités de la demande, selon une distribution de Poisson non-homogène. Mathias-Moreira (2012) fait usage de ce modèle, décrit ci-dessous, pour prédire la demande horaire dans la ville de Porto, à l'échelle du poste d'attente. De plus, pour mieux prendre en compte l'irrégularité des patrons journaliers de demande, un lissage exponentiel peut être appliqué. Cela optimise la performance du modèle tel qu'observé par Mathias-Moreira (2012) (Ihler, Hutchins, & Smyth, 2006; Moreira-Matias et al., 2012).

$$\lambda(t) = \lambda_0 \delta_{d(t)} \eta_{d(t),h(t)}$$

Où $\lambda(t)$ est la demande moyenne en déplacements par taxi inscrite dans une fenêtre temporelle

λ_0 est la demande en déplacement pour une semaine moyenne

$d(t)$ est l'effet associé au jour de semaine (1 = dimanche, 2 = lundi, ...)

$h(t)$ est l'intervalle dans laquelle l'instant t est compris

$\eta(t)$ est l'effet associé à la période de la journée où l'instant t se situe

D'autre part, le modèle ARIMA, popularisé par Box et Jenkins (1970), permet de modéliser des séries temporelles variées en les calibrant avec les valeurs historiques et leurs erreurs. Trois étapes itératives régissent l'établissement du modèle ci-dessous : identification, estimation des paramètres (par fonction d'autocorrélation et d'autocorrélation partielle) et diagnostic.

$$y_t = \theta_0 + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q}$$

Où

y_t et représentent respectivement la demande actuelle et le terme d'erreur à l'instant t

ϕ_i et θ_i représentent les paramètres du modèle et (p,q) représentent l'ordre du modèle

Dans le cas d'études mentionnées précédemment par Mathias-Moreira (2012), la performance du modèle ARIMA dans la détection des périodicités de la demande au sein des postes d'attente dépasse celle des modèles de Poisson temporalisés (Box & Jenkins, 1990; Hyndman, 2014; Moreira-Matias et al., 2012; Zhang, 2003).

D'autres modèles d'apprentissage machine, tels que l'agrégation *bootstrap*, permettent de combiner l'efficacité de différents modèles. Le modèle utilisé par Mathis-Moreira (2012) implique simultanément les prédictions de plusieurs modèles M_{it} , dans l'évaluation de la demande horaire future E_T , selon un niveau de précision β et une fenêtre temporelle $[t-H, t]$ (h étant un paramètre).

$$E_T = \sum_{i=1}^Z \frac{M_{it}}{\beta}$$

$$\beta = \sum_{i=1}^Z \rho_{iH}$$

Où ρ_{iH} représente la précision associée à un modèle

Mathias-Moreira (2012) conclut que le modèle d'agrégation *bootstrap* peut prédire la demande aux postes d'attente plus précisément que les modèles de Poisson temporalisés ou ARIMA. Pour Peng et al. (2018), un modèle similaire démontre une précision de plus de 80% dans le cas de la prédiction de la demande horaire en déplacements par taxi au sein de régions populaires. Ces régions populaires ont été préalablement constituées, à partir des données d'arrivée des participants aux évènements, sur le site *Foursquare* (Moreira-Matias et al., 2012; Peng et al., 2018).

2.3 Coût généralisé de déplacement

Il est supposé que le choix du mode de transport se base sur un choix rationnel. Ainsi, plusieurs chercheurs s'ancrent sur la théorie de l'utilité aléatoire. La fonction d'utilité se définit communément comme suit:

$$U_i^{RP} = \sum V_i^{RP} + \varepsilon_i^{RP}$$

Le coût généralisé de déplacement est un des coûts impliqués dans la fonction d'utilité (Bonnel, 2004).

Des indicateurs ont été développés pour la comparaison d'alternatives en TC peuvent être empruntés pour l'étude de compétitivité des modes. En effet, la compétitivité des modes peut s'évaluer par certains indicateurs qui visent à quantifier l'impact des composantes du temps de parcours, des correspondances, et du coût monétaire de la course (Frappier, 2015).

Ainsi, pour quantifier et qualifier la performance des déplacements par le mode taxi, plusieurs indicateurs spatiaux, temporels, qualitatifs peuvent être proposés, en tant qu'outils de décision en situant la place du taxi dans les options de transport. La compétitivité entre les modes de déplacement peut aussi se définir en termes d'accessibilité à divers points d'intérêt (Godin, 2012).

2.3.1 Variables de la fonction du cout généralisé

Le choix modal dépend généralement de trois dynamiques : la typologie de l'utilisateur, les caractéristiques du trajet et les composantes du service de transport (Ortuzar & Willumsen, 2011). Le coût généralisé est souvent défini comme une mesure de désutilité d'un parcours. Il combine des composantes reliées à la distance, au temps et aux ressources et dépenses monétaires (Ortuzar & Willumsen, 2011). En transport collectif, souvent la fonction de coût généralisé se résume à l'agrégation des coûts de déplacement incluant le coût monétaire de transport, temps d'accès à un arrêt de transport en commun, le temps en ligne, l'influence des correspondances et des intervalles de service. Ces coûts sont pondérés par des facteurs de valeur du temps pour modéliser la perception du temps pour l'utilisateur (Bonnell, 2004). Par ailleurs, le coût généralisé de transport par automobile conducteur se résume à l'agrégation des coûts de déplacement incluant le frais d'exploitation de l'automobile par km, temps de déplacement, temps de recherche de stationnement, et autres coûts monétaires tels que les péages. Certaines analyses n'incluaient pas le coût ou temps associé au stationnement directement en tant qu'un coût. Néanmoins, ils figuraient dans la fonction d'utilité. Ces coûts sont pondérés par des facteurs de valeur du temps pour modéliser la perception du temps pour l'utilisateur (Bonnell, 2004; Chmelík, 2015).

2.3.1.1 Temps d'attente pour un taxi

En termes de temps d'attente en taxi pour un client, la littérature suggère une relation décroissante entre le nombre horaire de véhicules de taxi disponible et le temps d'attente (Cairns & Liston-Heyes, 1996). Cela peut être exprimé en véhicule-heures disponibles (Douglas, 1972; Yang, H., Ye, Tang, & Wong, 2005). La littérature rapporte des différences entre les courses ayant été

réparties par un intermédiaire, hélées, ou celles étant générées à un poste d'attente. Pour d'autres villes canadiennes, telles qu'Ottawa ou Toronto, le temps de réponse moyen pour un taxi (i.e le temps d'attente pour un client) était estimé respectivement entre 9 et 15 minutes (City of Toronto, 2015). Pour l'estimation du temps d'attente issu de la répartition des courses par un intermédiaire, la vitesse moyenne de déplacement et la demande en déplacements par taxi ou inversement la densité de véhicules de taxi disponibles rentrent en jeu. Daganzo (2010) a proposé, selon une approche agrégée, une relation entre la flotte de véhicules de taxi optimale et le temps d'attente. L'équation ci-dessous présente la limite d'un niveau de service acceptable :

$$T_w = 0,8 \lambda_u^{-\frac{1}{3}} \bar{v}^{-\frac{2}{3}}$$

Avec T_w représentant le temps d'attente (min), λ_u représentant la demande en déplacements par taxi par unité de temps et par aire de service, \bar{v} est la vitesse moyenne du déplacement (km/h) (Daganzo, 2010). Pour l'estimation du temps d'attente issu des courses hélées, Bautista (1985) a considéré en premier temps une distribution uniforme des arrivées des taxis, à un point fixe du réseau. Cela lui a permis de conclure que le temps d'attente était égal au produit du nombre de taxis occupés qui ont franchi ce point défini, avant le premier taxi disponible et de l'intervalle entre leurs arrivées (Bautista, 1985).

$$T_w = \frac{(\lambda_v + w)}{(2c\lambda_v(\lambda_v - w))}$$

Ou w représente la proportion des taxis occupés, λ_v représente le nombre de taxis en circulation (veh-heure) et c représente le taux de taxis passant (veh-heure).

En supposant une distribution exponentielle des arrivées, moyennant en $1/c$,

$$T_w = \frac{1}{c(\lambda_v - w)}$$

En considérant l'impact des pelotons dus aux feux de circulation, la formule précédente a été calibrée :

$$T_w = \frac{h(1 + \exp(-hc(\lambda_v - w)))}{2(1 - \exp(-hc(\lambda_v - w)))}$$

Ou h est la distance inter-véhiculaire, c le taux de taxis passant, w la proportion de taxis occupés

Pour l'estimation du temps d'attente issu des courses hélées à un poste d'attente, le temps d'attente pour un taxi implique la prise en compte de la file d'attente due aux clients d'une part et la file d'attente due aux véhicules. Lo et Yip (2001) ont formulé le temps d'attente aux postes d'attente, basée sur une distribution Poisson des arrivées des passagers et des véhicules de taxi, aux postes d'attente à l'aéroport (Lo & Yip, 2001).

$$T_w = \frac{1}{\mu \left(1 - \frac{\eta}{\mu}\right)}$$

Où μ et η représentent respectivement le taux de service et le taux d'arrivées aux postes d'attente de taxi.

Douglas (1972) considère la distribution des temps d'attente comme une fonction de la densité des véhicules taxi à vide (Douglas, 1972). Il propose que le temps d'attente moyen pour un taxi se définisse par l'équation :

$$w = \frac{A}{V_s}$$

Où A est la longueur de rues dans la zone desservie, s la vitesse d'opération moyenne et V le nombre de taxis à vide.

Le nombre véhicules de taxi à vide peut se modéliser par l'équation ci-dessous :

$$V = N - Q \cdot t$$

T étant la période d'étude, N le nombre de taxis en service et Q la demande en déplacements par taxi.

D'autres méthodes combinent plusieurs scénarios tels que les courses hélées à un poste d'attente et celles hélées sur un tronçon de route ou commandées, telle que celle de Zheng (2017). L'hypothèse sous-jacente principale est que plus les taxis sont à leur poste d'attente, plus le temps d'attente pour rejoindre un véhicule de taxi est faible. De même, il est supposé que plus le nombre de véhicules de taxi quittant le bord de la route est grand, plus la probabilité de trouver un taxi est élevée (Zheng, Liang, & Xu, 2012). De ce fait, il est supposé que les taux de départ des taxis de leur poste d'attente suivent une distribution Poisson non-homogène. Le temps d'attente modélisé est ainsi :

$$t_{wait}^{r,T} = \frac{\Delta T - \bar{t}_{park}^{r,T}}{\bar{N}_{vacant}^{r,T}}$$

L'intervalle ΔT est fixé à 1 heure, $\bar{t}_{park}^{r,T}$ est la durée moyenne pendant laquelle 1 ou plusieurs véhicules de taxi sont stationnés, en attente pour les passagers, $\bar{N}_{vacant}^{r,T}$ est le nombre moyen de véhicules de taxi vacants qui ont quitté leur poste d'attente.

2.3.1.2 Concept de la valeur du temps en transport

Plusieurs auteurs se sont penchés sur la question de la valeur du temps. La notion de valeur du temps ou d'économie du temps de parcours est souvent confondue. L'usage du terme de l'économie du temps est contesté car ce n'est pas un bien qui peut être emmagasiné (Daly & Hess, 2019). Kittelson et al. (2003), dans le contexte des déplacements ayant pour motif le travail, introduisent des facteurs pour pondérer l'estimation de la valeur du temps, basés sur le temps d'attente, le temps en véhicule et le temps d'accès (Salanova, Romeu, & Amat, 2014). Néanmoins, deux approches fondamentales permettent d'estimer la valeur du temps en transport : l'approche par préférences révélées et l'approche par coût de transfert (Ortuzar & Willumsen, 2011). Souvent, l'estimation de modèles logit à partir des données d'enquêtes sur la mobilité permettent d'estimer une valeur du temps par mode et par motif de déplacement. Le motif de déplacement influe sur la valeur du temps qui s'y rattache. La valeur de l'économie de temps est souvent attribuée au salaire horaire moyen pour les déplacements à motif affaire. On accepte que la valeur du temps à motif affaire soit la plus haute. Il est possible qu'avec l'arrivée des technologies intelligentes et des ordinateurs portables que les tâches des activités à motif affaire soient entreprises pendant le temps dédié au transport. Ainsi dans de telles circonstances, la valeur du temps est plus faible. Néanmoins, pour les déplacements à motif loisir, il est estimé que la valeur de l'économie de temps est inférieure au taux horaire moyen (Transportation, 2011). L'influence du revenu est relativement importante dans l'estimation de la valeur du temps. La valeur du temps pour le motif affaire est estimée selon le taux horaire brut moyen, par une dérivation selon des modèles logit ou probit (Mouter, 2016). Mais la valeur du temps pour le motif loisir peut aussi s'estimer par un redimensionnement du revenu moyen du ménage en un taux horaire ainsi comparable avec le taux pour d'autres motifs (Transportation, 2011). D'autres facteurs ont une influence sur l'estimation de la valeur du temps tels que le mode, la longueur du déplacement, les caractéristiques de l'individu et d'autres variables qualitatives et quantitatives du niveau de service. Il a été observé que la longueur du déplacement

fait augmenter la valeur du temps. Enfin, la segmentation de la valeur du temps selon le motif, le revenu ou le mode est remise en question dans certains pays européens tels que le Danemark (Mouter, 2016). La valeur du temps est supposée dans une fonction d'utilité linéaire, être modélisée par un ratio entre le coefficient associé au coût monétaire et celui associé au temps de parcours. Or, de façon générale, elle peut être estimée grâce au quotient des dérivées de l'utilité par rapport au temps et de l'utilité par rapport au coût monétaire. Elle peut être calculée pour de multiples autres cas de figure découlant de la fonction d'utilité comme l'influence du revenu du ménage ou d'une autre variable (Bhat & Sardesai, 2006). Les valeurs souvent utilisées pour les coefficients relatant des composantes du temps de parcours TC sont dérivées des modèles de choix discrets. En Amérique du Nord ou en Europe, les coefficients associés à la valeur du temps varient selon la composante du temps de parcours (communément 2 pour le temps d'accès au TC, 3 pour le temps d'attente) (Kittelson and Associates, 2003). Enfin, les valeurs du temps associées aux usagers des autres modes restent à être consolidées.

2.3.1.3 Autres indicateurs

Le temps de parcours, selon les modes concernés, est souvent composé d'un temps d'attente, d'un temps d'accès à l'origine et à la destination et d'un temps en véhicule. Le temps d'accès au service de taxi peut être supposé nul ou négligeable, dû à des facteurs comme la congestion automobile ou la présence de postes d'attentes (Salanova et al., 2014; Yuan, Wu, Wei, & Liu, 2017). D'autres indicateurs sont utiles pour comparer la performance des modes, hormis le temps de parcours et le coût monétaire de la course. En se basant sur la longueur du déplacement, les modes peuvent être hiérarchisés. De surcroît, en combinant l'effet du temps de parcours et de la longueur de déplacement, la vitesse de déplacement d'opération ou en véhicule est un indicateur important dans la comparaison des modes. La vitesse d'opération implique la compilation des différents indicateurs temporels par mode sur la longueur totale associée à ces indicateurs temporels. Dans une même veine, la tortuosité, se définissant par le rapport entre la distance réseau de déplacement et la distance à vol d'oiseau, permet d'estimer une variable de confort de l'utilisateur (Vuchic, 2007).

2.3.2 Notion et estimation de la compétitivité

Comprendre l'interaction entre les différents modes, en prenant en compte le contexte spécifique des déplacements, requiert une analyse spatiale de la disponibilité des modes à une distance de

marche de l'origine. Ainsi, pour une analyse de compétitivité, seuls les modes disponibles à une distance tampon spécifique doivent être retenus. Généralement, cette distance tampon autour des origines et destinations des courses de taxi varie entre 250 m (d'une station de vélopartage), 400 m d'une station de métro, ou 1 km d'une station de train de banlieue (Faghih-Imani et al., 2017; Li, M. et al., 2017; Welch et al., 2018). En termes de temps d'accès en transport en commun, plusieurs études proposent une distance moyenne de 500 m d'accès, équivalente à 10 minutes de marche. Une distance seuil à la marche a été identifiée à 1,3 km, en utilisant les données de l'Enquête OD 2013 (Lefebvre-Ropars, 2017). De plus, un seuil de la longueur du déplacement à la marche, après lequel l'utilisateur songe à utiliser le transport collectif, était identifié à 1,3 km, selon les données de l'enquête OD 2008 de Montréal (Godefroy, 2011). En examinant ces mêmes données, des distances seuils similaires ont été suggérées pour la marche. Un seuil est appliqué sur les distances de déplacement à vélo telles que les déplacements retenus ne dépassent pas 5 km de longueur. Généralement, un temps d'attente en transport collectif est situé entre 5 et 15 minutes, en se basant sur la fréquence en TC (intervalle maximum de 30 minutes) et une distribution d'arrivées uniforme.

Des filtres temporels sont aussi employés. Les déplacements par taxi se concentrent plus en soirée (Yang, C. & Gonzales, 2014). Ainsi, avec le vélopartage comme cadre de référence, dans un modèle multinomial logit mixte (MMNL) ayant pour alternative le mode taxi, un filtre temporel discriminant les déplacements après 22h est appliqué à la base de données, car il est estimé qu'en dehors de ces heures, le temps de parcours ne rentre pas en jeu dans le choix modal. D'autres filtres sont employés sur le temps de parcours tel qu'un seuil de 45 minutes sur les courses de taxi et de 60 minutes sur les trajets en vélopartage. Ainsi, il est important de noter que les 45 premières minutes sont incluses gratuitement pour les abonnés du forfait annuel de vélopartage sans pénalité (Faghih-Imani et al., 2017).

Il est aussi possible d'évaluer la rationalité du choix du mode taxi compte tenu des autres alternatives présentes. La compétitivité d'un déplacement taxi par rapport à une alternative peut se mesurer par le ratio de compétitivité (Pelletier-Grenier, 2018).

$$r_{\frac{alternative}{taxi}} = \frac{t_{alt}}{t_{taxi}}$$

où t_{alt} est le temps de parcours à bord de l'alternative

alt : TC, vélo, marche

2.4 Synthèse de la revue de littérature

La revue de littérature, inscrite dans ce chapitre, vise à contextualiser les différents enjeux dans la planification de la demande en courses de taxi. D'emblée, un historique du taxi et de sa compétitivité par rapport aux autres alternatives est relaté. Le taxi est identifié comme un des modes les plus pérennes de l'ère moderne. Une classification des courses de taxi selon leurs interactions avec le transport en commun est introduite. De plus, son interaction avec les nouvelles offres de mobilité est discutée.

Plusieurs facteurs ayant un impact sur la quantité de courses de taxi et la probabilité de choisir ce mode sont recensés. Ils ont trait principalement aux conditions de réalisation de la course. Néanmoins, le milieu bâti et les caractéristiques des alternatives avec lesquelles le taxi est en compétition influencent également la demande en courses de taxi. Des tableaux synthétiques des variables déterminantes sont consolidés au sein du Tableau 2.2 et du Tableau 2.3. La modélisation de la demande en courses de taxi se segmente en deux classes principales, soit opérationnelle ou stratégique. Les approches de modélisation sont énoncées selon l'objectif temporel de la planification de la demande.

Enfin, les variables de la fonction de coût généralisé plus communément utilisées sont identifiées. Les différentes approches de modélisation du temps d'attente en taxi sont exposées selon le type de la course (hélée ou commandée). Les notions de compétitivité avec une diversité de modes de transport et des définitions différentes des zones de compétition spatio-temporelles sont discutées plus amplement. Il est particulièrement pertinent d'étudier la compétitivité du taxi parmi les alternatives partagées telles que le vélopartage et l'autopartage libre-service dans le contexte de la demande en courses de taxi. En somme, les connaissances sur les facteurs déterminants de la demande du taxi à Montréal sont à consolider.

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE ET DONNÉES

L'objectif de cette section est de détailler la méthodologie de traitement de données des courses de taxi, d'autres modes de transport et d'autres données explicatives, en vue des analyses de disponibilité et de compétitivité. Les origines et destinations des courses du mois de septembre 2016 de la ville de Montréal sont caractérisées de manière spatio-temporelle par un croisement avec les données explicatives. Pour chaque course de taxi, des calculs de chemin sont effectués pour simuler, aux mêmes origines et destinations, des déplacements entrepris à bord de modes alternatifs. Les modes alternatifs à étudier sont le transport en commun, le vélo, le vélopartage, l'auto-conducteur, les véhicules en libre-service (VLS) et la marche. Pour des recherches ultérieures, il sera important d'inclure l'autopartage basé station. Cette option est omise de ce mémoire, car ni l'utilisateur du taxi ni son système d'activité n'est connu. En effet, nous ne savons pas si la course de taxi est effectivement un aller-retour. Ainsi, la disponibilité de l'alternative autopartage basé station ne peut être déterminée avec les données présentes. Les temps de déplacement et les longueurs de déplacement sont ainsi compilés pour les modes transport collectif, vélo et marche. Des critères de faisabilité de déplacement à l'aide de modes alternatifs sont ainsi définis, pour soutenir l'analyse de disponibilité des alternatives. Une mesure de proximité des zones de service de l'autopartage libre-service est utilisée pour ainsi définir les critères de faisabilité avec de ce mode. De ce fait, une base de données de courses enrichie est ainsi construite pour une analyse de compétitivité, concernant les alternatives transport collectif, vélo et marche. Enfin, des indicateurs de compétitivité sont développés pour analyser la performance du mode taxi au sein des alternatives concernées et de mieux comprendre la part du marché du taxi, dans la fenêtre temporelle de septembre 2016. Cette analyse permettra de déterminer si les déplacements par taxi ont été faits dans des conditions qui rendent le taxi attractif. En effet, une hypothèse est que ces déplacements ont été effectués lorsque les indicateurs de compétitivité démontrent des conditions favorables au taxi. Or si tel n'est pas le cas, il sera intéressant d'étudier profondément les facteurs qui ont favorisé le choix du taxi. Un schéma méthodologique est présenté à la Figure 3.1.

3.1 Concepts clés

Certains concepts sont établis d'emblée. Le temps est défini en minutes et peut se présenter en plusieurs formes selon les modes concernés : temps en véhicule, temps d'accès à l'origine et à la

destination, temps d'attente, temps de correspondance, temps de stationnement, ou temps de paiement. Les longueurs de déplacement sont mesurées en kilomètres. Les coûts monétaires de déplacements s'évaluent en valeur monétaire, selon la devise canadienne. Ainsi, le prix de la course de taxi est une composante du coût de déplacement, de nature monétaire.

3.2 Description de l'étude de cas

Le cadre spatial de cette étude de cas est l'île de Montréal. Les courses de taxi utilisées dans ce mémoire proviennent de l'intermédiaire Taxi Diamond et couvrent la période temporelle du 1er au 30 septembre 2016. Le mode taxi offre un temps de parcours comparable au temps de parcours offert par l'automobile. Certes, il est un mode ayant un coût élevé « out-of-pocket » et une tarification au kilomètre et à la minute. Certains enjeux d'envergure se présentent à l'industrie du taxi, dû à la popularisation des Transportation Network Companies (TNC) comme UBER en 2016 et à la déréglementation de l'industrie. D'autre part, la demande en déplacement par taxi est mise en parallèle avec la tenue de certains événements majeurs, l'influx de touristes, la variabilité des conditions météorologiques et le niveau de service d'autres offres de transport. En comparaison, l'utilisation des autres modes de transport est liée à la densité de population, d'emplois et au temps de parcours et plus généralement au temps de déplacement associé au mode en particulier.

3.3 Méthodologie générale

Un schéma méthodologique présenté ci-dessous, à la Figure 3.1, énonce les procédés méthodologiques orchestrés aux sections 3.4, 3.5 et 3.6. Il contient les sources de données, les paramètres de validation des courses et d'enrichissement de la base de données, en vue de l'analyse de compétitivité.

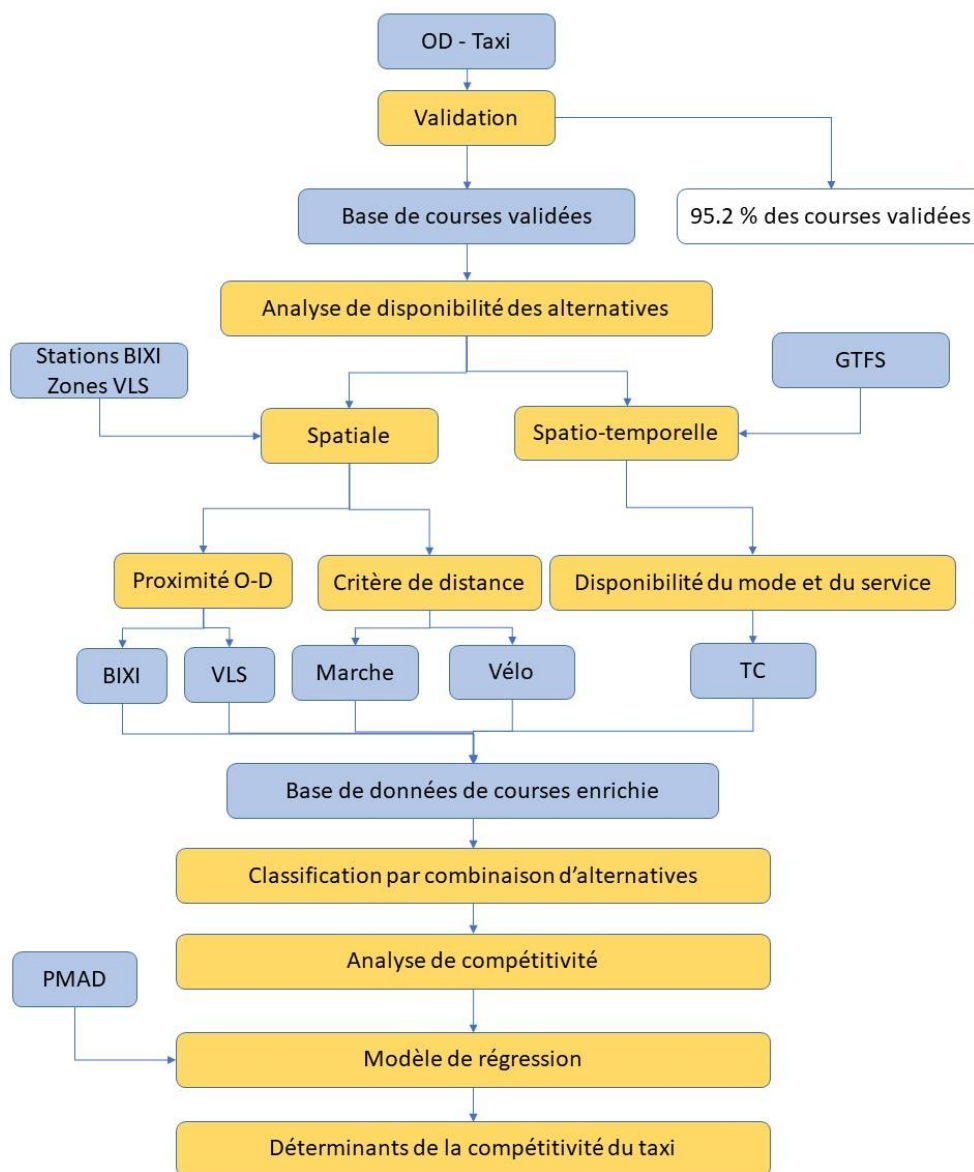


Figure 3.1 Schéma méthodologique

3.4 Sources de données

En vue d'effectuer une analyse de disponibilité et de compétitivité sur les courses de taxi, une procédure de traitement et de préparation de données est orchestrée sur les origines et destinations des courses de Taxi Diamond, couvrant la période de septembre 2016. Les jours compris inclusivement entre le 26 et 29 septembre sont omis de l'échantillon. Les méthodologies précédentes développées par Lacombe (2016) et Laviolette (2017) permettent de reconstituer les

courses de taxi, à partir des traces GPS. D'autres données telles que les tracés d'autoroutes et ponts compris dans la Géobase de la ville de Montréal permettent de filtrer les origines et destinations des courses de taxi qui se situent sur des segments routiers valables. Les secteurs municipaux de l'agglomération de Montréal permettent de circonscrire l'analyse sur l'île de Montréal. Les données GTFS de la STM et d'Exo de l'automne 2016 sont utilisées et traitées en conjonction avec les données géoréférencées des stations BIXI et des aires de service VLS (Auto-mobile/Share Now) de l'année 2016. Ainsi, les données de précipitations d'Environnement Canada et les usages dominants provenant du PMAD sont croisés avec la base de données de courses pour la caractérisation des courses de taxi.

3.4.1 Données des courses de taxi

Les courses de taxi de Taxi Diamond de septembre 2016 sont reconstituées à travers l'algorithme de Laviolette (2017). Les courses de taxi sont importées dans le système de géométrie métrique MTM Zone 8, standard de référence de la ville de Montréal. La table des courses comprenant la géométrie des origines et des destinations, est ainsi indexée pour accélérer l'exécution des requêtes (Laviolette, 2017).

Tableau 3.1 Champs des données taxi

Champ	Description du champ	Champ	Description du champ
course_id	Identifiant de la course	heur_arriv	Heure d'arrivée de la course
x_orig	Latitude de l'origine de la course	duree	Durée de la course
y_orig	Longitude de l'origine de la course	cout	Prix de la course
x_dest	Latitude de la destination de la	distance	Distance de la course
y_dest	Longitude de la destination de la	att_taxi	Temps d'attente pour un taxi
heur_dep	Heure de début de la course		

Les données géoréférencées de la base routière du portail ouvert de la Ville de Montréal permettent d'extraire les autoroutes et ponts. Les informations caractérisant les courses en taxi rassemblent l'identifiant unique de la course, les coordonnées d'origine, les coordonnées de destination, les heures de départ et d'arrivée, la durée et la distance, tel qu'en témoigne le Tableau 3.1. À ceux-ci se rajoute le coût du déplacement estimé en appliquant la formule de tarification de transport par taxi de la Commission de Transport du Québec (CTQ), explicitée ci-dessous (cité par (Laviolette, 2017)) Ainsi, cette tarification implique le prix au départ, le prix par kilomètre parcouru avec un

client et le prix par minute d'attente. En effet, le prix de départ est fixé à 3,50 \$ et appliqué au début de la course. Pour sa part, le coût par kilomètre parcouru est évalué à 1,75 \$/km. Enfin, le prix d'attente est défini à un taux de 0,65 \$ par minute. De plus, il s'applique à la tarification lorsque la vitesse instantanée du véhicule se situe en deçà d'une vitesse de transition, estimée à 22,38 km/h. Sinon, au-delà de ce seuil de transition, le prix par kilomètre est utilisé.

$$\text{Prix de la course (\$)} = 3,45 \$ + \frac{1,70 \$}{\text{km}} + \frac{0,63 \$}{\text{min}}$$

3.4.2 Méthodologie de calcul de chemin

Pour ainsi esquisser le portrait de la compétitivité des autres modes avec le mode taxi, les temps de déplacement et les longueurs de déplacement sont calculés pour des déplacements alternatifs, pour les mêmes origines et destinations que les courses de taxi. Les modes alternatifs dont le temps de déplacement est étudié sont les modes transport collectif, vélo et la marche. Plusieurs suppositions sont prises en compte. Des temps de déplacement et des longueurs équivalentes à la marche et à vélo sont obtenus avec le calculateur de chemin de la Chaire Mobilité, à l'aide de l'API d'OSRM. Ces calculs sont entrepris sur les réseaux cyclables et routiers de l'île de Montréal en 2016. De plus, un calcul de chemin TC est réalisé pour chaque paire O-D, avec *Transition*. Les temps de déplacement en transport collectif sont calculés en utilisant le réseau bus et métro de la Société de Transport de Montréal et le réseau de train de banlieue d'Exo, provenant des données GTFS de l'automne 2016, respectivement des deux exploitants. En effet, un temps minimisé de déplacement est calculé pour optimiser le temps de déplacement, en assurant un temps minimal de 3 minutes d'attente avant chaque embarquement. Ainsi, le temps minimisé en transport collectif inclut le temps en véhicule, le temps d'accès à la destination, le temps d'accès à l'origine, le temps de marche en correspondance, le temps d'attente total et le temps d'attente en correspondance. De plus, un maximum de vingt minutes de temps d'accès à la marche (origine, destination et en correspondance) est fixé. Pour des études ultérieures, il est jugé pertinent de prendre en compte le coût monétaire des trajets alternatifs tout comme pour le trajet TC, composante qui peut être soumise à une analyse de sensibilité. Il est supposé, par exemple, que l'utilisateur qui prend le taxi ait pu acheter du carburant pour effectuer son trajet (mode AC), ou soit acheter des titres unitaires pour faire usage du transport collectif (mode TC). Il est vrai que les utilisateurs ont souvent des laissez-passer mensuels, ainsi réduisant l'impact et la perception du coût monétaire du trajet. À cet

effet, les trajets AC ou TC peuvent présenter une composante monétaire perçue nulle (Lacombe, 2016; Pelletier-Grenier, 2018).

3.5 Validation des courses brutes

Le traitement de données comprend le repérage et l'élimination des courses considérées non valides selon plusieurs critères, ce qui assure une base de courses avec une portée explicative pour l'analyse de compétitivité subséquente. La base de données de courses s'échelonne sur le mois de septembre 2016.

3.5.1 Pré-filtrage des reconstitutions des courses

Selon les méthodologies précédentes, le pré-nettoyage des traces GPS et la reconstitution des courses actuelles étaient basés sur des critères, tels qu'une distance et une durée positive ou l'appartenance à l'agglomération montréalaise (Geneste, 2017; Lacombe, 2016). D'autres critères ont été développés, selon un algorithme de nettoyage et de reconstitution des courses de taxi. Des seuils de distance, de durée et de vitesse moyenne ont été dérivés par localisation de points d'inflexion (Laviolette, 2017)

- Durée minimale à 1 minute 30
- Distance parcourue minimale à 400 m
- Distance à vol d'oiseau minimale à 200 m
- Vitesse moyenne minimale à 5 km/h
- Vitesse moyenne maximale à 120 km/h
- Durée maximale à 1h30 et ratio de distance de 5

3.5.2 Second filtrage

Sur l'actuel jeu de données, un filtrage spatial, plus exhaustif, est entrepris. Il consiste en deux étapes. D'emblée, le filtrage des origines et destination de courses sur l'île de Montréal est effectué. Il est succédé par une validation des courses de taxi n'ayant pas une origine sur un tronçon d'autoroute ou un pont.

3.5.2.1 Filtre 1 : Ile de Montréal

Pour les fins de ce projet, en vue d'étudier la compétitivité d'un déplacement par taxi parmi ses alternatives, il est choisi de cibler une zone d'étude, comprenant une multiplicité d'alternatives. Ainsi, un filtrage est effectué au sein des 113 secteurs municipaux de Montréal (SM), qui représentent l'île de Montréal, pour cibler les SM qui regroupent une combinaison substantielle d'offre de transport en bus, en métro, en vélopartage, en autopartage. Certes, les courses se dirigeant à Laval ou à Longueuil ne représentent que 3 % des courses faites par Taxi Diamond pour le mois étudié. Ainsi, les secteurs municipaux de l'île de Montréal semblent visiblement une zone d'étude appropriée, car ils regroupent une importante offre en transport collectif (bus, métro, et train de banlieue), en stations BIXI et en zone VLS.

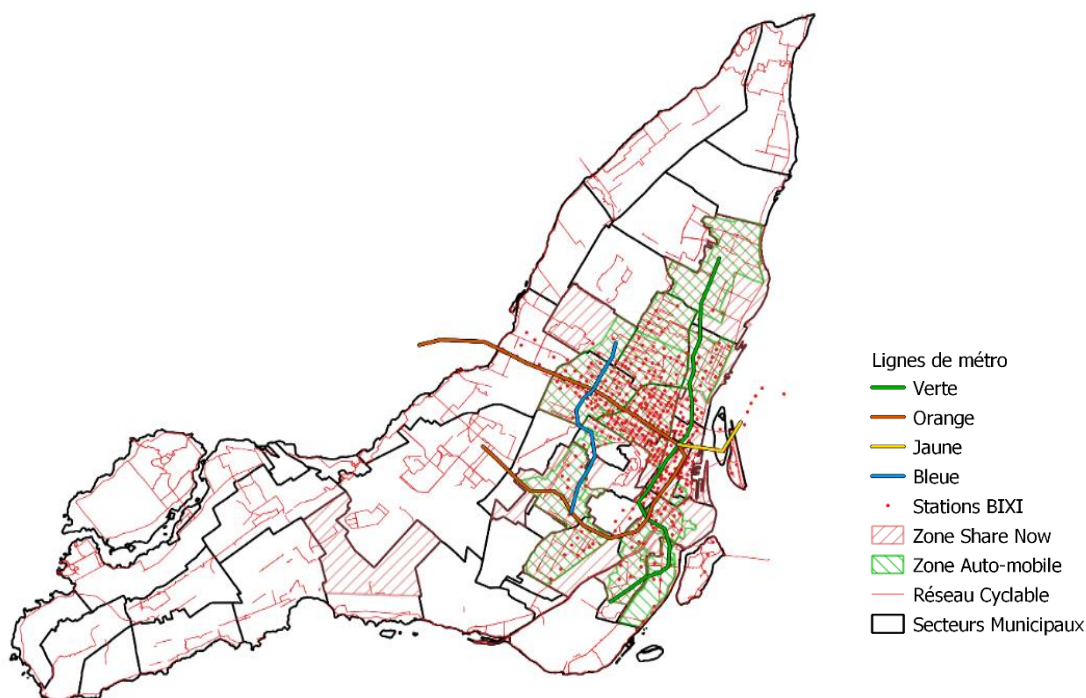


Figure 3.2 Différentes alternatives sur l'île de Montréal

3.5.2.2 Filtre 2 : Autoroutes et Ponts

Enfin, de toute évidence, une course ne peut avoir une origine ou une destination sur un tronçon d'autoroute, sauf si elle se situe dans une bretelle ou une voie de desserte. Ainsi un filtre spatial est appliqué pour filtrer ces courses. Certes, il est important de remarquer qu'au niveau de la voie de desserte des tronçons d'autoroute surélevée, des traverses automobiles permettent de s'orienter

dans la voie de desserte dans la direction opposée. En effet, si une course de taxi commence ou prend fin à un tel point, elle est valide. De ce fait, l'application de ce filtre peut constituer une source d'erreurs.

3.5.3 Analyse descriptive du filtrage

De prime abord, une analyse fréquentielle permet de mettre en évidence des différences potentielles entre deux sous-ensembles de données : les courses valides et les courses non valides. Une hypothèse peut être soumise selon laquelle il y a une adéquation entre les distributions fréquentielles des heures de départ des courses validées et de celles des courses non valides. Il est rappelé que le risque de première espèce est la probabilité d'effectuer une erreur en rejetant l'hypothèse nulle. En fin de compte, on peut estimer un faible risque de première espèce ($p < 2,2 \times 10^{-16}$) au sein des comparaisons respectives des distributions des heures de départ, à l'aide d'un test du χ^2 . Un constat similaire peut être émis compte tenu des longueurs de course, après l'application d'un test de Welch.

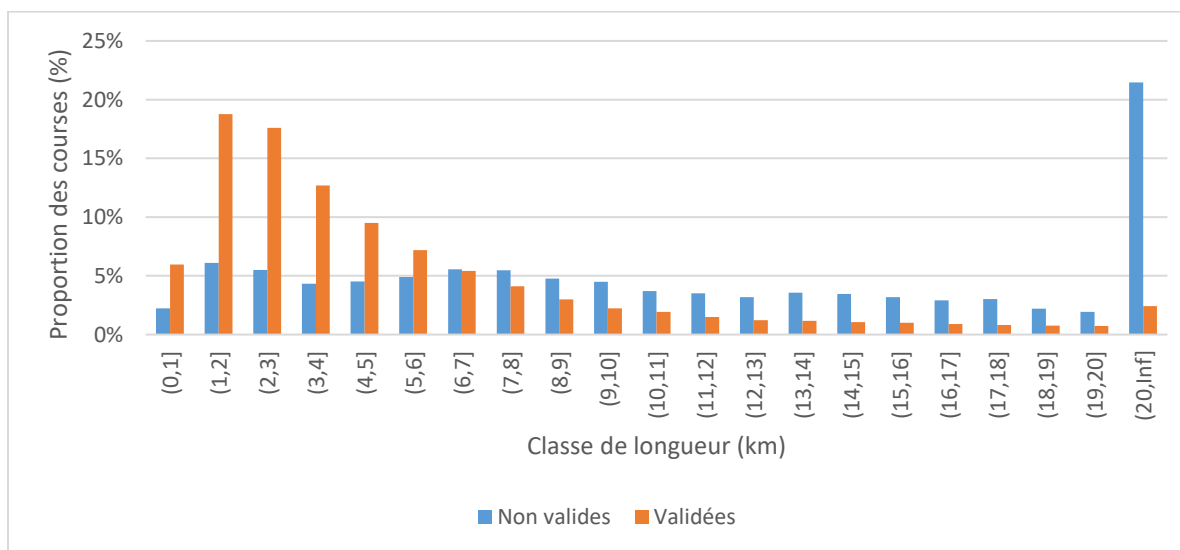


Figure 3.3 Distributions fréquentielles des longueurs de courses (non valides et validées)

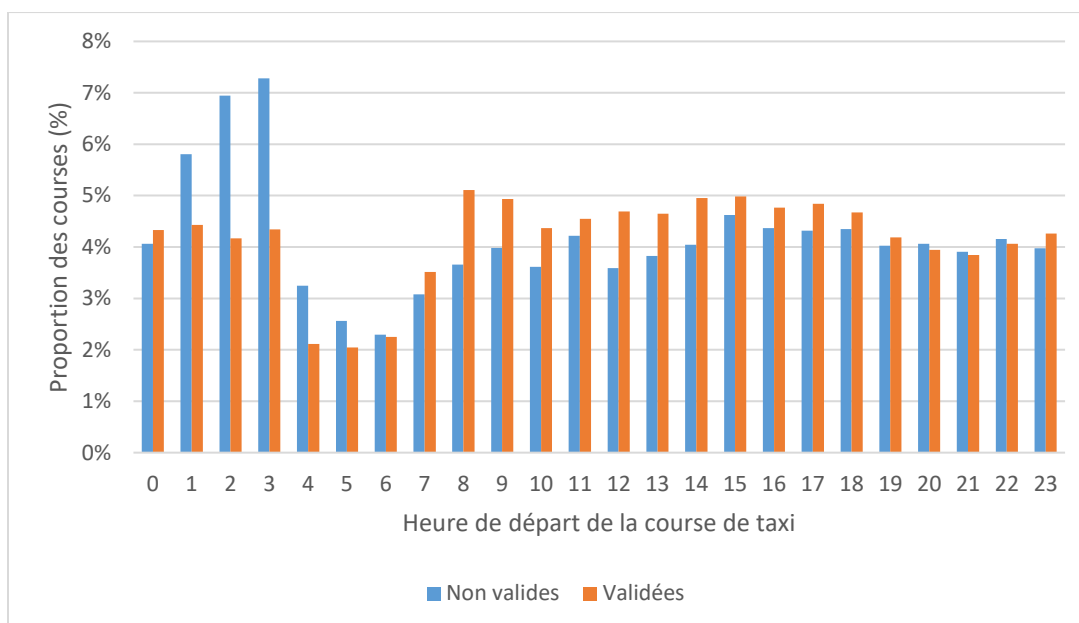


Figure 3.4 Distributions fréquentielles des heures de départ (non valides et validées)

Ainsi, une différence significative est observée entre les distributions fréquentielles des courses validées et non valides. Tel qu'observé aux Figure 3.3 et Figure 3.4, le filtrage a éliminé, en plus grande proportion, les courses dont la longueur excédait 20 km et celles prenant place entre 1h et 3h du matin. De ce fait, il est intéressant d'observer la variabilité de ce phénomène compte tenu du jour de la semaine, en termes de longueur moyenne de déplacement. Un test de Welch pairé est effectué, par jour, sur les longueurs moyennes des courses non valides et validées. Il est possible de remarquer au Tableau 3.2 que l'hypothèse nulle de l'égalité des longueurs moyennes journalières peut être rejetée pour tous les jours de la semaine. Ainsi, le filtrage affecte tous les jours de la semaine, en termes de distributions de longueurs et d'heure de départ. En somme, des 240 554 courses brutes, 229 131 courses de taxi sont validées pour les analyses subséquentes, soit un échantillon de 95,2 %.

Tableau 3.2 Test de Welch sur les longueurs moyennes journalières

Jour de la semaine	p-value
Samedi	< 2,2e-16
Dimanche	< 2,2e-16
Lundi	< 2,2e-16
Mardi	< 2,2e-16
Mercredi	< 2,2e-16
Jeudi	< 2,2e-16
Vendredi	< 2,2e-16

Tableau 3.3 Sommaire de la validation

<i>Filtres</i>	Nombre restant d'observations	Proportion
<i>Courses pré-filtrées</i>	240 554	100 %
<i>Filtre 1: Origine ou destination en</i>	233 151	97,0 %
<i>Filtre 2: Origine ou destination</i>	229 131	95,2 %
<i>Courses validées</i>	229 131	95,2 %

3.6 Enrichissement de la base de courses de taxi

Les vecteurs origines-destinations sont caractérisés temporellement selon le jour ou le type de jour (semaine ou fin de semaine) et la période de la journée (selon la définition fournie par l'Enquête O-D 2013) de la course. Afin de proposer une explication aux fluctuations de demande en déplacements par taxi, plusieurs autres variables discrètes sont incorporées dans la base de données. Ainsi, nous trouvons des variables se rapportant au jour de la semaine, aux précipitations ainsi qu'à l'usage dominant du sol. L'intensité des précipitations est extraite des données historiques d'Environnement Canada. En utilisant la base de données de courses reconstituées des traces GPS en conjonction avec la base de données transactionnelles (qui regroupe les courses commandées), le temps d'attente pour un taxi est retracé. Or pour toutes les courses hélées (non commandées), un temps d'attente n'est pas enregistré.

Tableau 3.4 Champs de caractérisation du déplacement taxi

Champ	Description
Is_ppam	Le déplacement s'effectue en pointe du matin (5 :00-9h00)
Is_jour	Le déplacement s'effectue pendant le jour (9 :00-14h59)
Is_pppm	Le déplacement s'effectue en pointe de l'après-midi (15h00-18h59)
Is_soiree	Le déplacement s'effectue en soirée (19h00-23h59)
Is_nuit	Le déplacement s'effectue pendant la nuit (00h00-4 :59)
is_Mondav	Le déplacement a lieu un lundi
is_Tuesday	Le déplacement a lieu un mardi
is_Wednesday	Le déplacement a lieu un mercredi
is_Thursday	Le déplacement a lieu un jeudi
is_Friday	Le déplacement a lieu un vendredi
is_Saturday	Le déplacement a lieu un samedi
is_Sunday	Le déplacement a lieu un dimanche
Precip	Précipitations de pluie en mm
util_o	Usage dominant à l'origine
util_d	Usage dominant à la destination

3.6.1 Faisabilité d'un déplacement TC

Pour établir la transférabilité d'un déplacement taxi sur le réseau de transport en commun, il a été important d'étudier les distributions des décalages entre l'heure de départ TC et l'heure de départ de la course de taxi. L'heure de début de la course ne correspond pas nécessairement à l'heure souhaitée de déplacement. Pour évaluer les trajets possibles en transport collectif, un tampon temporel est ajouté à l'heure observée de la course. Pour les fins de simulation des trajets possibles en TC, on suppose que l'heure de départ des déplacements peut être reculée ou avancée par rapport au temps de départ de la course de taxi. Par exemple, l'usager peut ajuster son heure de départ pour arriver 3 minutes avant le premier embarquement. Cet écart est dénoté tel que le décalage de l'heure de départ. On suppose que l'usager a pu sortir plus tôt pour attraper un bus et minimiser l'attente initiale, qui est présumée pénalisante dans la fonction de coût généralisé. En analysant les distributions du temps de décalage absolu de temps de départ TC-Taxi (en s'appuyant sur les simulations de trajets TC), un plateau et un point d'inflexion de la courbe du décalage des heures de départ TC-Taxi sont observés au sein de l'intervalle [16-17 min[. Donc, il est établi qu'au-delà de 16 minutes de décalage de l'heure de départ, le déplacement en TC n'est plus faisable. Le décalage de l'heure de départ ne fera pas l'objet d'analyses dans les chapitres subséquents.

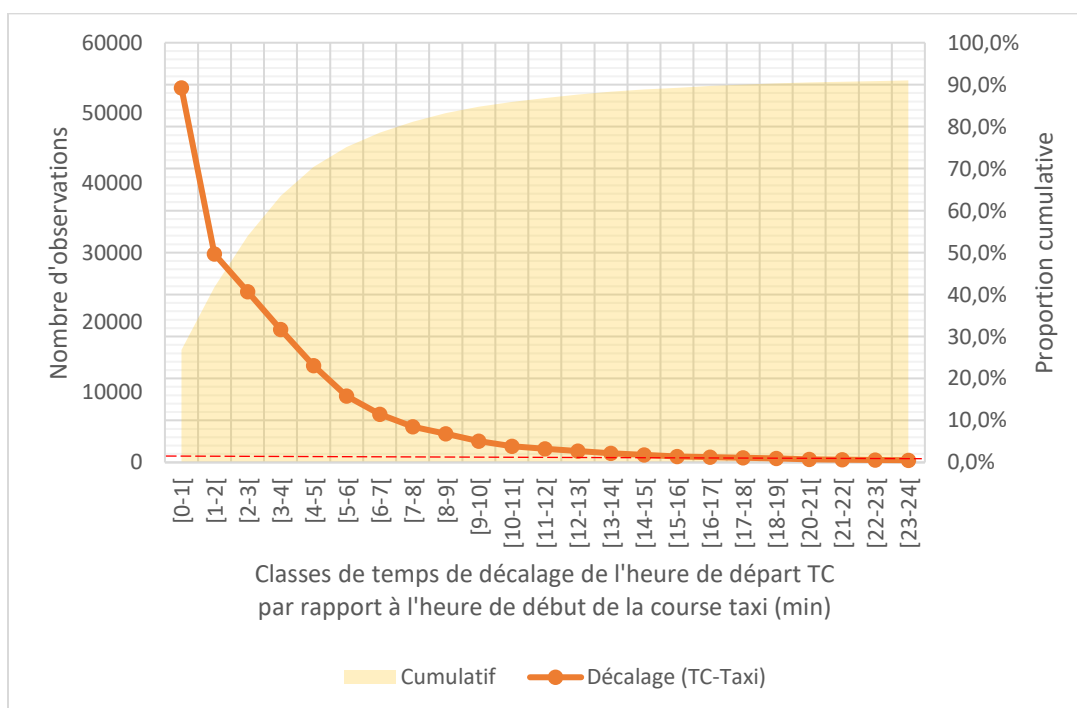


Figure 3.5 Détermination d'un seuil de décalage des heures de départ

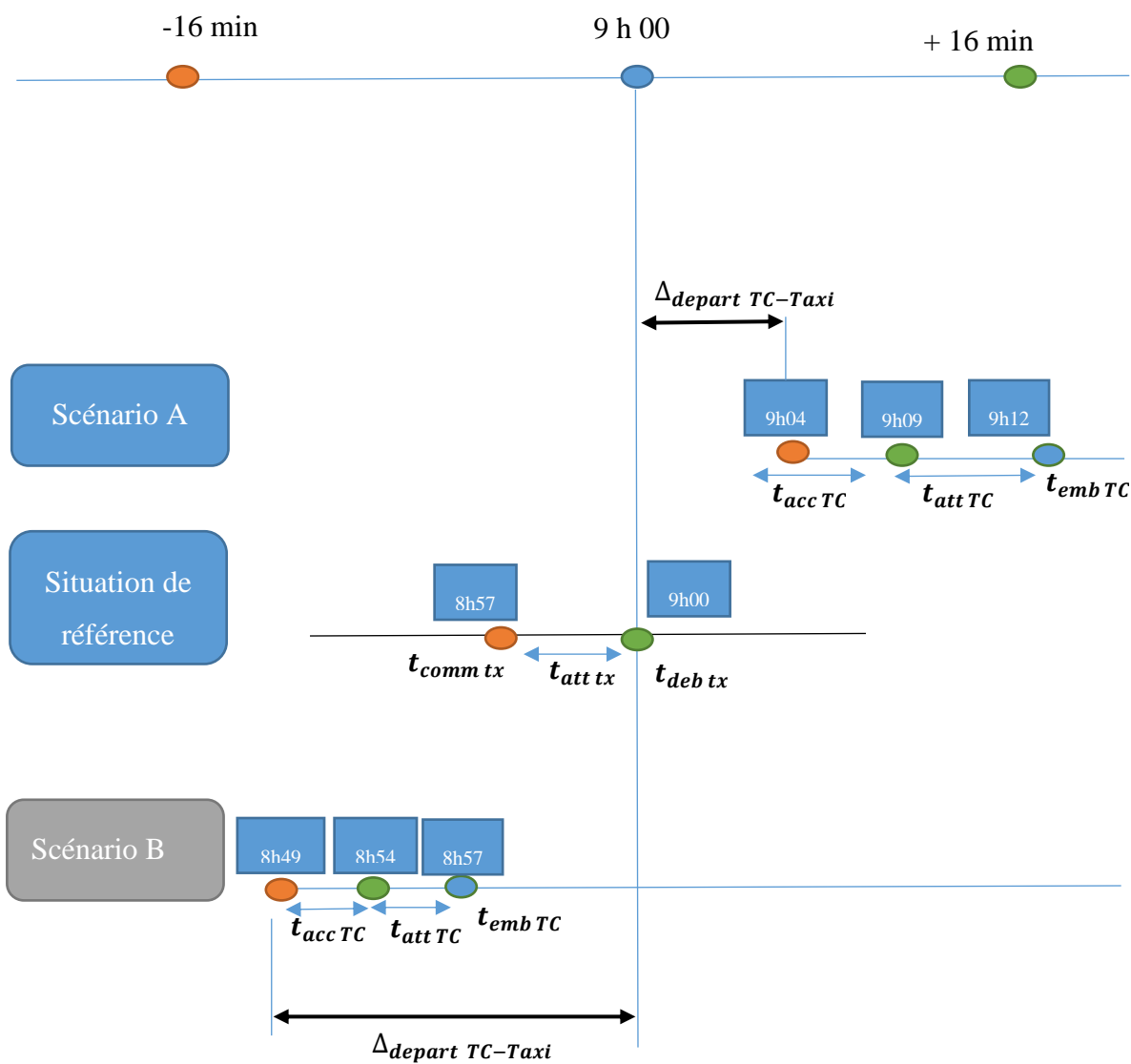


Figure 3.6 Scénarios de décalage entre les heures de départ du TC et du taxi

Les variables utilisées sur le schéma explicatif sont explicitées ci-dessous.

$\Delta_{depart\ TC-Taxi}$: décalage entre les heures de départ du TC et du taxi

$t_{acc\ TC}$: temps d'accès au TC à l'origine

$t_{att\ TC}$: premier temps d'attente TC (3 min)

$t_{emb\ TC}$: Temps d'embarquement TC

$t_{comm\ tx}$: Temps de commande de la course de taxi

$t_{att\ tx}$: Temps d'attente pour un taxi commandé

$t_{deb\ tx}$: Temps de début de la course de taxi

Ayant trait aux seuils d'acceptabilité de longueurs d'accès au TC, des limites sont souvent établies à 400 m pour le bus et 800 m pour les modes sur rail (métro, train léger, train de banlieue). Or, au sein de la région métropolitaine Montréalaise, des seuils ont été observés au 85^e percentile à 500 m (bus) et 1200 m (train de banlieue) (El-Geneidy, Grimsrud, Wasfi, Tetreault, & Surprenant-Legault, 2014). De plus, en observant les distributions des temps d'accès simulés en TC, dans notre cas d'étude, au 90^e percentile, la classe de temps d'accès est atteinte à 10 minutes à la Figure 3.7, tant à l'origine et à la destination. En effet, un temps d'accès acceptable au mode sur rail est souvent évalué à 10 minutes (Pongprasert & Kubota, 2017; Vuchic, 2005). Selon Pelletier-Grenier (2017), la réflexion tend à un certain seuil de longueur en TC, en dessous duquel les déplacements TC sont transférables à la marche (Pelletier-Grenier, 2018). De ce fait, les paramètres utilisés dans Transition impliquent une interaction entre le temps d'accès TC et le temps à la marche. Ainsi, la somme des temps d'accès TC est inférieure au temps de déplacement à la marche.

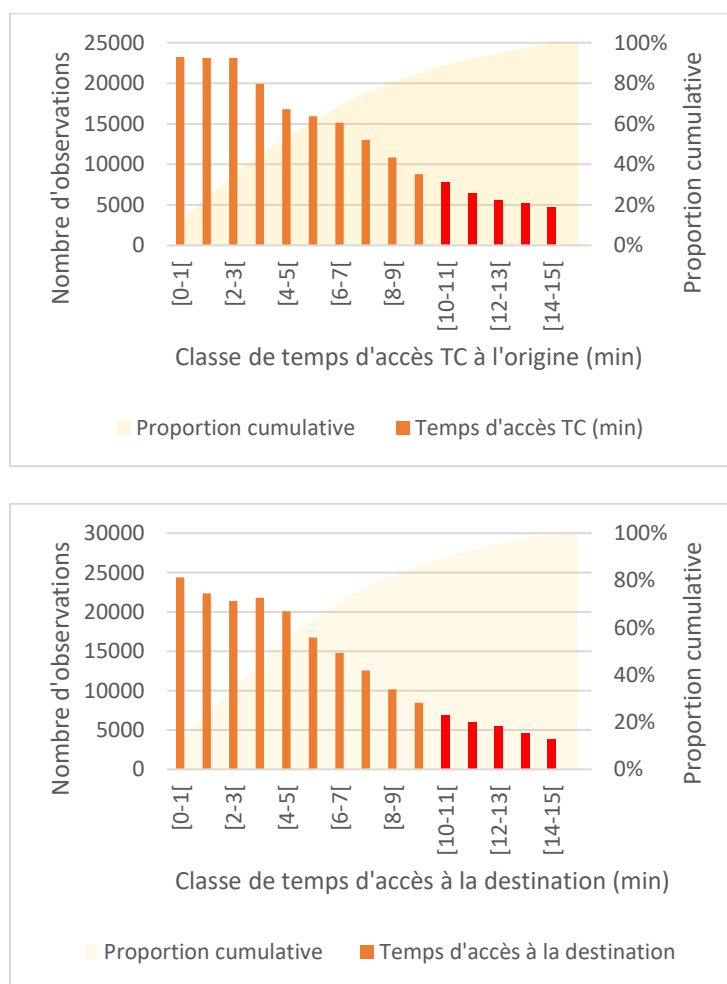


Figure 3.7 Distribution fréquentielle du temps d'accès (origine et destination)

3.6.2 Faisabilité d'un déplacement vélopartage et VLS

Une matrice de distance entre les origines et destinations de courses de taxi et les stations BIXI permet de calculer l'accessibilité à une ou plusieurs stations BIXI, à un rayon d'accès de 500 m. Le déplacement implique l'accrochage du vélo ou le stationnement du véhicule libre-service à la destination, selon ce même rayon d'accessibilité. Cela est valable aussi pour le mode autopartage où les zones Share Now et Auto-mobile permettent d'estimer si le VLS a pu être utilisé pour faire le déplacement. Le critère d'une distance euclidienne maximale de 500 mètres entre les extrémités de courses et les zones de service Auto-mobile ou Share Now (zone VLS) est posé.

3.6.3 Formulation des temps estimés de déplacement

Les temps estimés de déplacement, pour les modes considérés, sont constitués par la sommation des composantes du temps de déplacement.

$t_{\text{taxi}} = \text{temps d'attente pour un taxi} + \text{temps de déplacement en taxi}$

$t_{\text{TC}} = \text{temps d'attente} + \text{temps d'accès à l'origine} + \text{temps d'accès à la destination} + \text{temps de correspondance} + \text{temps en véhicule en transport en commun}$

$t_{\text{vélo}} = \text{temps de déplacement en velo}$

$t_{\text{marche}} = \text{temps de déplacement à la marche}$

3.6.4 Calcul du ratio de compétitivité

Pour tenter de quantifier la compétitivité entre les divers modes de transport et d'offrir des indicateurs à la prise de décision pour les utilisateurs et les planificateurs, il faut établir des mesures communes à travers lesquelles plusieurs modes peuvent être évalués. La compétitivité d'un déplacement taxi par rapport à une alternative peut se mesurer par un ratio de temps estimé de déplacement (Grenier-Pelletier, 2018).

$$r_{\frac{\text{alternative}}{\text{taxi}}} = \frac{t_{\text{alt}}}{t_{\text{taxi}}}$$

où t_{alt} est le temps de déplacement à bord de l'alternative

alt : TC, vélo, marche

3.6.5 Récapitulatif des règles de faisabilité des déplacements alternatifs

Le portrait des alternatives au moment du début et de la fin de la course de taxi est bâti. Il est estimé qu'il y a un temps d'accès à la marche pour les modes vélopartage, TC et VLS, à l'origine et à la destination. Les normes de service de la Société de Transport de Montréal sont prises en compte dans l'établissement du rayon du cercle de compétitivité. En se basant sur la littérature et les normes de service de la STM, un rayon de compétitivité est défini à une distance euclidienne de 500 m autour de l'origine et de la destination des courses. Cela sera utile pour la détermination des règles de faisabilité pour le vélopartage et l'autopartage. Néanmoins, à partir des données de l'enquête O-D 2013, un déplacement à la marche est jugé faisable, si la longueur du déplacement est en dessous du seuil de 1,3 km (Lefebvre-Ropars, 2017). Pour le vélo, la distance seuil se situe à 5,0 km (Godefroy & Morency, 2012).

Ainsi, les règles établies pour retenir les trajets faisables à partir d'autres modes sont récapitulées ci-dessous.

1. Un déplacement fait à la marche ne peut dépasser 1,3 km
2. Un déplacement effectué à vélo ne peut dépasser 5,0 km
3. Un déplacement TC est plausible si le décalage de l'heure de départ absolu est limité à 16 min
4. Un déplacement TC est plausible si le temps total en véhicule est non nul
5. Un déplacement TC est plausible si la somme des temps d'accès à l'origine et à la destination sont respectivement inférieurs ou égaux au temps en véhicule total TC
6. Un déplacement BIXI est plausible si une station BIXI est disponible à une distance de 500 m ou moins de chaque extrémité de la course de taxi
7. Un déplacement VLS est plausible si les origines et destinations de courses sont comprises à moins de 500 m d'une zone d'autopartage libre-service



Figure 3.8 Schéma conceptuel de la caractérisation des alternatives

Tableau 3.5 Champ de la caractérisation des autres alternatives

Champ	Description	Valeur
tc_od	Disponibilité du service TC	1 si règles 3-5 sont respectées 0 sinon
velo_od	Longueur de déplacement à vélo sous le seuil de faisabilité	1 si $l_{velo} \leq 5,0 \text{ km}$ 0 sinon
marche_od	Longueur de déplacement à la marche sous le seuil de faisabilité	1 si $l_{marche} \leq 1,3 \text{ km}$ 0 sinon
bixi_od	Stations BIXI disponibles à un rayon de 500m (distance euclidienne) de l'origine et de la destination	1 si $distance_{O \rightarrow BIXI}$ et $distance_{D \rightarrow BIXI} \leq 500 \text{ m}$ 0 sinon
autom_od	Origine et Destination à un rayon de moins de 500m d'une zone Auto-mobile (distance euclidienne)	1 si $distance_{O \rightarrow atm}$ et $distance_{D \rightarrow atm} \leq 500 \text{ m}$ 0 sinon
sharenow_od	Origine et Destination à un rayon de moins de 500m d'une zone Share Now (distance euclidienne)	1 si $distance_{O \rightarrow SN}$ et $distance_{D \rightarrow SN} \leq 500 \text{ m}$ 0 sinon

CHAPITRE 4 FAITS SAILLANTS DE LA DEMANDE EN TAXI

Les matrices O-D des courses de taxi sont caractérisées selon leurs caractéristiques temporelles et spatiales. Les courses validées de septembre 2016, totalisant 229 131 courses de taxi, sont utilisées. Une analyse descriptive des courses de l'échantillon est entreprise pour brosser le portrait spatio-temporel de la demande en courses de taxi. Les différentes propriétés de la demande seront analysées : usage quotidien et horaire, distance, durée, prix et temps d'attente (courses commandées). De plus, les circonstances spatiales de la réalisation des courses de taxi sont étudiées, en les croisant avec les secteurs municipaux et les aménagements du territoire planifiés du *Plan métropolitain d'aménagement et de développement* aux origines et destinations des courses. Un accent est porté sur les différences significatives entre les courses commandées et hélées pour chaque indicateur.

4.1 Demande journalière et horaire

En moyenne, le cycle hebdomadaire se caractérise par une hausse de la demande entre jeudi et dimanche, culminée par un pic de demande, ayant lieu le vendredi. Par la suite, une diminution se démarque entre le samedi et le mardi. Cela confirme d'autres études sur des échantillons d'années similaires ou différentes (Laviolette, 2017; Lacombe, 2016). Serait-il possible qu'une distinction se trace entre le marché des courses commandées et des courses hélées? À l'issue d'un test du X^2 , l'hypothèse nulle de l'adéquation des distributions de demandes hebdomadaires, entre les courses hélées et commandées, peut être rejetée ($p\text{-value} < 0.05$). Ainsi, une différence statistique s'impose entre les demandes en courses hélées et commandées, selon les jours de la semaine. Il est tout aussi pertinent d'étudier les disparités entre les patrons journaliers horaires. Les patrons se définissent par la proportion des courses réalisées par heure de départ de la course, pour une journée en particulier. Sont-ils similaires ou se distinguent-ils selon le jour de la semaine ou l'heure de départ de la course? De ce fait, en scrutant les distributions des courses commandées et hélées en ce qui concerne les jour-heures, il est intéressant d'examiner plus profondément le facteur du type de la course. De ce fait, un test du X^2 a été réalisé sur les proportions par heure de la semaine, dont l'hypothèse nulle consiste dans l'égalité des proportions horaires de la demande. Le risque de première espèce est la probabilité d'effectuer une erreur en rejetant l'hypothèse nulle. Avec un faible risque de première espèce, qui est supérieur au seuil défini à 0,05, la demande journalière varie selon le type de la course, selon le Tableau 4.1. L'adéquation de la distribution horaire de la

demande en matière de courses commandées à la distribution pour les courses hélées est ainsi faible. En somme, les distributions journalières et horaires des courses commandées et hélées ne sont pas similaires, dans l'ensemble, sur le mois de septembre.

Tableau 4.1 Distribution journalière de la demande par type de course (1000 Taxis)

Jour	Courses hélées	Courses commandées	Proportion totale (%)
Dimanche	18388	12702	14 %
Lundi	9816	10108	9 %
Mardi	11149	12480	10 %
Mercredi	12496	12926	11 %
Jeudi	19390	19564	17 %
Vendredi	27815	25008	23 %
Samedi	22242	15047	16 %
Total	121296	107835	100 %

De ce fait, les variabilités horaires de la demande, entre les courses hélées et commandées, sont significatives, tel qu'observé à la Figure 4.1 et à la Figure 4.2. Une hypothèse subséquente est que si les caractéristiques des courses hélées et commandées ne sont pas similaires, leur compétitivité diffère selon les types de courses. Enfin, pendant les journées de samedi et de dimanche, l'adéquation est visible lors de transitions périodiques telles qu'au début de la période de la pointe du matin et de la soirée. Les proportions sont examinées par jour-heure et par type de course. Pour les courses commandées, une distinction s'observe entre les distributions des proportions horaires des courses selon le type de la journée, hormis pendant la période de la soirée. En effet, pour les jours de la semaine, une adéquation forte des patrons journaliers de proportions de la demande porte à croire qu'il n'y a pas de différence significative entre les jours de la semaine. Les courses du lundi au vendredi se démarquent par une plus grande proportion en pointe du matin et pendant les heures délimitées par la période du jour (définie par l'enquête O-D 2013). Il est possible d'identifier deux pointes distinctes : un minimum à 4 h du matin et un maximum à 9 h du matin. Par la suite, pendant la pointe du matin jusqu'à son sommet à 9 h, une croissance pentue de la proportion de la demande s'impose. Enfin, une phase de plateau, entre la période du jour et la pointe de l'après-midi, est suivie d'une période de décroissance pendant la soirée. En revanche, lors des jours de fin de semaine, les proportions des courses du samedi et du dimanche sont similaires à travers les heures de la journée. Ainsi, une croissance modérée de la proportion des courses s'observe entre ces heures culminant à 19 h. Une phase décroissante modérée, qui s'étend

de la soirée jusqu'à la nuit, s'observe tant pour la distribution horaire des proportions pour le samedi et le dimanche.

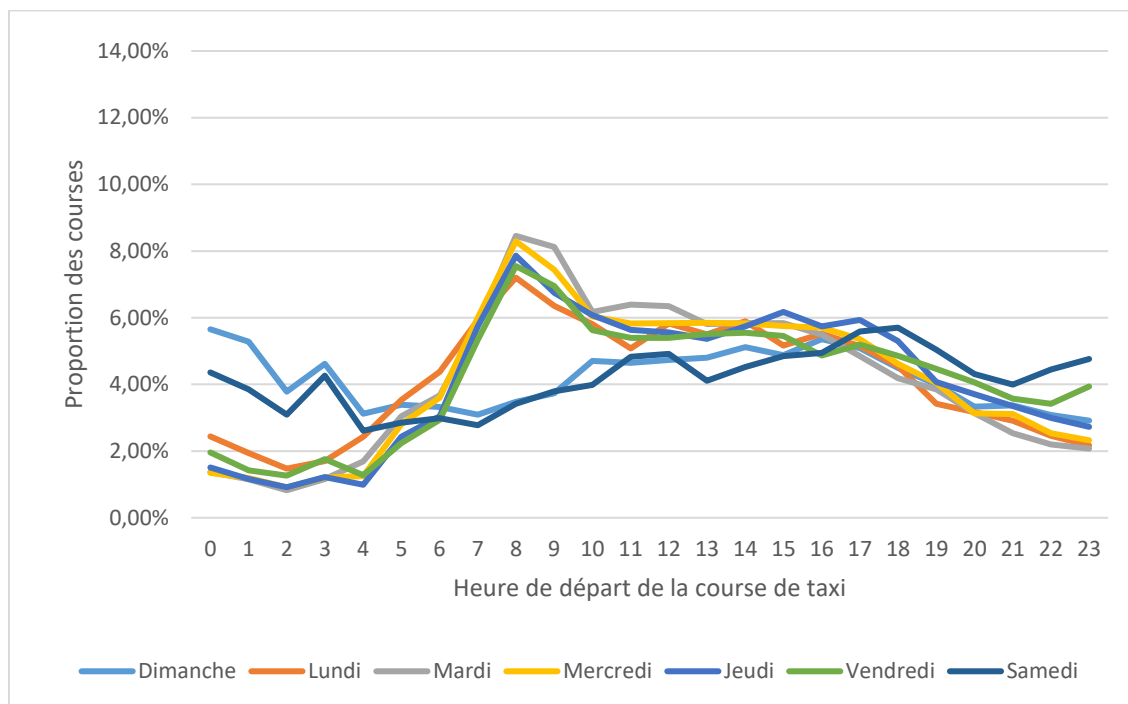


Figure 4.1 Proportions horaires des courses commandées par jour

D'autre part, pour les courses hélées, les patrons journaliers se distinguent principalement selon le type de la journée. Hormis cela, il est possible d'observer un patron homogène et uniforme, respectivement pendant les jours ouvrables et non ouvrables. Il est intéressant d'observer que, pour les courses hélées, des proportions de la demande similaires s'observent de la période du jour jusqu'à un point d'inflexion défini pendant la nuit, à 3 h. Ainsi, il est plus facile de définir une période selon laquelle les courses hélées sont moins fréquentes. Cette période de chute de la demande en courses hélée se définit par un phénomène de décroissance entre 3 h du matin jusqu'à un minimum à 5 h du matin, suivi d'une croissance de la demande jusqu'à la fin de la pointe du matin. Pendant les jours de fin de semaine, une forte adéquation s'observe à travers les heures de la journée. Ainsi, les patrons de samedi et de dimanche se caractérisent par une forte croissance de la proportion de la demande en courses hélées, pendant la nuit, jusqu'à une pointe à 3 h du matin. Par la suite, une phase de décroissance accentuée se démontre entre 3 h du matin et le début de la pointe du matin. Enfin, une période de stabilisation de faible proportion est mise à l'évidence

entre la fin de période de la pointe du matin jusqu'en soirée. En somme, les courses hélées, ayant lieu en fin de semaine, se caractérisent premièrement aux premières heures de la nuit.

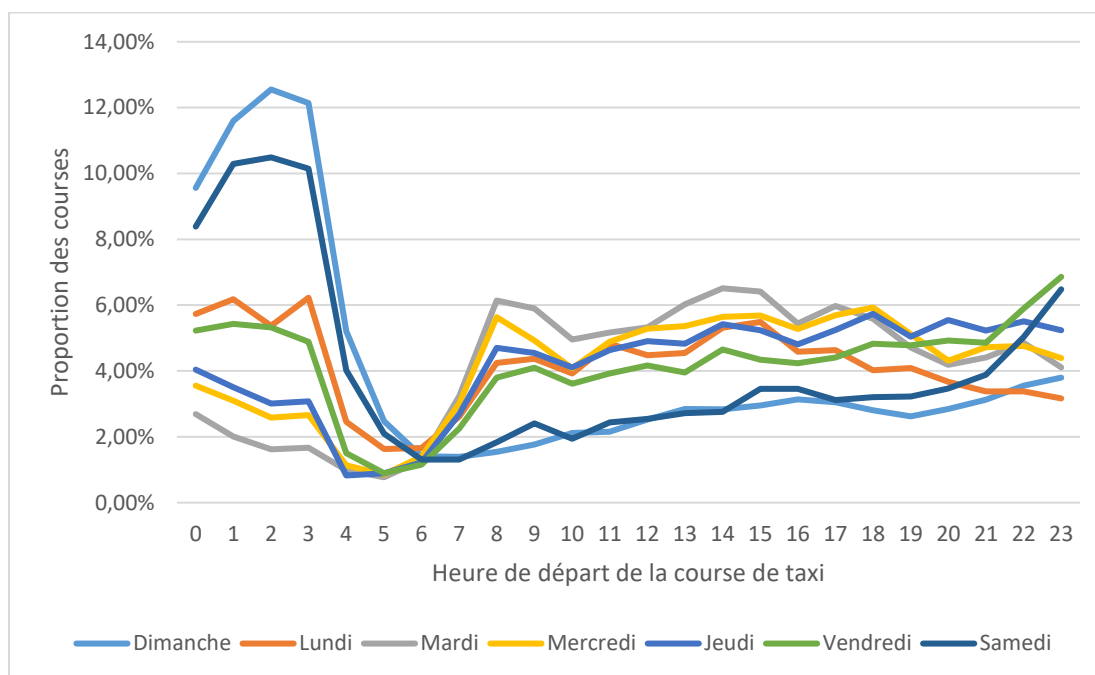


Figure 4.2 Proportions horaires des courses hélées par jour

Par une estimation de la densité par la méthode des noyaux, la répartition de la densité des origines et destinations des courses de taxi est étudiée pour les courses hélées et commandées. Ainsi, selon l'Annexe A, les origines des courses sont plus denses principalement au sein du centre-ville (> 1000 points d'origines par km²), soit pour les courses hélées et commandées. Cette même zone caractérise aussi principalement les destinations des courses. Certaines zones en périphérie où la densité des origines de courses est plus élevée sont pertinentes à caractériser.

4.2 Usages dominants à l'origine et à la destination

Généralement, une distinction est effectuée entre les courses hélées et commandées. Une évolution des aménagements du territoire aux origines et destinations, à travers les périodes de la journée, permet d'identifier des tendances d'utilisation du mode taxi, tant pour la génération que l'attraction des déplacements. Les zones provenant du PMAD (*Plan métropolitain d'aménagement et de développement*), comme montré à la Figure 4.3, ont été utilisés pour définir les usages dominants.

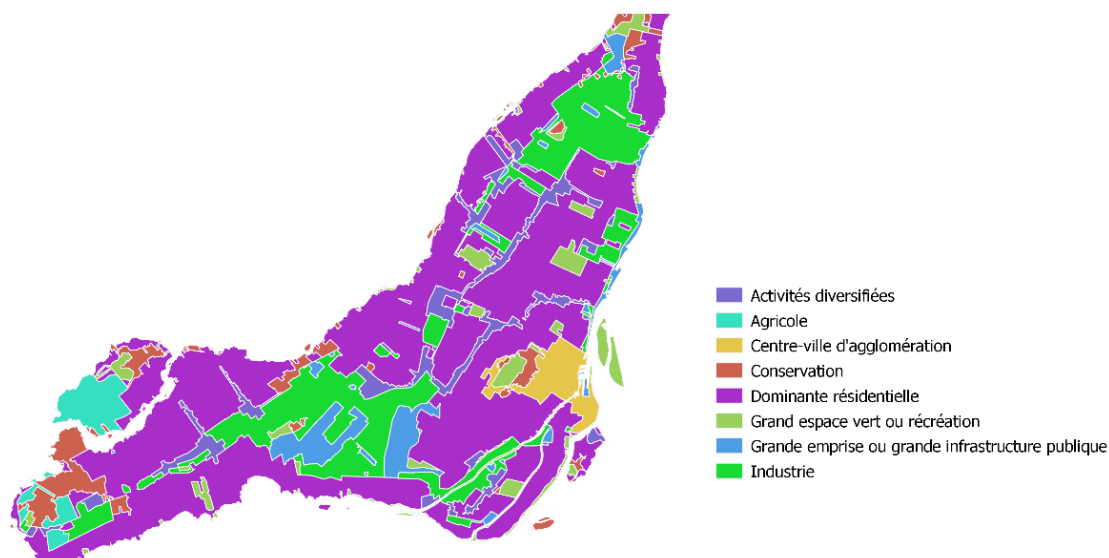


Figure 4.3 *Schéma d'aménagement et de développement (PMAD)*

En effectuant une segmentation entre les courses hélées et commandées, il est possible d'arrimer un usage dominant à un type d'extrémité de course. En effet, selon les

Tableau 4.2 et Tableau 4.3, il est intéressant de noter que les proportions les plus considérables, en ce qui touche les usages dominants, varient selon le type de course et la période de la journée. Indépendamment du type de course, la plus haute proportion des origines se trouvaient en dominante résidentielle, en pointe du matin (commandée: 79 %, hélée : 59 %). En effet, l'usage dominant pour les origines des courses commandées est résidentiel ($\mu = 70,1 \% \pm 5,6 \%$), à travers les périodes de la journée. En revanche, pour les courses hélées, une compétition peut s'observer entre les proportions des origines se trouvant en zone résidentielle et celles se trouvant au centre-ville d'agglomération, à travers les périodes de la journée. En effet, la nuit et la soirée favorise le centre-ville d'agglomération, tandis que la période entre la pointe du matin et la pointe de l'après-midi favorise la dominante résidentielle.

Il est aussi possible de supposer que le type de course n'a pas d'impact sur les proportions d'usages dominants aux destinations de course. Les proportions les plus importantes aux destinations de courses sont attachées aux dominantes résidentielles, au Centre-Ville d'agglomération et aux grandes infrastructures publiques. En comparant les deux types de courses, les proportions sont

d'ordres de grandeur similaires, pour certains types d'usages dominants, entre les différentes périodes de la journée, telles que la dominante résidentielle et le Centre-ville d'agglomération. La plus forte proportion des destinations, se rattachant à une utilisation du sol, s'observe pour la dominante résidentielle, pendant la nuit (hélée : 64 %, commandée : 66 %). Ainsi, il est intéressant de noter qu'il est probable que les déplacements qui sont en provenance du centre-ville à cette période se destinent vers les zones résidentielles. De plus, au sein des zones de grande emprise ou de grande infrastructure publique, une hausse périodique de la proportion de courses de taxi commandées s'y destinant s'observe pendant la nuit, en pointe du matin et en pointe de l'après-midi. Cette zone renferme les destinations au voisinage de l'aéroport Montréal-Trudeau. Quelques types de déplacements peuvent être déduits. Ainsi, pour les courses commandées, elles prennent origine et se destinent vers les zones résidentielles. Un taxi peut être commandé pour se destiner à Dorval pendant la nuit, en pointe du matin et en pointe de l'après-midi. De plus, un taxi peut être hélé pendant la nuit et en soirée à partir du centre-ville d'agglomération pour rejoindre les zones résidentielles. Cela peut donc correspondre aux usagers qui sortent d'un événement spécial et qui se destinent vers leur domicile.

Tableau 4.2 Proportions des usages dominants aux origines et destinations (Commandées)

Courses commandées										
Usage dominant	Origines					Destinations				
	Nuit	PPAM	Jour	PPPM	Soirée	Nuit	PPAM	Jour	PPPM	Soirée
1 Dominante résidentielle	69,50%	79,25%	70,05%	64,05%	67,88%	64,06%	42,72%	56,05%	56,21%	63,57%
2 Centre-Ville d'agglomération	22,86%	14,48%	18,35%	18,28%	20,81%	17,88%	29,03%	25,50%	23,07%	25,83%
3 Activités diversifiées	4,10%	3,34%	7,48%	10,33%	6,44%	4,07%	7,18%	7,26%	5,21%	4,45%
4 Industrie	2,48%	2,26%	3,41%	6,49%	3,76%	1,54%	5,11%	2,74%	2,26%	1,88%
5 Agricole	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
6 Conservation	0,10%	0,05%	0,16%	0,20%	0,16%	0,17%	0,29%	0,30%	0,27%	0,15%
7 Grand espace vert ou récréation	0,66%	0,42%	0,40%	0,45%	0,69%	0,91%	0,70%	1,06%	0,97%	1,17%
8 Grande emprise ou grande infrastructure publique	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	11,36%	14,94%	7,06%	11,98%	2,94%
0 Indéterminé	0,28%	0,18%	0,15%	0,19%	0,25%	0,00%	0,02%	0,04%	0,03%	0,02%

Tableau 4.3 Proportions des usages dominants aux origines et destinations (Hélée)

Courses hélées										
Usage dominant	Origines					Destinations				
	Nuit	PPAM	Jour	PPPM	Soirée	Nuit	PPAM	Jour	PPPM	Soirée
1 Dominante résidentielle	41,33%	59,47%	51,25%	45,14%	41,56%	66,24%	48,72%	51,20%	56,50%	56,59%
2 Centre-Ville d'agglomération	54,81%	30,66%	37,70%	41,25%	51,18%	28,65%	29,43%	34,62%	32,58%	37,25%
3 Activités diversifiées	1,99%	4,20%	5,92%	6,60%	2,81%	2,70%	7,86%	6,29%	3,98%	2,85%
4 Industrie	0,17%	1,05%	1,47%	2,00%	0,84%	0,56%	8,78%	3,17%	2,08%	1,23%
5 Agricole	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%
6 Conservation	0,07%	0,01%	0,24%	0,20%	0,16%	0,15%	0,36%	0,46%	0,40%	0,15%
7 Grand espace vert ou récréation	1,19%	1,86%	1,24%	1,43%	1,62%	1,19%	1,16%	1,52%	1,42%	1,41%
8 Grande emprise ou grande infrastructure publique	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,01%	0,50%	3,66%	2,71%	3,03%	0,50%
0 Indéterminé	0,43%	2,74%	2,17%	3,38%	1,81%	0,01%	0,02%	0,02%	0,00%	0,02%

Enfin, certaines questions se posent. Quelle est la corrélation entre le fait que la course survienne la nuit et en soirée à destination d'une zone résidentielle et la disponibilité (ou non) d'alternatives? Et par surcroît, quel est le lien entre le fait que la course s'amorce au centre-ville la nuit et en soirée et la disponibilité d'alternatives? Il est intéressant d'étudier le lien entre les origines de courses commandées se trouvant en secteurs à usage résidentiel et la disponibilité d'alternatives. Y a-t-il plus ou moins d'alternatives à l'origine, motivant l'utilisateur à opter pour le taxi? Ces informations seront aussi utiles pour analyser les corrélations avec un type d'opportunité en particulier et développer des typologies de déplacements. Ainsi il sera pertinent d'analyser la disponibilité des autres modes, leur compétitivité et aussi une typologie de déplacements.

4.3 Distances parcourues

L'adéquation entre les distributions fréquentielles de longueurs de courses hélées et commandées est faible ($p < 0,05$) selon le test du χ^2 . Ainsi, il y a une différence significative entre les longueurs des courses hélées et commandées. La distance moyenne correspond à celle des recherches précédentes sur l'année 2016 (5,35 km), impliquant aussi le jeu de données provenant de Taxi Diamond (Laviolette et al., 2017). En évaluant les deux distributions, un mode est atteint dans la

même classe de longueur, soit [1-2 km [. À travers la distribution des longueurs des courses, à la Figure 4.4, il peut être postulé qu’au 80^e percentile, les longueurs des courses hélées sont en dessous de la classe [6,0-7,0 km [. À ce même pallier, les longueurs des courses commandées se situent en dessous de la classe [8,0-9,0 km [. Donc, comme énoncé précédemment, la longueur de la course de taxi change selon le type de course (commandée vs hélée). Ainsi, il a été conclu dans la section 4.1 que journalièrement, en moyenne, les courses hélées sont relativement plus courtes que les courses commandées. Pour évaluer l’impact de la journée sur les distributions horaires des longueurs moyennes, des tests de Welch pairés sont effectués sur les courses hélées et commandées. Même s’il y a quelques différences statistiquement significatives entre les longueurs moyennes de certains jours, à certaines heures, les patrons horaires se ressemblent assez pour insinuer que le jour de la semaine n’influence pas sur la longueur moyenne de la course. En effet, pour les courses commandées, le patron journalier de la Figure 4.5 se définit par une croissance des longueurs moyennes des courses, pendant la période de la nuit, précédant un pic à 4h du matin, où la longueur moyenne des courses atteint 9.98 km. Une période de décroissance succède cet extremum, pendant la période de la pointe du matin pour décrire un plateau pour le reste des périodes de la journée. Donc, les longueurs moyennes oscillent autour de ce plateau défini à une ampleur de 6,02 km. Il est intéressant de noter qu’au pic défini ultérieurement, la proportion des courses est la plus faible. Au niveau des courses hélées, les longueurs moyennes horaires oscillent autour de 5,00 km. Deux pics se tracent journalièrement pendant la pointe du matin et pendant la transition entre le jour et la pointe de l’après-midi.

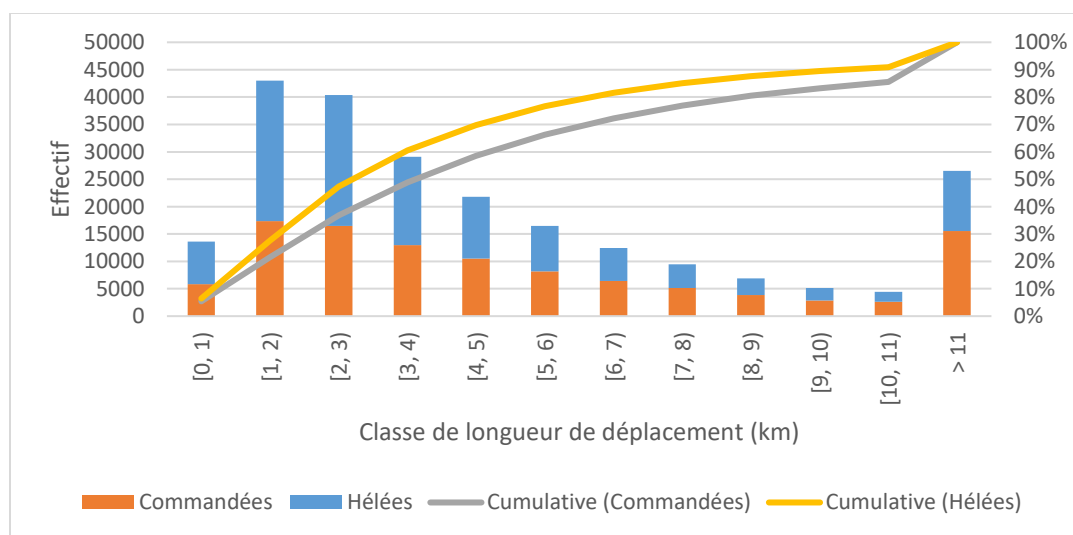


Figure 4.4 Distribution des longueurs des courses de taxi par type (commandée vs hélée)

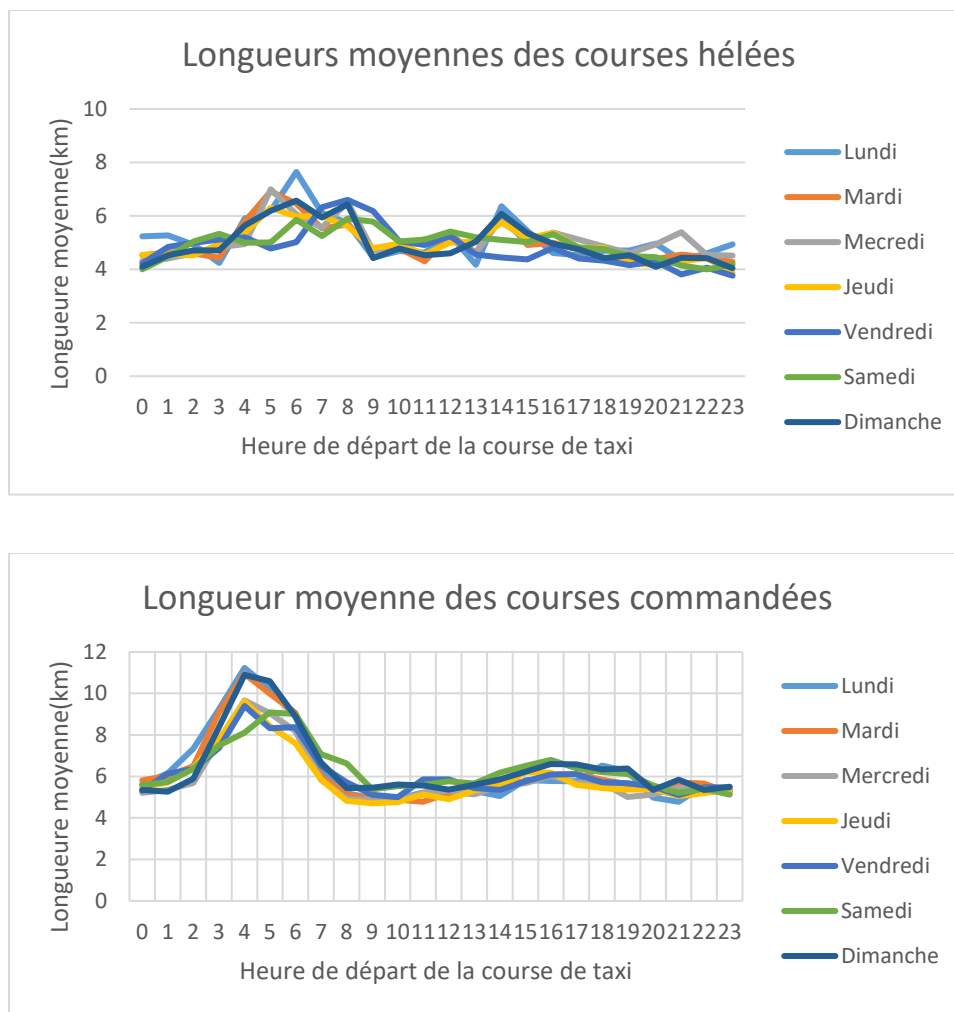


Figure 4.5 Longueur moyenne horaire des courses commandées et hélées

4.4 Durées de courses

En segmentant les courses par type, tout comme les longueurs des courses, les distributions fréquentielles des durées des courses démontrent une faible similarité ($p\text{-value} < 0,05$), selon le test du χ^2 . Ainsi, il y a une différence significative entre les durées des courses hélées et commandées. À travers la distribution des durées des courses, à la Figure 4.6, on observe qu'au 80^e percentile, les durées des courses hélées sont en dessous de la classe de durées [17,0-18,0 min [et celles des courses commandées se situent sous de la classe [18,0-19,0 min[. En effet, en comparant les deux distributions, un mode est atteint dans la même classe, soit [6-7 min [. Comme mentionné pour la longueur des courses, il est intéressant de remarquer que les courses hélées démontrent de relativement plus courtes durées que les courses commandées. Il est intéressant d'étudier la

variabilité de la durée des courses, selon la journée de la semaine, par type de course. Des tests de Welch pairés sont conduits, par heure de départ de la course, pour étudier l'effet de la variable nominale du jour de la semaine sur les égalités des durées moyennes horaires. Selon le Tableau 4.4, il est possible de conclure que pour les courses hélées et commandées, le jour de la semaine a une influence sur les patrons journaliers de durées moyennes. Une distinction se creuse entre les jours ouvrables et non ouvrables, en ce qui a trait des durées moyennes de courses. Ainsi, pour les jours ouvrables, des comportements différents s'observent par type de course. De ce fait, pour les courses commandées, selon la Figure 4.7, le patron journalier se caractérise, en jour de semaine, par deux pointes situées à 8h et à 16h.

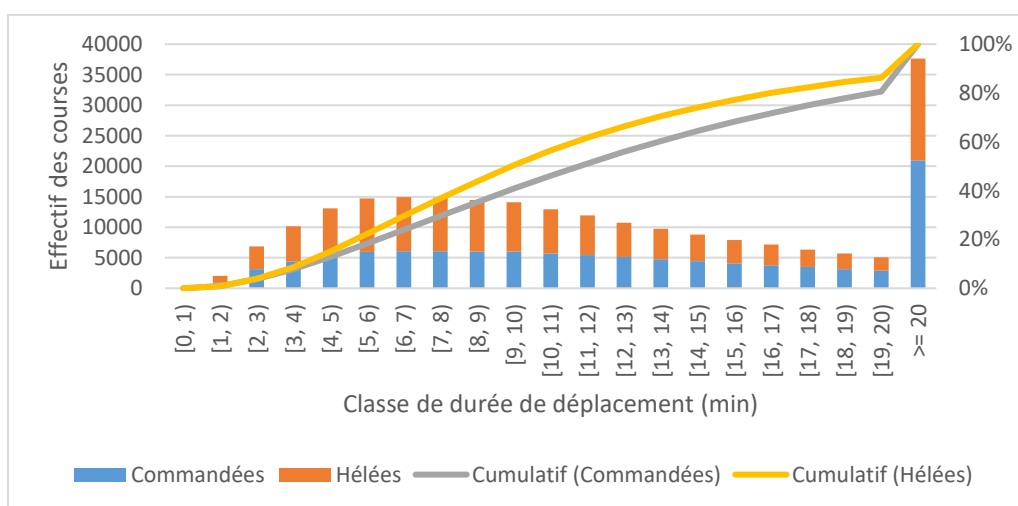


Figure 4.6 Distribution fréquentielle des durées de courses par type

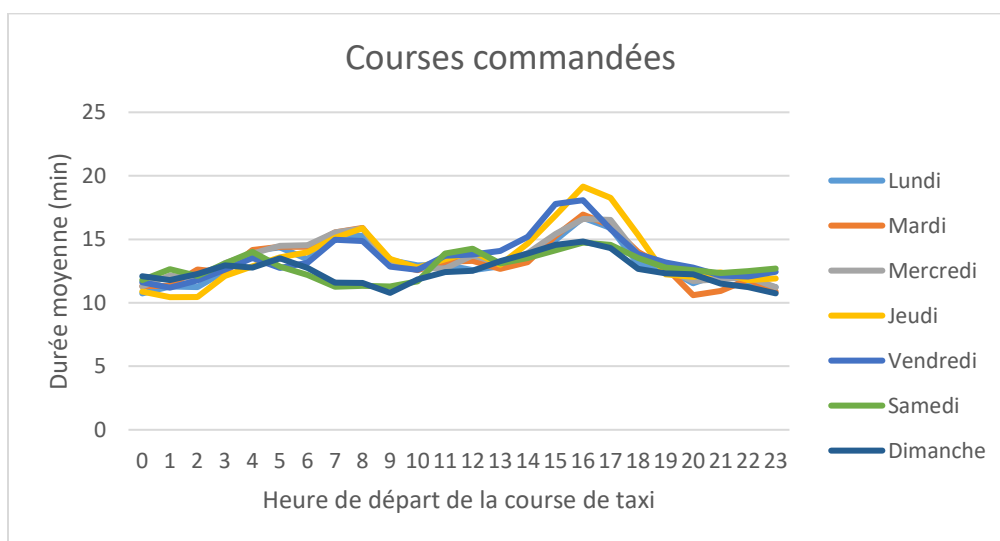


Figure 4.7 Durée moyenne horaire des courses commandées par jour

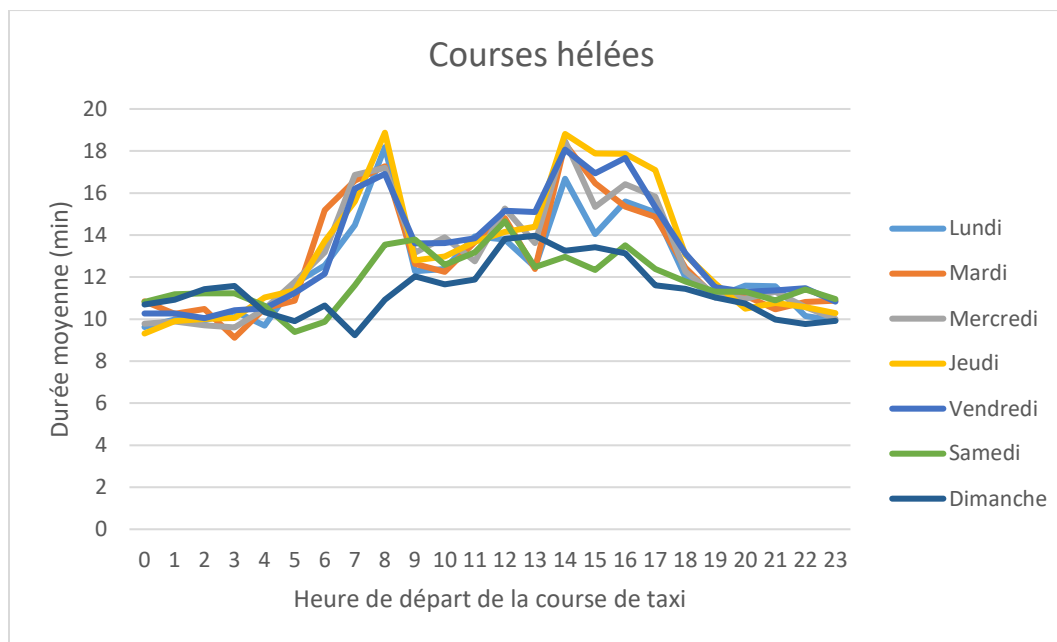


Figure 4.8 Durées moyennes horaire des courses hélées par jour

En revanche, au sein des courses hélées, tel qu'en témoigne la Figure 4.8, il est possible de repérer, parmi les profils journaliers, un mode à 8h et un plateau de 14h à 17h. Néanmoins, lors des jours non ouvrables, un comportement similaire s'observe tant pour les courses hélées que commandées. Il est décrit par une phase de décroissance entre la soirée et la pointe du matin. En effet, la durée moyenne est à son niveau le plus faible pendant la pointe du matin. Par la suite, on observe une croissance relativement stable à travers la période du jour et la pointe de l'après-midi.

Tableau 4.4 P-values des tests d'égalité des durées moyennes journalières

Heure	Commandé	Hélée	Heure	Commandé	Hélée	Heure	Commandé	Hélée
1	0,000896	2,82e-08	9	1,91e-11	0,0798	17	1,03e-14	<2e-16
2	0,101	1,75e-15	10	0,0199	0,0199	18	3,27e-08	0,00129
3	0,725	5,87e-14	11	0,0122	0,134	19	0,166	0,455
4	0,0467	0,503	12	0,00035	0,298	20	7,15e-06	7,15e-06
5	9,22e-05	2,79e-05	13	0,00699	1,21e-05	21	0,0326	0,00152
6	7,59e-06	0,000115	14	2,23e-05	1,41e-13	22	0,124	1,25e-07
7	<2e-16	6,75e-12	15	3,7e-14	<2e-16	23	2,17e-06	0,000255
8	<2e-16	2,88e-12	16	2,15e-15	3,1e-16			

Il est intéressant d'estimer la répartition spatiale des origines selon les longueurs de déplacement par taxi pour ainsi identifier des zones à partir desquelles les plus longues (>75^e percentile) ou les plus courtes courses (< 25^e percentile) proviennent ou se destinent.

À l'Annexe B, la distribution spatiale des durées des déplacements par taxi (par origine ou destination) est présentée par interpolation linéaire par la méthode des inverses des distances, avec des cellules de côté de 50 m. Elle est superposée aux usages dominants, précédemment étudiés, pour tenter d'expliquer certains phénomènes concernant les extrémités des courses de taxi. Il est possible d'observer une différence majeure entre les profils des courses hélées et commandées, selon la répartition des origines et destinations, selon les paliers de durées de la course. Il est possible de remarquer facilement que les plus longues courses de taxi hélées prennent origine en zones principalement résidentielles, dans l'ouest de l'île et dans l'est de l'île. Elles touchent aussi les zones comprenant de grandes infrastructures publiques, dont l'aéroport Montréal-Trudeau. Un phénomène similaire, de manière plus estompée, peut s'observer pour les courses commandées. Il est possible de percevoir qu'au sein de l'arrondissement de Lachine, en zone résidentielle, prennent origine les courses de taxi dont les durées se situent en dessous du 25^e percentile (en dessous de 7 min). Il est intéressant de noter qu'en provenance de ces zones à ou à destination de ces zones, la durée de course est plus longue. De tels constats sont pertinents à croiser avec les disponibilités et la compétitivité des autres modes de déplacements. Enfin, comme ouverture à de recherches ultérieures sur la compétitivité, il est pertinent d'évaluer l'hypothèse qu'au voisinage des destinations de courses de taxi pour lesquelles les durées se situent au-delà du 75^e percentile, il n'y a pas d'autres modes alternatifs, ce qui incite l'utilisateur à effectuer une course en taxi.

4.5 Évolution du coût monétaire de la course

Pour les fins de ce projet, nous supposons que le prix de la course ne dépend que de la distance parcourue (en réalité, le temps et la distance sont impliqués dans le calcul du coût). Ainsi, en dessous du 75^e percentile, les courses de taxi ont un coût monétaire sous 19 \$ pour les courses commandées et 15 \$ pour les courses hélées. Selon la Figure 4.9, il est possible de repérer un extremum du coût monétaire dans l'intervalle [6 \$ - 8 \$], pour les courses hélées et commandées. Une hausse locale de la proportion des courses dont le coût monétaire dépasse 40 \$ est associée aux courses en provenance de l'aéroport. Des tendances similaires s'observent de jour en jour, au sein des courses commandées. Ainsi, il est possible d'observer, à la Figure 4.10, deux extremums, l'un à 5h du matin et l'autre à 16h, pendant la période de la pointe de l'après-midi. Ce phénomène est autant plus accentué entre lundi et mercredi, où le coût monétaire, au premier extremum, atteint des valeurs moyennes avoisinant le cap des 22 \$. Au sein des courses hélées, il est possible de

repérer, en particulier pour les jours ouvrables, deux plateaux d'extremum couvrant respectivement les périodes de la pointe du matin et la période de la pointe de l'après-midi. Cela s'accorde avec les constats effectués par rapport à la distance de déplacement.

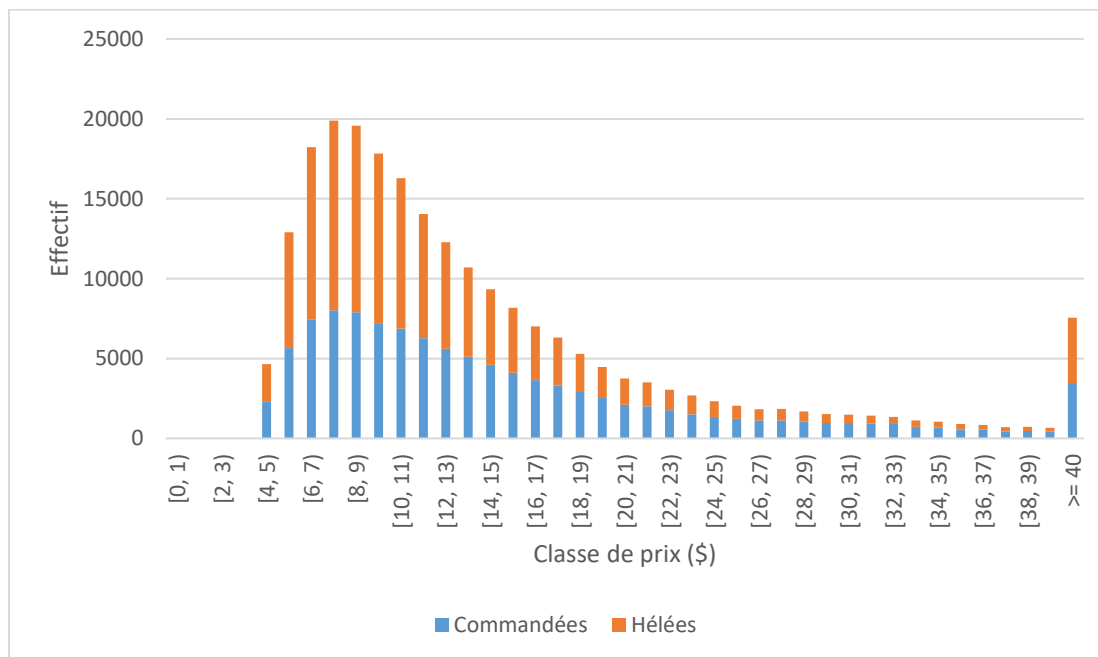


Figure 4.9 Distribution fréquentielle des prix de courses

De plus, une distinction semble se tracer, dans le cas des jours non ouvrables, pour les courses hélées. Les périodes d'extremum, précédemment définies, ne s'observent pas aussi clairement pour le dimanche et le samedi (en pointe de l'après-midi). Ainsi, l'heure de départ de la course ne semble pas influencer le prix moyen des courses hélées après la pointe du matin, en fin de semaine. Cela s'explique par une baisse de la longueur de déplacement à ces heures, par rapport aux jours ouvrables, tel qu'étudié précédemment. Bien que la longueur de la course soit le facteur déterminant dans la détermination du coût monétaire de la course, cet effet est minimisé, car de faibles différences ont été observées entre les moyennes des longueurs horaires des courses de chaque jour. Cela mène à conclure que la longueur de la course dicte les variations du coût monétaire de la course en période hors pointe. De ce fait, la durée de la course dicte les variations du coût en période de pointe. Il est possible de soumettre l'hypothèse que le véhicule de taxi demeure moins en attente (vitesse en bas du seuil de transition), dû aux conditions de circulation à écoulement libre en période hors pointe.

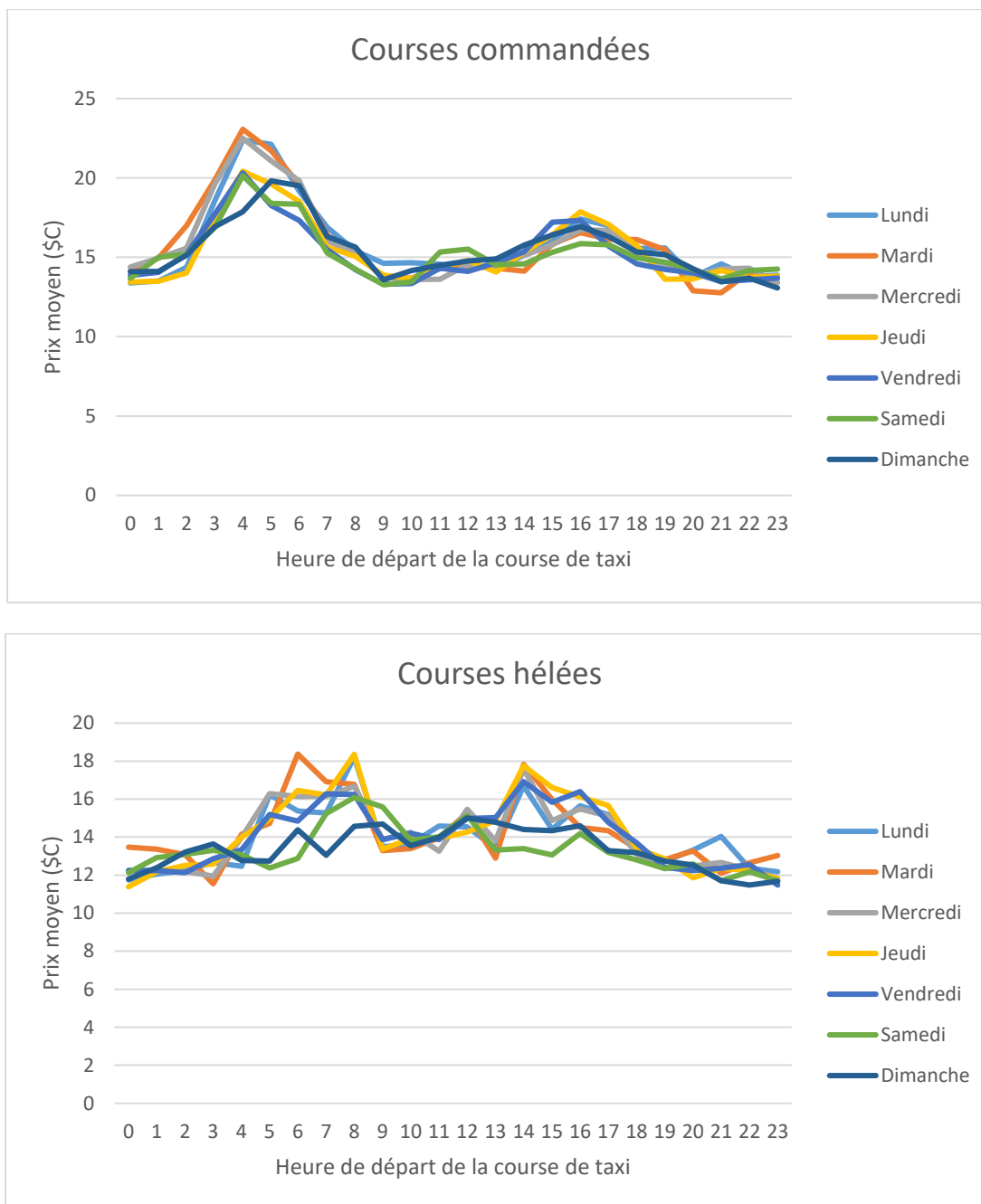


Figure 4.10 Prix moyen horaire par type de course

4.6 Temps d'attente pour un taxi

Le temps d'attente pour un taxi pour les courses commandées est extrait des données, par jointure entre la base de données des transactions (courses commandées) et les traces GPS des courses de taxi déduites. Il correspond à la durée s'écoulant entre la répartition du taxi et son heure d'arrivée

à l'origine. Néanmoins, une hypothèse doit être formulée pour les courses hélées. On peut supposer que si le taxi avait été hélé, soit sur la rue ou à un poste d'attente, le temps d'attente soit présumé nul. Or, il est important de noter qu'une large proportion des courses (53%) sont hélées. En supportant une telle hypothèse, le mode de la distribution du temps d'attente pour un taxi est atteint à 0 min d'attente. En effet, une telle hypothèse est plus ou moins représentative de la réalité. Ainsi, pour les fins de ce projet, le temps d'attente des courses hélées est négligé.

Des analyses segmentées entre les courses hélées et les courses commandées seront réalisées dans les sections subséquentes. Pour les courses commandées, à la Figure 4.11, un mode est atteint dans la classe de temps d'attente [4 - 5 mins], où 60% des temps d'attente ne franchissent pas le seuil des 5 mins. Une moyenne de 6,08 mins et un coefficient de variation de 67% témoignent d'une tendance similaire aux autres villes canadiennes mentionnées dans la littérature. Un patron constant peut être observé journalièrement où la courbe des temps d'attente moyens suit la distribution par heure de la semaine de la demande. La distribution journalière du temps moyens d'attente présente deux pointes, journalièrement en fin de période de la nuit, vers 4-5 h du matin et en fin de la période de la pointe de l'après-midi, vers 17h.

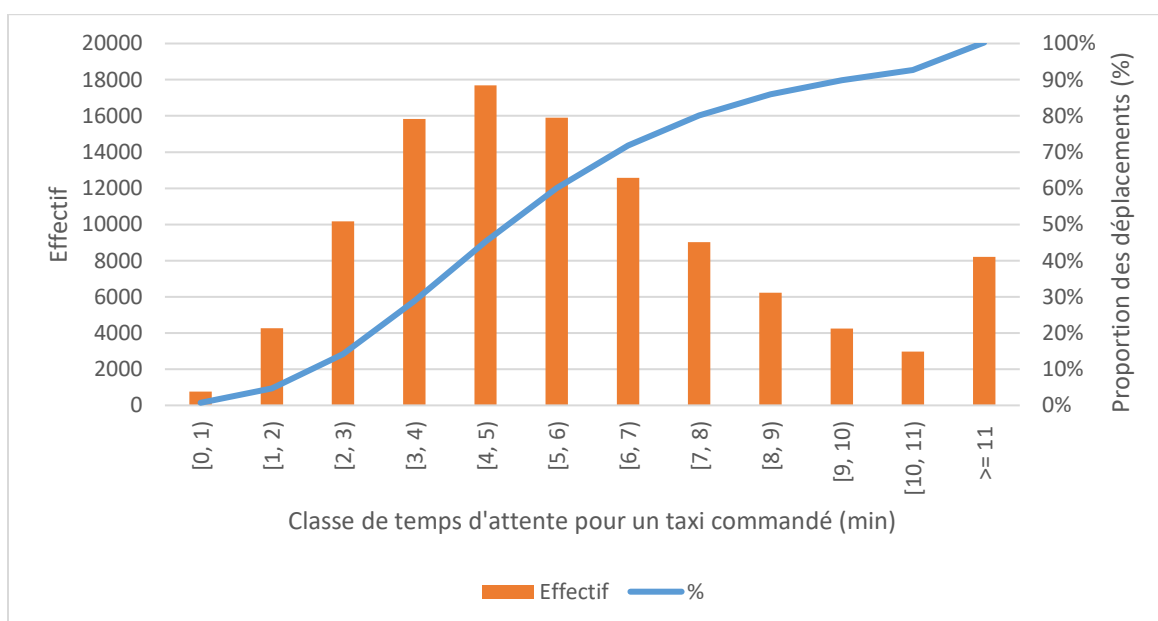


Figure 4.11 Distribution fréquentielle du temps d'attente (courses commandées)

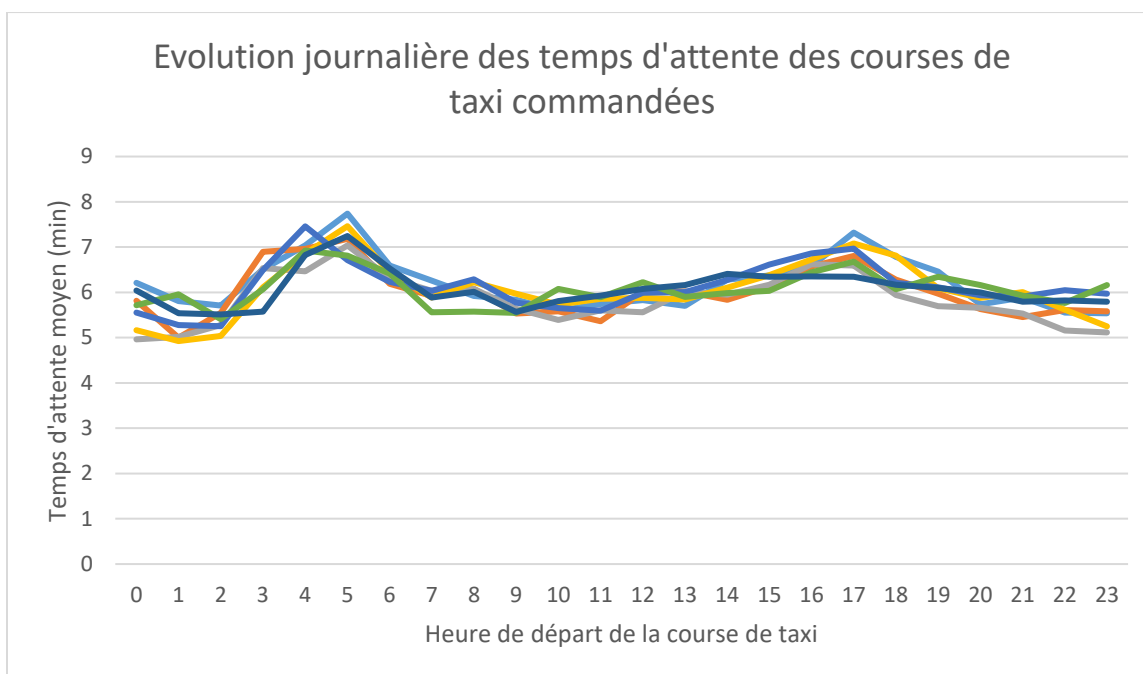


Figure 4.12 Temps d'attente horaire (courses commandées)

Ainsi, selon la Figure 4.12, du lundi au vendredi de 8h à 17h soit de la fin de la pointe du matin à la fin de la pointe de l'après-midi, le temps d'attente moyen se rapproche de la moyenne du temps d'attente, soit 6 min. De plus, il est intéressant d'évaluer la répartition du temps d'attente moyen par secteur municipal pour faire ressortir des zones défavorisées ou favorisées, en matière de temps d'attente. D'emblée, selon l'Annexe C, les secteurs municipaux aux extrémités de l'île ont des temps d'attente moyens pour un taxi excédant 10 minutes. En effet, principalement, les clients en provenance de l'ouest (Pointe-Claire, Roxboro-Pierrefonds) et du nord-est (Rivière-des-Prairies) sont ceux qui expérimentent les temps d'attente les plus longs. De même, les clients se destinant principalement vers Rivière-des-Prairies, Beaconsfield et Dorval sont les plus pénalisés à cet effet.

CHAPITRE 5 ANALYSE DE DISPONIBILITÉ D'ALTERNATIVES

Une analyse de disponibilité des alternatives a été réalisée, sur 229 131 paires O-D, pendant le mois de septembre. De ce fait, une investigation est produite par rapport aux alternatives, aux origines et destinations de courses, selon les règles de faisabilité établies précédemment. La disponibilité des alternatives est étudiée tant pour les courses hélées que commandées. Cette quantification des alternatives est observée au niveau temporel pour identifier des tendances ou des fluctuations typiques. Il est aussi intéressant d'examiner la portée spatio-temporelle de la disponibilité des alternatives, aux origines et destinations de courses.

5.1 Disponibilité unimodale et multimodale

Selon le Tableau 5.1, pour le cas des courses hélées et commandées, la plupart des courses de taxi du mois de septembre ont des alternatives, impliquant le vélo, comme BIXI (hélées :81,2% ; commandées : 68,8 %) ou le vélo personnel (hélées : 73,2 %, commandées : 62,2 %). D'autres options pertinentes sont intéressantes à mentionner. Les véhicules en libre-service sont tout aussi disponibles (72,2 %) pour les courses hélées. Au niveau des courses commandées, 51,8 % des courses de taxi ont le transport collectif comme alternative. Il est important de rappeler qu'au 75^e percentile, les longueurs des courses hélées se situaient sous 6.0 km ($d_{75,h}$: 5,73 km). Quant aux courses commandées, au 75^e percentile, les longueurs des courses se situaient en dessous de 7,0 km ($d_{75,c}$: 7,55 km). La disponibilité d'un mode unique a été étudiée et moins de 3 % des courses (hélées ou commandées) n'ont aucune alternative. Selon le Tableau 5.1, généralement, la plupart des courses de taxi (commandées : 96,2 %, hélées : 97,5 %) disposent d'au moins une alternative. Les combinaisons contenant les options Share Now, vélo, vélopartage sont les plus prévalentes. En effet, la combinaison la plus populaire, tant pour les courses hélées que commandées, est la suivante : vélopartage - Share Now- Auto-mobile - vélo (commandées : 10,6 %, hélées : 15,9 %). Les résultats peuvent être expliqués par la distribution des longueurs de déplacement par taxi, typiquement faisable à vélo. Néanmoins, les combinaisons contenant l'option marche sont les moins disponibles.

Tableau 5.1 Analyse de la disponibilité unimodale et multimodale (septembre 2016)

		COURSES TOTALES % (N= 229 131)	COURSES HÉLÉES	COURSES COMMANDÉES
Unimodal	Aucune	3,1 %	2,5 %	3,8 %
	TC	45,0 %	38,8 %	51,8 %
	BIXI ¹	62,0 %	81,2 %	68,8 %
	Share Now²	74,4 %	45,4 %	42,3 %
	Auto-mobile ²	43,9 %	72,2 %	50,5 %
	Vélo (seuil de distance: 5 km)	68,1 %	73,3 %	62,2 %
	Marche (seuil de distance: 1,3 km)	14 %	15,5 %	12,4 %
Multimodal	<i>Aucune alternative</i>	3,1 %	2,50 %	3,81 %
	<u>Au moins 1 alternative</u>	96,9 %	97,50 %	96,19 %
	<i>Au moins 2 alternatives</i>	83,0 %	87,39 %	78,04 %
	<i>Au moins 3 alternatives</i>	67,0 %	74,81 %	58,15 %
	<i>Au moins 4 alternatives</i>	44,1 %	48,74 %	38,98 %
	<i>Au moins 5 alternatives</i>	15,3 %	16,52 %	13,84 %

Tableau 5.2 Combinaison d'alternatives aux extrémités (septembre 2016)

	Combinaisons plus fréquentes	# Déplacements	%
<i>Courses commandées</i>	<i>BIXI, Share Now, Auto-mobile, vélo</i>	11 380	10,6
	TC	11 261	10,4
	<i>BIXI, Share Now, Auto-mobile, vélo, TC</i>	9041	8,4
	TC, <i>Share Now</i>	7350	6,8
<i>Courses hélées</i>	<i>BIXI, Share Now, Auto-mobile, vélo</i>	19 303	15,9
	<i>BIXI, Share Now, vélo</i>	19 258	15,9
	<i>BIXI, Share Now, Auto-mobile, vélo, TC</i>	10 479	8,6
	TC	7077	5,8

¹ La capacité de la station de vélopartage n'est pas prise en compte

² La présence d'un véhicule libre-service est supposée

5.2 Variabilité temporelle

Une hypothèse à valider concerne la variabilité de la disponibilité des alternatives selon les semaines du mois ou les jours de la semaine. En effet, il semble y avoir une homogénéité entre les jours du mois. Ceci laisse entendre qu'un profil moyen horaire peut être utilisé pour décrire la distribution temporelle des disponibilités d'alternatives. Il est aussi intéressant d'observer la disparité de la disponibilité d'alternatives selon l'heure du jour. Ainsi, il est pertinent de valider une hypothèse selon laquelle le jour du mois ou l'heure de départ de la course n'a pas d'influence sur le nombre d'alternatives disponibles, lors de la réalisation de la course. De faibles coefficients de variation autour des proportions moyennes journalières témoignent d'une homogénéité des proportions des courses ayant un certain nombre d'alternatives, au Tableau 5.3, à travers les jours du mois de septembre. Cela s'observe tant pour les courses hélées que commandées. Tel qu'observé à la Figure 5.1 et à la Figure 5.2, quatre alternatives se présentent plus fréquemment pour les courses hélées et les courses commandées. Néanmoins, une distinction s'observe entre les deux types de courses. En effet, les proportions de courses commandées ayant 1 ou 2 alternatives sont relativement plus élevées que celles des courses hélées. En revanche, la proportion de courses hélées ayant 3 alternatives est plus élevée que celle des courses commandées. Il est aussi possible de déduire que les proportions des courses n'ayant aucune alternative ou 6 alternatives sont très faibles. Ainsi, on peut réfuter l'hypothèse mentionnée précédemment, selon laquelle les courses de taxi sont réalisées lorsqu'il n'y a pas d'alternative. En d'autres mots, le jour du mois n'influence pas la distribution journalière du nombre d'alternatives présentes lors de la réalisation de courses de taxi hélées et commandées. Il est aussi pertinent de cibler les heures ou périodes caractérisant chaque niveau de disponibilité d'alternatives, par type de course.

Tableau 5.3 Proportions de courses selon le nombre d'alternatives disponibles

Nombre d'alternatives	Courses hélées							Courses commandées						
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6
Proportion des courses moyenne (%)	2,5%	10,3%	12,7%	25,9%	32,1%	15,3%	1,3%	4,0%	18,2%	19,9%	19,2%	25,1%	12,9%	0,8%
CV	29%	18%	6%	12%	5%	14%	23%	25%	6%	4%	4%	4%	7%	23%

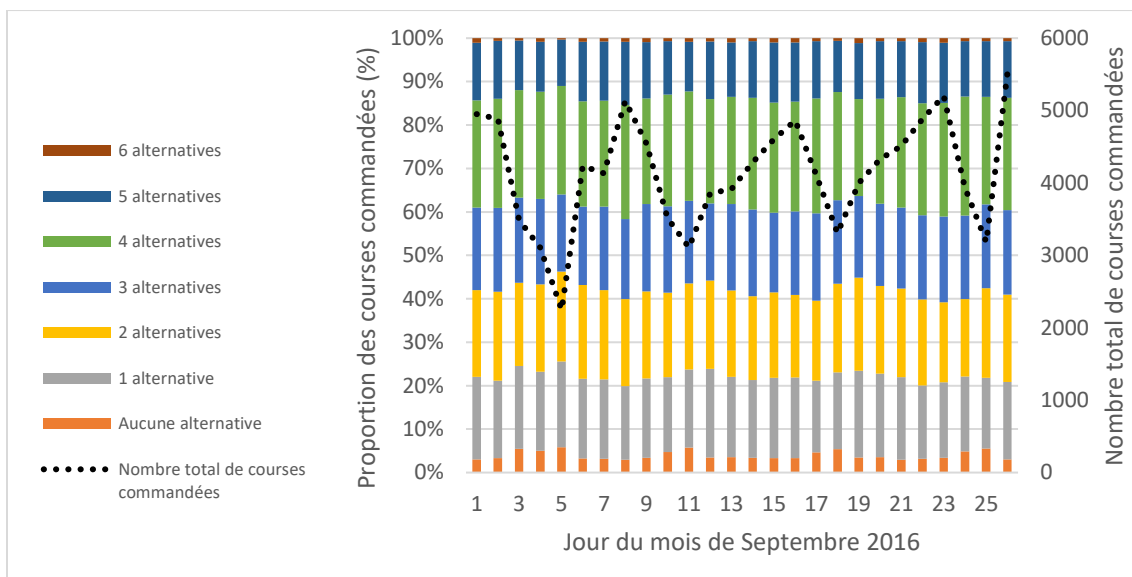


Figure 5.1 Distribution journalière de la disponibilité des alternatives (Courses commandées)

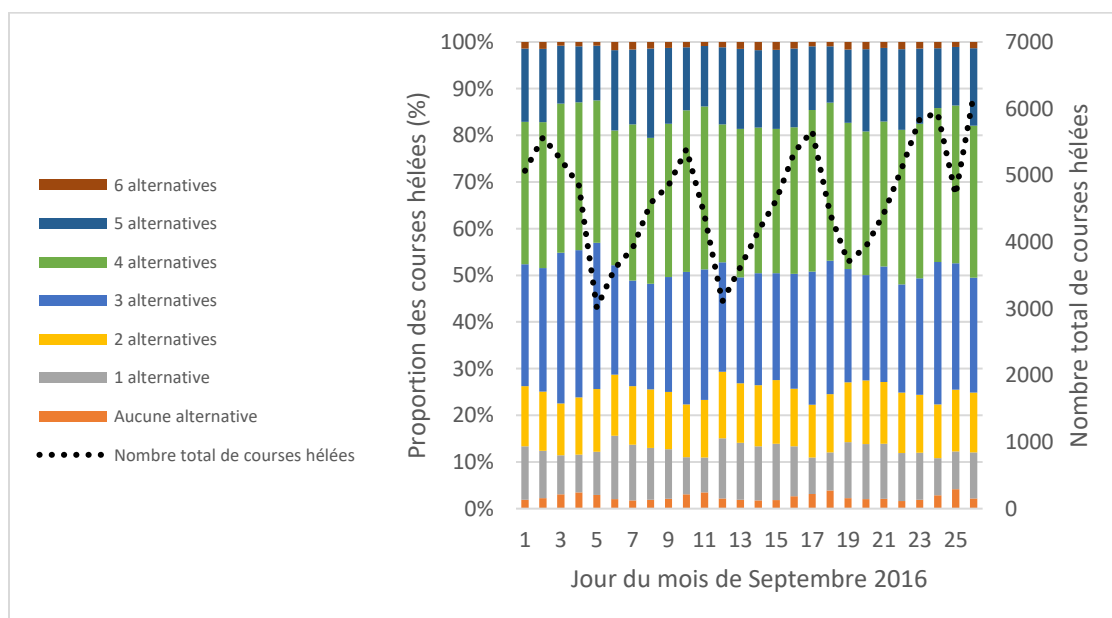


Figure 5.2 Distribution horaire de la disponibilité des alternatives (Courses hélées)

Selon la Figure 5.3, la part des courses hélées ayant 3 ou 4 alternatives est prépondérante pendant la nuit. Cela est aussi observé au niveau des courses commandées. Globalement, le niveau de disponibilité le plus fréquent pour les courses hélées, à travers la journée, est de 4 alternatives. Ce constat est relativement applicable au cas des courses commandées. Néanmoins, le niveau de disponibilité des alternatives démontre une variabilité horaire plus accrue, parmi les courses commandées. Ainsi, la part des courses ayant quatre alternatives se démarque tant pendant la

période de la nuit que pendant la soirée. Il est important de noter quelques spécificités. En effet, la période charnière entre la période de la nuit et la pointe du matin, s'étendant entre 4h et 6h, est caractéristique des courses commandées de taxi, n'ayant que 1 ou 2 alternatives. De plus, pendant la période s'étendant entre 13h et 17h, la part des courses commandées n'ayant que 2 alternatives est aussi considérable.

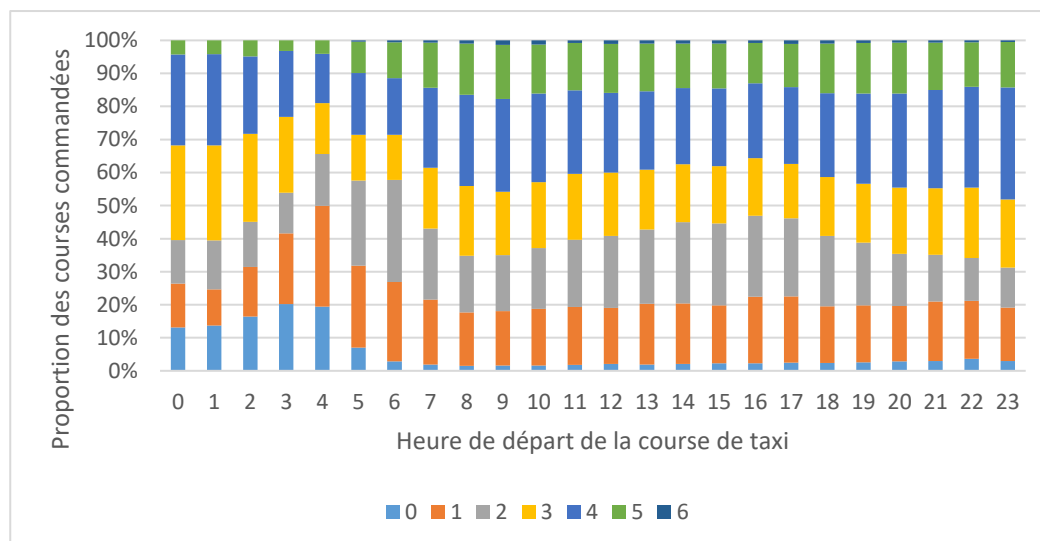


Figure 5.3 Distribution horaire des courses commandées selon le nombre d'alternatives

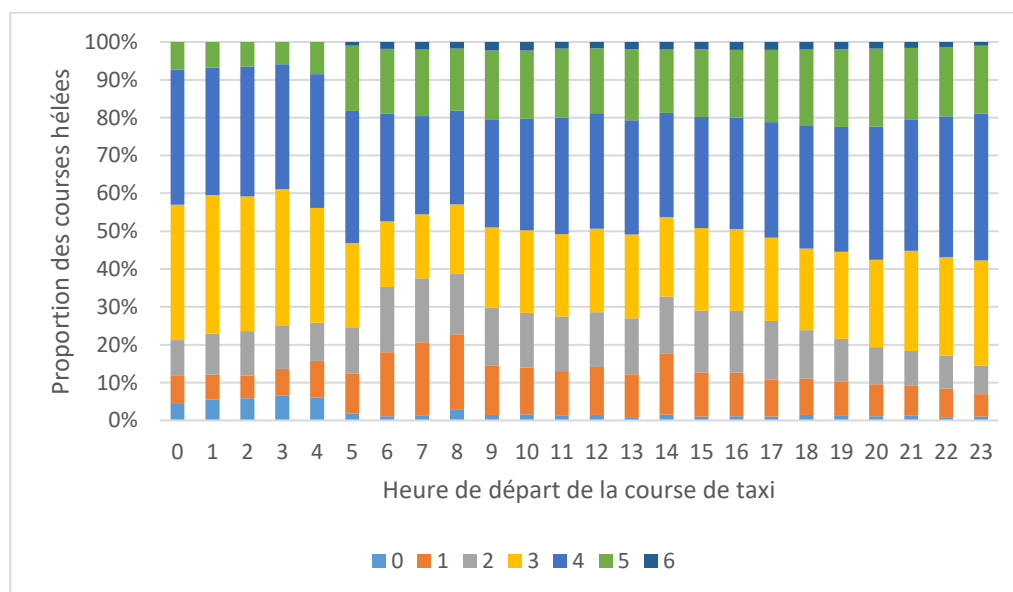


Figure 5.4 Distribution horaire des courses hélées selon le nombre d'alternatives

De ce fait, il est intéressant d'étudier l'occurrence de chaque alternative, par période de la journée, compte tenu du type de course. Tel que le montre le Tableau 5.4, les alternatives figurant plus

fréquemment au sein des combinaisons d'alternatives, varient selon les périodes de la journée. Bien qu'il soit possible de postuler, qu'à travers la journée, l'alternative Share Now soit très présente, d'autres alternatives semblent être caractéristiques de certaines périodes de la journée. Ainsi, la faible part des courses ayant le TC comme alternative, pendant la nuit, témoigne de la faible disponibilité du service et de la faisabilité du trajet à cette période. Cela est lié au critère découlant du seuil de décalage de l'heure de départ. Néanmoins, à la pointe du matin, ce mode figure au sein de 64% des combinaisons d'alternatives disponibles pour les courses commandées, soit une proportion similaire à celle de Share Now. Une hypothèse possible est que les temps d'accès à l'origine sont plus faibles à cette période. Cela reste à valider, dans les chapitres subséquents. Il est intéressant de noter que pendant la nuit, 84% des courses hélées peuvent se faire en vélopartage, en supposant qu'un vélo partagé était disponible à la station à proximité de l'origine de la course de taxi. Enfin, la marche est une alternative peu faisable pour les courses de taxi à travers les différentes périodes de la journée. Cela est lié à la longueur des courses de taxi qui est au-delà du seuil de distance considéré marchable. Il est intéressant de noter que le vélo est une alternative souvent en compétition avec Share Now, pendant le jour, la pointe de l'après-midi et la soirée. En somme, la part horaire de la disponibilité des modes actifs et partagés subit de faibles variations temporelles. Ainsi, elles constituent globalement les alternatives les plus disponibles.

Tableau 5.4 Part des alternatives au taxi selon les périodes de la journée

	Période	TC	Vélo	Marche	BIXI	Share Now	Auto-mobile
	Commandée	Nuit	3%	53%	9%	55%	69%
PPAM		64%	55%	9%	48%	67%	39%
Jour		56%	68%	15%	50%	66%	43%
PPPM		58%	63%	13%	47%	65%	39%
Soirée		54%	64%	11%	57%	69%	47%
	Période	TC	Vélo	Marche	BIXI	Share Now	Auto-mobile
	Hélée	Nuit	1%	70%	12%	84%	88%
PPAM		62%	65%	13%	59%	70%	40%
Jour		54%	75%	18%	61%	76%	42%
PPPM		54%	75%	18%	64%	79%	44%
Soirée		48%	77%	15%	79%	85%	46%

Ainsi, il semble y avoir un lien entre la disponibilité du service TC (passages-arrêts à proximité), la proximité à une zone de service Auto-mobile et le type de course de taxi. Il est tout aussi

intéressant d'évaluer la portée spatiale de la disponibilité des alternatives. De ce fait, on propose une hypothèse selon laquelle les origines et destinations de courses hélées gravitent autour des stations BIXI et au sein de la zone *Share Now*.

5.3 Variabilité spatiale des alternatives aux origines et destinations

Des interpolations linéaires, impliquant des cellules de forme carrée, de dimensions de 50 m sur 50 m, permettent de visualiser la répartition spatiale du nombre d'alternatives, aux Figure 5.5 et Figure 5.6.

Ainsi, la zone délimitée par l'aire des stations BIXI et des lignes de métro démontre au moins 3 ou plus alternatives viables. Cette situation est similaire pour les distributions spatiales des origines et destinations des courses de taxi, selon les types de courses.

Généralement, le nord et l'ouest de l'Île semblent moins bien desservis. Une importante proportion de déplacements, provenant ou se destinant dans ces zones, ont moins de 2 alternatives. Une claire démarcation spatiale s'observe entre la classe des origines ou destinations ayant 0-2 alternatives et celles regroupant les extrémités ayant 3-6 alternatives. Cela peut se visualiser par une translation vers l'est des ellipses de dispersion et d'un rétrécissement des deux axes. Ainsi, les origines et destinations des courses ayant 3-6 alternatives se concentrent dans la zone formée par une forte présence de stations BIXI, autour des infrastructures de métro et l'arrondissement dense du Plateau-Mont-Royal. Le type de course semble avoir un impact sur les profils obtenus.

Il est intéressant de noter que l'aire couverte par les ellipses de dispersion des destinations des courses commandées et hélées, ayant 0-2 alternatives, connaissent une augmentation de l'aire couverte, l'aire la plus volumineuse étant associée aux courses hélées. L'aire couverte par les origines des courses commandées connaît une expansion sur l'axe longitudinal par rapport à l'aire couverte par les origines des courses hélées.

Ainsi, la non-disponibilité des alternatives semble s'arrimer aux extrémités de l'Île, dans les zones résidentielles. En revanche, la disponibilité d'un nombre accru d'alternatives est visible au centre-ville d'agglomération.

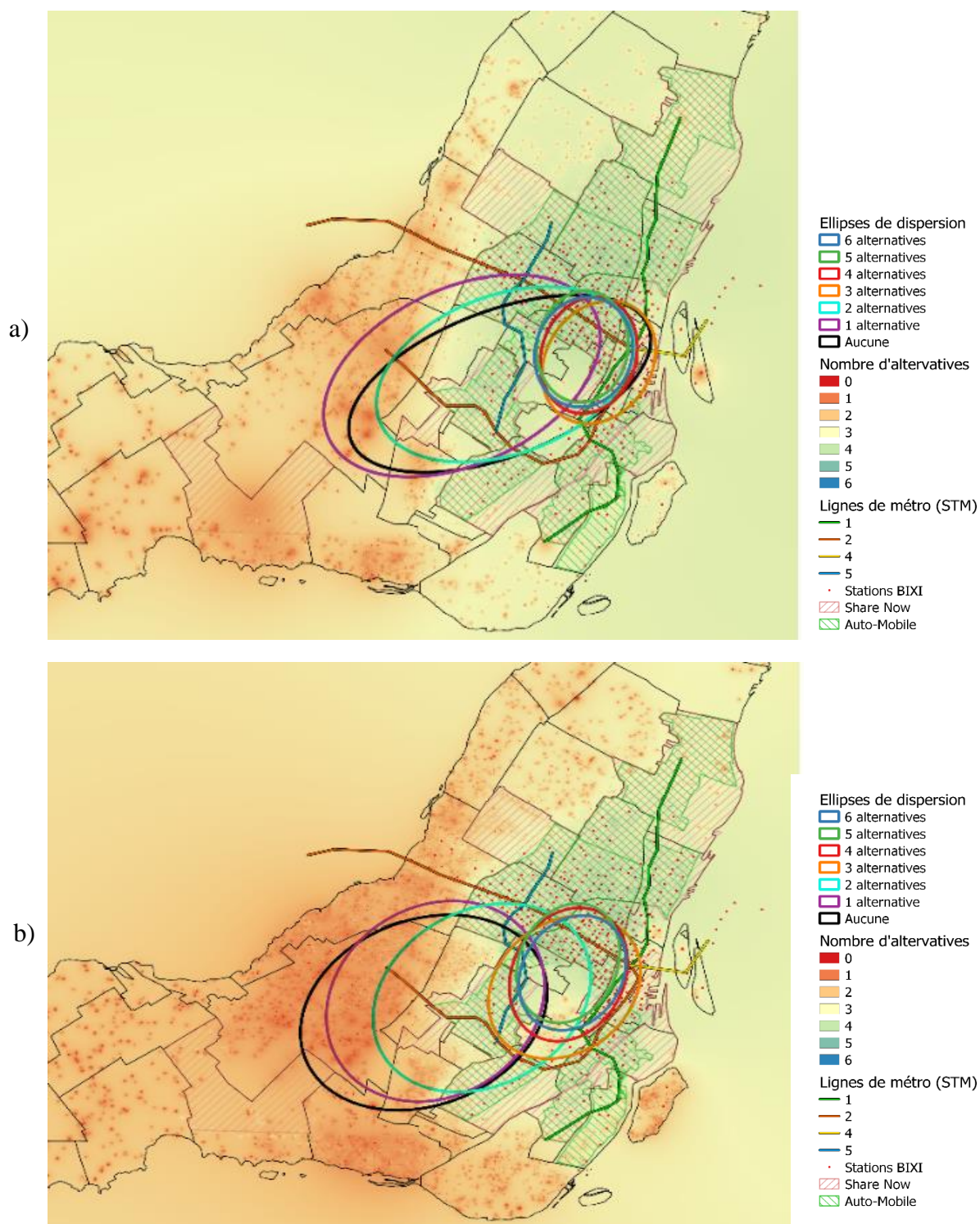


Figure 5.5 Origines par alternative des courses hélées (a) et commandées (b) (septembre 2016)

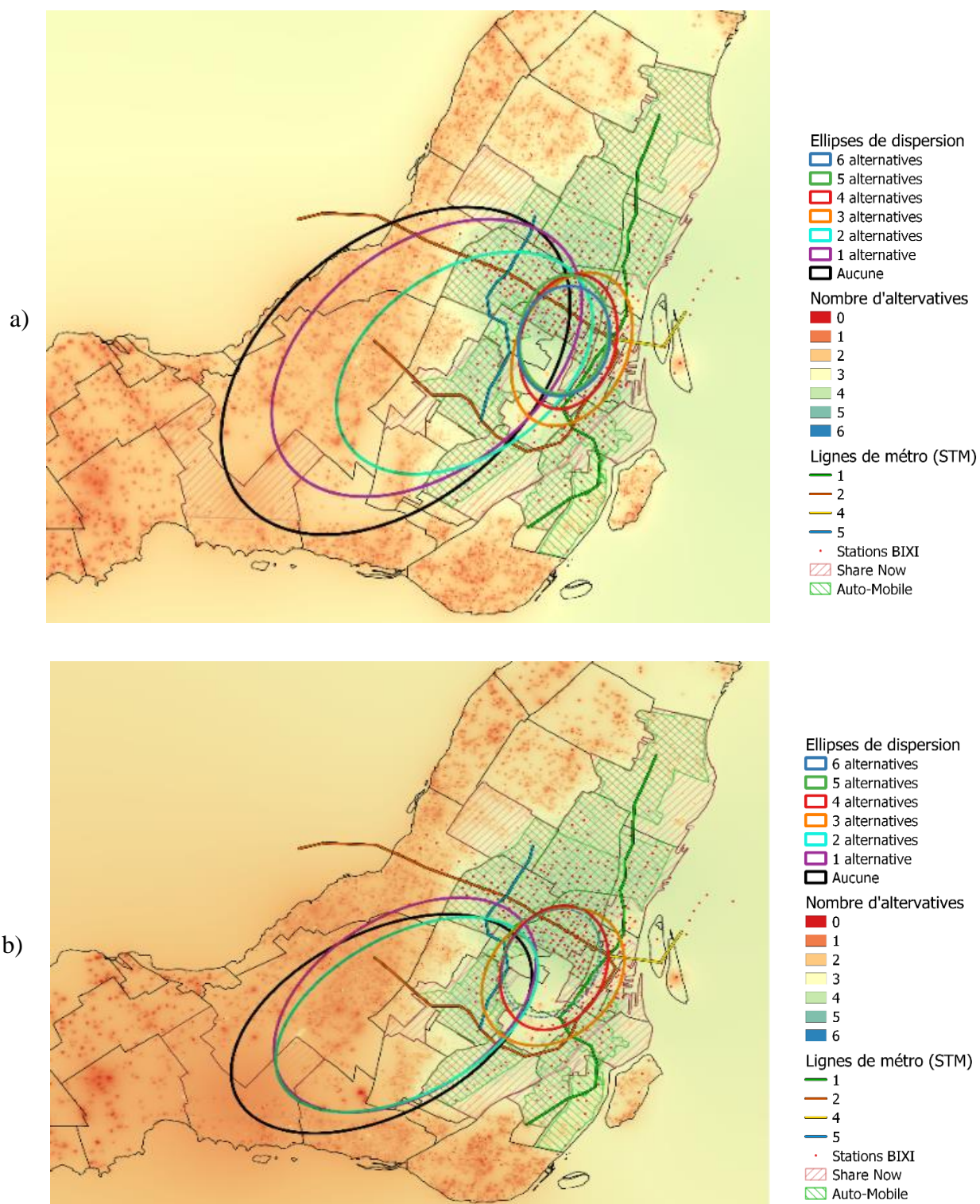


Figure 5.6 Destinations par nombre d'alternatives des courses hélées (a) et commandées (b)

Il est intéressant d'observer la répartition des extrémités des courses de taxi pendant une période de carence en alternatives, énoncée précédemment pour les courses commandées. Une estimation de la densité par la méthode des noyaux permet de faire état de la répartition spatiale des zones de forte densité des lieux d'origine et de destinations. Il a été déduit qu'au sein des courses hélées, entre 4h et 6h, la part des courses, n'ayant que 1 ou 2 alternatives, était dominante. Ces zones, concentrant un faible nombre d'alternatives, sont pertinentes à délimiter pour situer des aires favorables à l'utilisation du taxi. Selon les Figures 5-5 et 5-6, impliquant la fenêtre temporelle s'étendant sur tout le mois de septembre, entre 4h et 6h, les origines des courses de taxi hélées se concentrent aux stations de métro majeures telles que Berri-UQAM et Côte-Vertu, et le Casino de Montréal. De plus, une forte densité des destinations de courses de taxi hélées, se réalisant dans cette fenêtre temporelle, s'agrége autour de l'aéroport Montréal-Trudeau. Ainsi, il est possible de soumettre l'hypothèse selon laquelle l'utilisateur qui se destine à l'aéroport a peu d'alternatives.

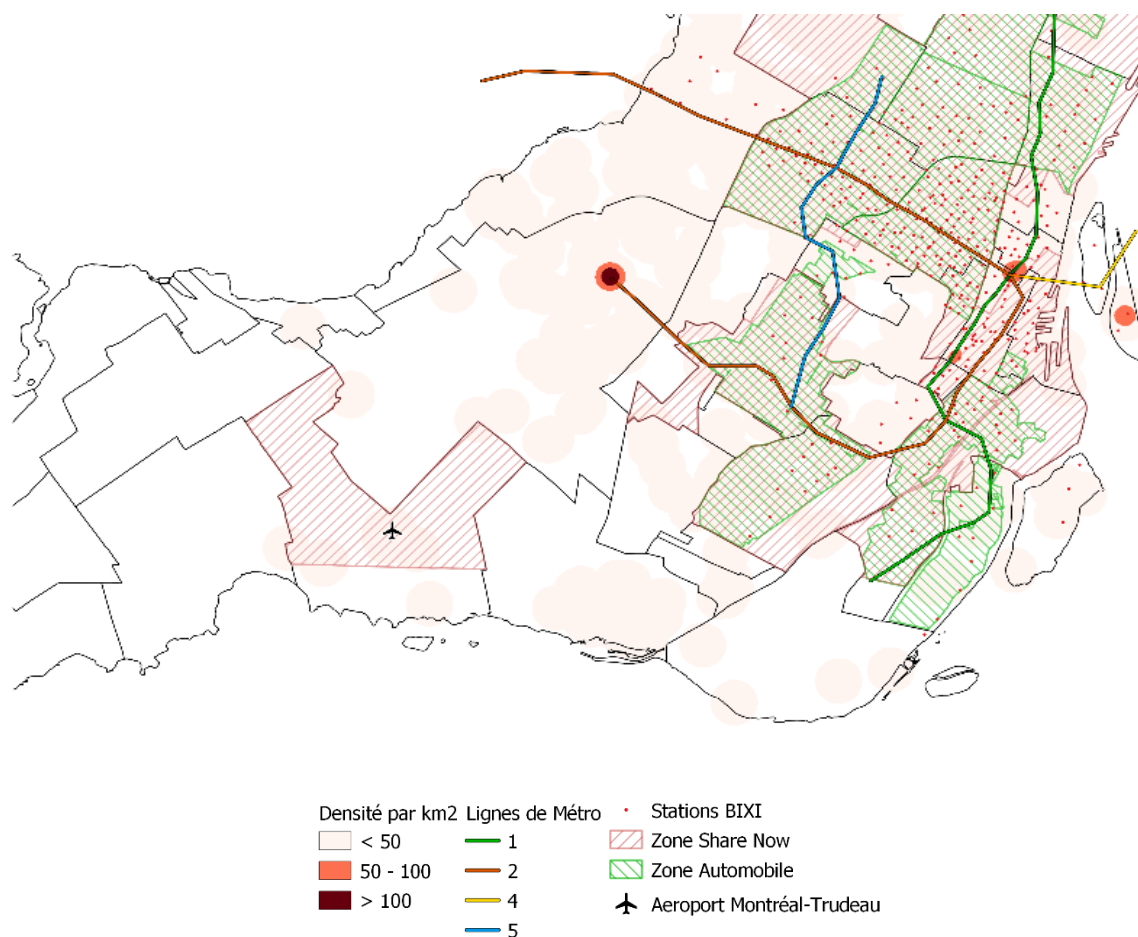


Figure 5.7 Densité des courses aux origines (Hélées – 1 ou 2 alternatives, entre 4h et 6h)

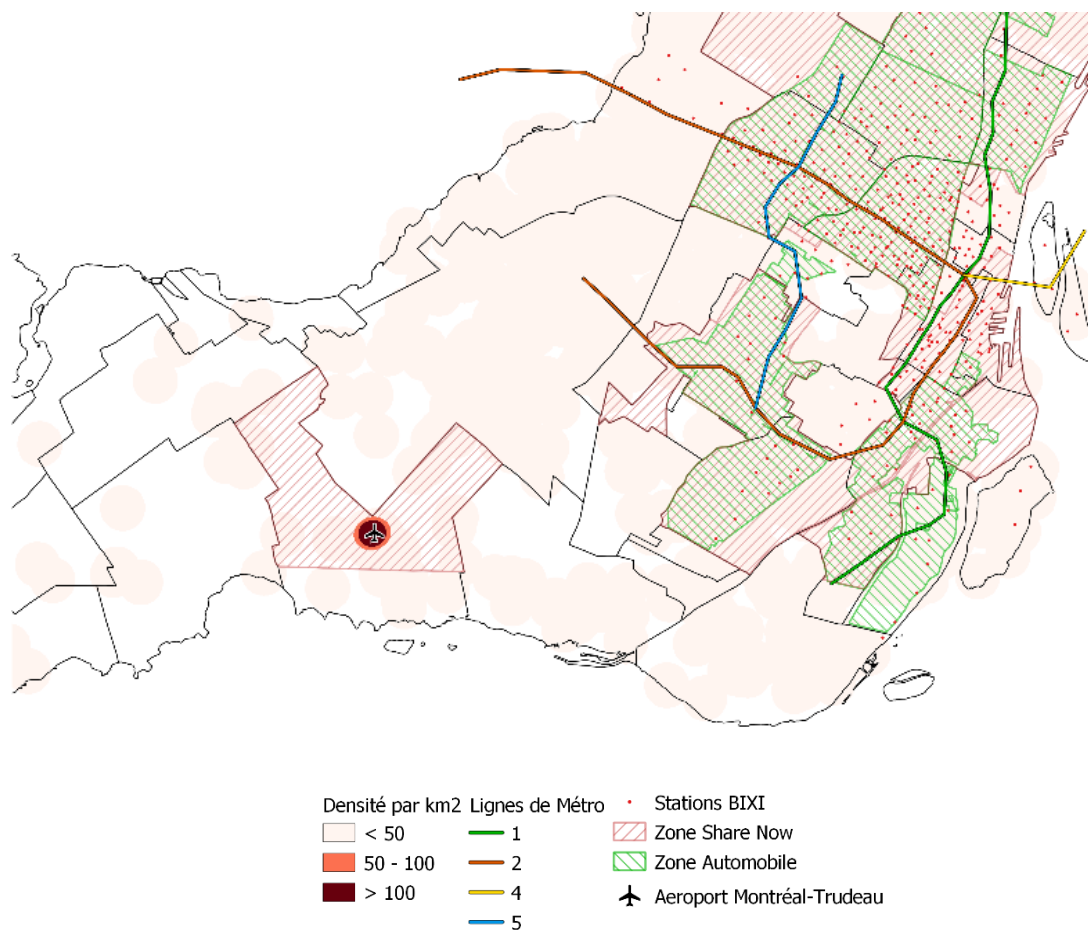


Figure 5.8 Densité des courses aux destinations (Hélées – 1 ou 2 alternatives, entre 4h et 6h)

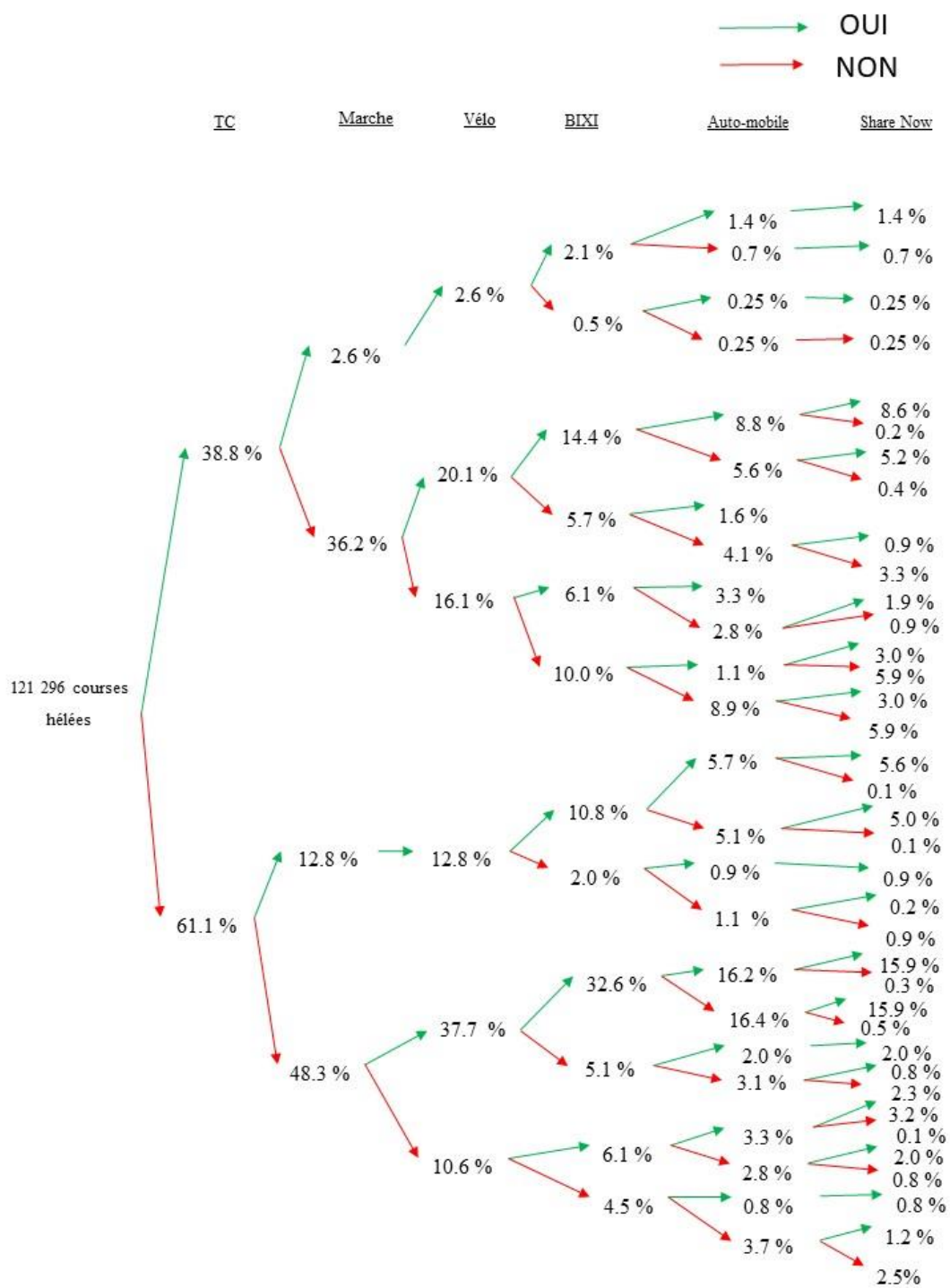


Figure 5.9 Quantification des alternatives pour les courses hélées

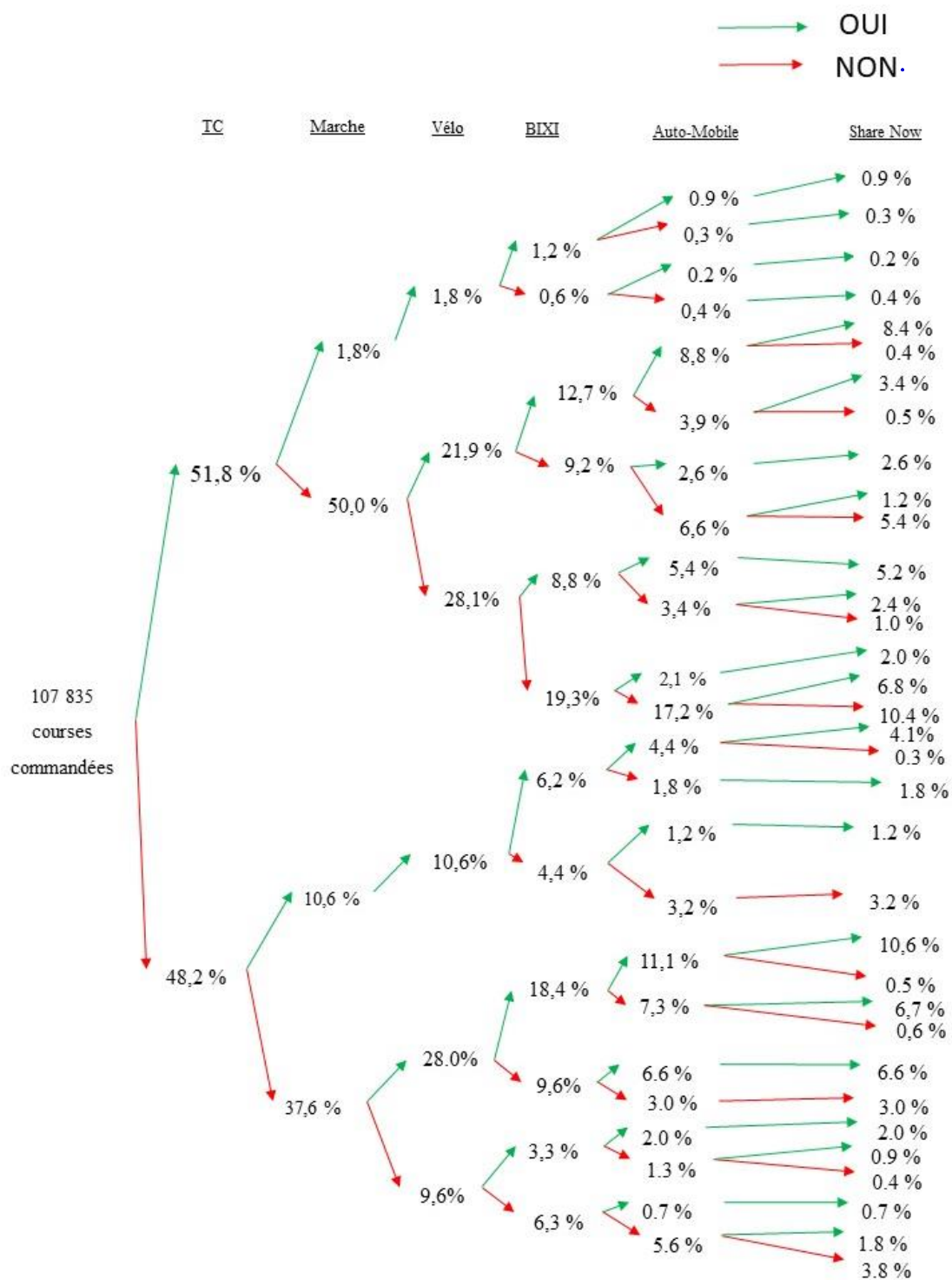


Figure 5.10 Quantification des alternatives pour les courses commandées

Pour clore cette section, deux arbres de quantification des alternatives résument l'univers des alternatives disponibles, aux Figures 5-7 et 5-8. Ces arborescences recensent les proportions des différentes combinaisons d'alternatives, tant pour les courses hélées que commandées. Les 10 combinaisons d'alternatives sont présentées comparativement entre les courses hélées et commandées, au Tableau 5.5. Elles sont associées à elles seules, respectivement à 71,8 % et 66,9 % des courses hélées et commandées. Comme mentionné auparavant, les combinaisons les plus fréquentes pour les courses hélées incluent davantage les modes actifs et partagés, d'où la plus fréquente (*vélo-BIXI-Auto-mobile-Share Now*). Concernant les courses commandées, des constats similaires peuvent être émis. Hormis, la part du TC est plus élevée, d'où la seconde combinaison plus fréquente (*TC*). Enfin, on note par ailleurs que 3,8 % des courses commandées n'ont aucune alternative, lors de leur réalisation. Cela peut s'expliquer dû au fait que les courses commandées sont légèrement plus longues que les courses hélées, tel que mentionné au Chapitre 4.

Tableau 5.5 Les 10 combinaisons plus fréquentes

	Combinaisons	Fréquence
Hélée	vélo-BIXI-Auto-mobile-Share Now	15,9%
	vélo-BIXI-Share Now	15,9%
	TC- vélo-BIXI-Auto-mobile-Share Now	8,6%
	TC	5,8%
	marche-vélo-BIXI-Auto-mobile-Share Now	5,6%
	TC-vélo-BIXI-Share Now	5,2%
	marche-vélo-BIXI-Share Now	5,0%
	TC-vélo	3,3%
	TC-BIXI-Auto-mobile-Share Now	3,2%
	BIXI-Auto-mobile-Share Now	3,2%
Commandée	vélo-BIXI-Auto-mobile-Share Now	10,6%
	TC	10,4%
	TC-vélo-BIXI-Auto-mobile-Share Now	8,4%
	TC-Share Now	6,8%
	vélo-BIXI-Share Now	6,6%
	Vélo	5,5%
	TC-vélo	5,4%
	TC-BIXI-Auto-mobile-Share Now	5,1%
	marche-vélo-BIXI-Auto-mobile-Share Now	4,2%
	Aucune	3,8%

CHAPITRE 6 ANALYSE DE COMPÉTITIVITÉ PAR CLASSES

Ce chapitre a pour but de caractériser les différentes classes de courses de taxi, selon leur combinaison d'alternatives et le type de la course (hélée ou commandée). Une autre cible de cette section est de situer le mode taxi parmi ses alternatives, en termes de son temps de déplacement. D'emblée, des heures de départ et longueurs de courses de taxi typiques sont établies pour chaque classe de courses. De plus, une analyse plus minutieuse porte sur les composantes du temps de déplacement par taxi et de ses alternatives. Concernant le transport collectif, les différentes séquences de mode sont explorées. Enfin, pour le cas des courses de taxi commandées, une analyse par ratio de compétitivité permet d'identifier des heures de départ et des longueurs de courses favorables à l'utilisation du taxi, en se basant sur le temps de déplacement.

6.1 Portrait des classes de courses à l'étude

Pour chaque paire OD, tel que mentionné précédemment, un calcul de chemin est effectué. Plusieurs indicateurs pertinents sont estimés. Les classes de courses transférables soit à vélo, en TC ou à la marche sont étudiées. Entre autres, de ce nombre se trouvent les temps de déplacement par mode (incluant les temps d'accès, d'attente et de correspondance) et les longueurs équivalentes par des modes alternatifs. Il est important de noter que les disponibilités des modes partagés sont impliquées pour l'analyse de disponibilité, mais pas pour l'analyse de compétitivité. Bref, les 8 différentes classes de courses, au Tableau 6.1, sont présentées. Six des classes contiennent assez d'observations pour l'analyse. D'emblée, les classes C2 et C4 (marche seulement et TC - marche seulement) ne contiennent aucune observation. Cela est dû à la distance seuil de faisabilité d'un déplacement marche. Enfin, la classe de courses qui contient le plus grand nombre d'observations est la classe C3, n'ayant que le vélo comme alternative. De plus, les classes C1 et C5 ont des proportions presque égales (TC seulement et TC - vélo respectivement). Dans un premier temps, certains indicateurs de temps et de longueur sont étudiés par mode alternatif. Il est pertinent d'identifier des longueurs, durées et heures types du mode taxi pour chacune des classes de courses. Par la suite, une analyse de ratio de compétitivité est orchestrée pour les classes de courses commandées.

Tableau 6.1 Sommaire des classes de courses

<u>Classe</u>	Combinaison d'alternatives	N		Proportion totale
		Hélées	Commandées	
<u>C1</u>	<u>TC seulement</u>	19 563	30 331	(49894) 21,8 %
<u>C2</u>	marche seulement	0		0,0 %
<u>C3</u>	<u>vélo seulement</u>	45 697	30 119	(75816) 33,1 %
<u>C4</u>	TC – marche seulement	0		0,0%
<u>C5</u>	TC – vélo seulement	24 430	23 664	(48094) 21,0 %
<u>C6</u>	marche-vélo seulement	15 639	11 428	(27067) 11,8 %
<u>C7</u>	TC-marche-vélo seulement	3 112	1 902	(5014) 2,2 %
<u>C8</u>	Autres ou Aucune	12 855	10 391	(23246) 10,1 %
	Total			(229 131) 100

6.2 Occurrence des classes de courses selon l'heure

Il est pertinent d'évaluer l'occurrence des classes de courses selon les heures ou périodes de la journée. D'emblée, pour les courses commandées, à la Figure 6.1, on peut constater que le nombre d'observations de la classe de courses C8 est dominant (45,3 % des courses commandées) pendant la période de la nuit (entre 0 et 4h du matin). Vers 3h du matin, on peut parler d'un pic d'indisponibilité d'alternatives (53,6% des courses commandées). Pendant cette période, seul le vélo (42,71% des courses commandées) constitue une alternative possible. Il est utile de comparer de tels constats avec les distributions horaires des longueurs de déplacement en taxi et à vélo pour comprendre la typologie de courses de taxi à ces heures. Ainsi, une carence en alternatives est mise en évidence pendant la nuit. On peut supposer que l'utilisateur a commandé un taxi lorsqu'aucune alternative n'était présente ou lorsque le trajet était faisable à vélo. On suppose que l'utilisateur possède un vélo. À travers la journée, tout comme pendant la période de carence d'alternatives, une faible proportion des courses détient une combinaison d'alternatives impliquant la marche et le vélo. Un pic de disponibilité de l'alternative TC est observé vers 6h du matin, lorsque 49,92% des courses commandées ont le TC comme alternative. Les proportions horaires des courses des classes C1, C3 et C5 sont similaires, entre la pointe du matin et la pointe de l'après-midi. Ainsi, ces classes de courses regroupent, pendant la période du jour, près de 75% des courses

commandées. Par un test de proportions pairées, il est possible de vérifier les adéquations entre ces proportions horaires. Ainsi, le niveau d'adéquation est fort à 9h, 13h et 14h. En effet, le risque d'erreur, en rejetant l'hypothèse nulle de l'égalité des proportions, est supérieur au seuil de significativité, établi à 0.05. De plus, la proportion de courses de la classe C6 fluctue faiblement à travers la journée. Également, la proportion des courses commandées transférables également à la marche, au vélo et en transport collectif, est faible au travers de la journée (1,76% des courses commandées). En somme, il est intéressant de noter que pendant la journée, les courses commandées s'effectuent lorsqu'il y a des alternatives, ce qui est visible par une faible proportion de courses commandées, n'ayant aucune alternative (5,61 % en moyenne, après 9 am).

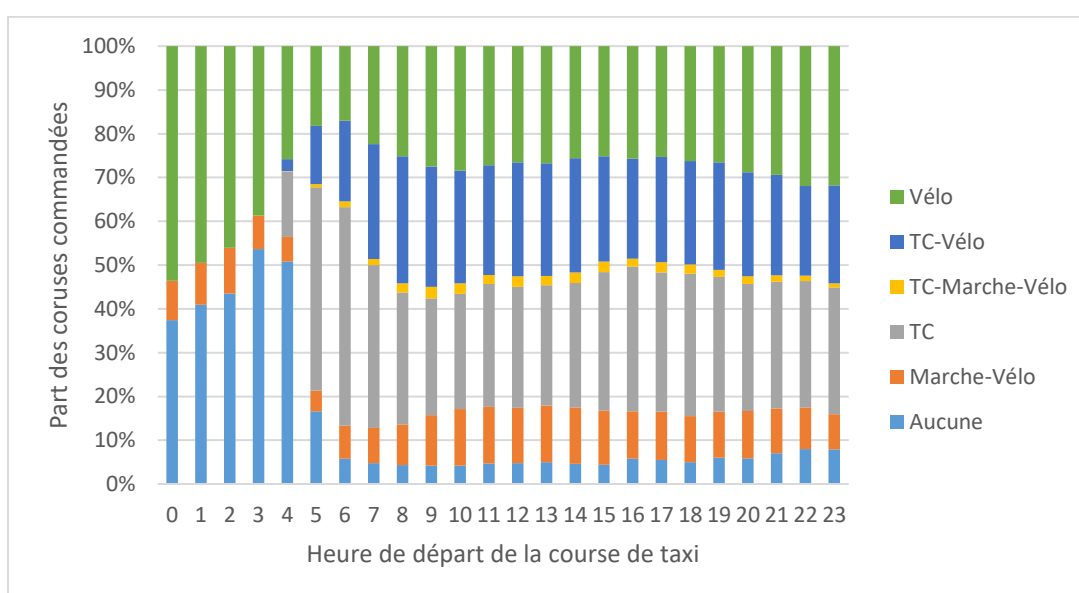


Figure 6.1 Évolution horaire de la part des courses commandées par classes

En effet, pour les courses hélées, des constats similaires peuvent être émis, selon la Figure 6.2. Tout comme les courses commandées, un groupement des proportions des courses ayant des proportions similaires (C1, C3, C5) s'observe de la pointe du matin à la pointe de l'après-midi. Un point d'inflexion marque une disponibilité accrue de l'alternative vélo, après la pointe de l'après-midi, pour les personnes faisant des courses hélées. De même, la période de la nuit est marquée par un pic de transférabilité vers le mode vélo, pendant la nuit. Ainsi, le vélo représente la seule alternative pendant cette plage horaire. Cette combinaison connaît une proportion maximale vers 3h du matin. Après cette heure, la combinaison vélo figure parmi les combinaisons moins disponibles aux usagers du taxi, incluant la combinaison TC-marche-vélo. La transférabilité de cette alternative

surpasse de loin la proportion des courses hélées n'ayant aucune alternative (C8). Ainsi, en moyenne, 57,0 % des courses hélées sont transférables à vélo, avec un pic de transférabilité vers minuit à 61,0 %. Un point d'inflexion lors de la transition entre la nuit et la pointe du matin marque un changement au niveau des propriétés des courses hélées. Ainsi, avant ce point d'inflexion, les courses hélées s'effectuent lorsqu'il n'y a pas d'alternatives. Néanmoins, en franchissant ce jalon, les courses hélées s'effectuent principalement lorsque certaines alternatives (TC et/ou vélo) sont présentes. Cela coïncide avec la mise en disponibilité du service TC régulier en pointe du matin.

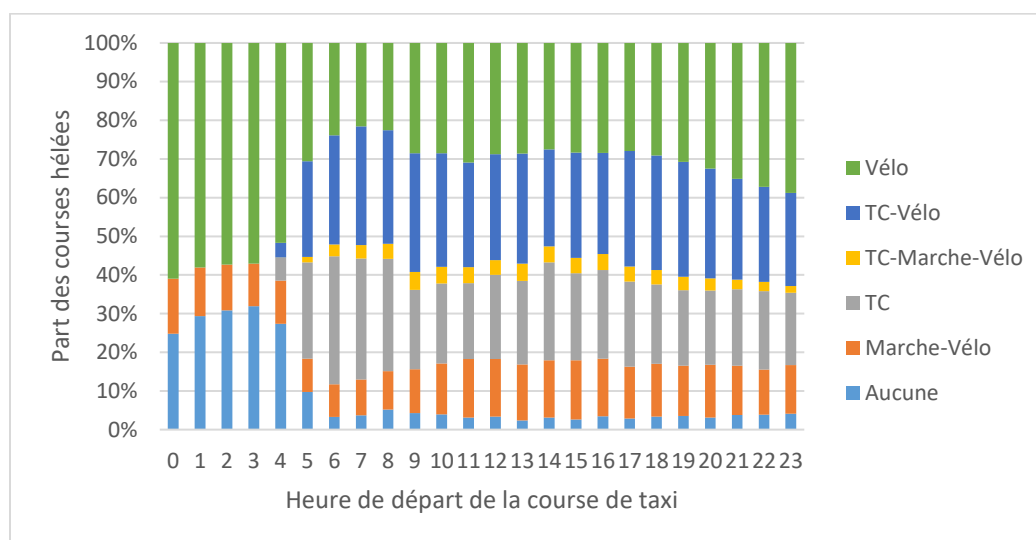


Figure 6.2 Évolution horaire de la part des courses hélées par classes

6.3 Longueurs caractéristiques des différentes classes de courses

Il est intéressant d'établir si les distributions des longueurs de course varient selon le type et la classe de course. Un test de Welch entre les longueurs moyennes des courses hélées et commandées est effectué. Il permet de conclure que seules les courses des classes C6 et C7 ne démontrent pas de différences statistiquement significatives. Ainsi, selon le Tableau 6.2, les classes C1 et C8 (TC, Aucune) représentent les classes de courses les plus longues ($l_{moy,c}^{C1} = 11,0 \text{ km}$, $l_{moy,c}^{C8} = 10,4 \text{ km}$; $l_{moy,h}^{C1} = 11,4 \text{ km}$, $l_{moy,h}^{C8} = 9,6 \text{ km}$). De même, les classes C6 et C7 (marche-vélo, marche-vélo-TC) ont les longueurs moyennes les plus courtes ($l_{moy,c}^{C6} = 1,2 \text{ km}$, $l_{moy,c}^{C7} = 1,3 \text{ km}$; $l_{moy,h}^{C6} = 1,3 \text{ km}$, $l_{moy,h}^{C7} = 1,2 \text{ km}$). De ce fait, les classes C6 et C7 regroupent les courses de taxi dont les longueurs se situent entre 800 m et 1,3 km, soit le seuil de marchabilité, tant pour

les courses hélées et commandées. En somme, ces classes de courses se distinguent par la présence de modes actifs ou du TC dans la combinaison d'alternatives. Elles concernent les déplacements courts. Enfin, les classes C3 et C5 concernent les courses de moyenne longueur ($l_{moy,c}^{C3} = 3,0 \text{ km}$, $l_{moy,c}^{C5} = 3,6 \text{ km}$; $l_{moy,h}^{C3} = 3,0 \text{ km}$, $l_{moy,h}^{C5} = 3,3 \text{ km}$). En moyenne, les courses de la classe C3 sont 25% plus longues que celles de la classe C5.

Tableau 6.2 Longueurs des courses de taxi selon les classes de courses

Type de la course	Commandée						Hélée					
Classe	C1	C3	C5	C6	C7	C8	C1	C3	C5	C6	C7	C8
Combinaison	TC	vélo	TC-vélo	marche-vélo	TC-vélo-marche	Aucune	TC	vélo	TC-vélo	marche-vélo	TC-vélo-marche	Aucune
Moyenne (min)	11,0	3,0	3,6	1,2	1,3	10,4	11,4	3,0	3,3	1,3	1,2	9,6
25 ^e percentile	6,8	2,0	2,5	0,8	0,9	6,5	6,6	2,0	2,3	0,8	0,9	6,2
75 ^e percentile	14,3	3,7	4,4	1,3	1,3	13,0	14,7	3,6	4,1	1,3	1,3	10,9
	Test de Welch ($H_0: L_{moy,h} = L_{moy,c}$)											
Combinaisons	TC		Vélo		TC-vélo		marche-vélo		TC-vélo-marche		Aucune	
p-value	2,6e-13		0,0019		<2e-16		0,17		0,13		<2e-16	

En considérant les longueurs équivalentes, il est pertinent d'examiner l'effet du type de course. Par un test de Welch, on peut conclure que la moyenne des longueurs équivalentes à vélo de la classe C3 ne varie pas selon le type de la course. De ce fait, un même constat peut être émis concernant les longueurs équivalentes à la marche de la classe C7. Plusieurs groupements de longueurs équivalentes peuvent s'observer au Tableau 6.3, tant pour les courses commandées que les courses hélées, respectivement par combinaison de modes. D'une part, les longueurs équivalentes à vélo des classes C3 et C5 regroupent les plus longs déplacements à vélo. En revanche, les classes C6 et C7 regroupent les plus courtes longueurs à vélo. En effet, la classe C3 décrit les longueurs à vélo, dont la portée interquartile se situe dans l'intervalle [1,8 km – 3,3 km]. Néanmoins, les trajets en vélo de la classe C5 sont 20% plus longs que ceux de la classe C3. Enfin, les classes C6 et C7 se démarquent par des longueurs qui demeurent dans l'intervalle interquartile [700 m-1,2km], soit à

la marche ou à vélo. Ainsi, en matière de longueurs, on peut supposer que ces classes de courses décrivent de mêmes comportements, tant pour la marche que pour le vélo. L'hypothèse de l'égalité des longueurs moyennes équivalentes à la marche et au vélo des classes C6 et C7 est remise en question. Une distinction statistiquement significative se trace.

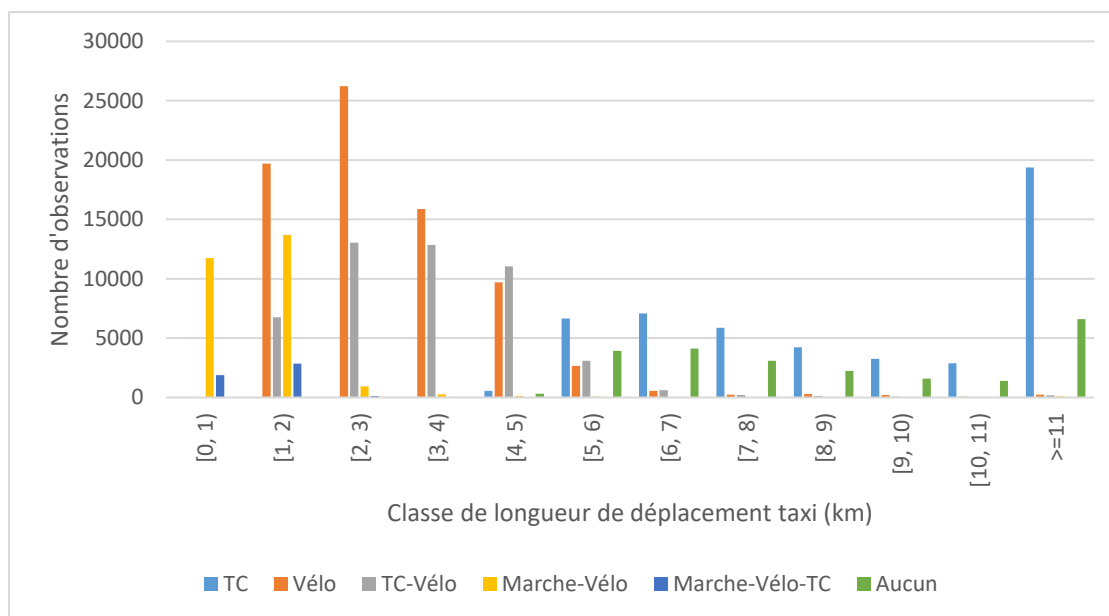


Figure 6.3 Distribution des longueurs de courses de taxi par classes

Tableau 6.3 Longueurs équivalentes à la marche et à vélo par classes

Type de la course	Commandée						Hélée					
Classe de course	C1	C3	C5	C6	C7	C8	C1	C3	C5	C6	C7	C8
Combinaisons	TC	Vélo	TC-vélo	Marche-vélo	TC-vélo-marche	Aucune	TC	Vélo	TC-vélo	Marche-vélo	TC-vélo-marche	Aucune
	Vélo											
Moyenne (km)	-	2,7	3,2	0,9	1,0	-	-	2,7	3,1	1,0	1,0	-
25 ^e percentile	-	1,8	2,4	0,7	0,9	-	-	1,9	2,2	0,8	0,8	-
75 ^e percentile	-	3,3	4,1	1,2	1,2	-	-	3,3	3,9	1,2	1,2	-
	Marche											
Moyenne (km)	-	-	-	0,9	1,0	-	-	-	0,9	1,0		
25 ^e percentile	-	-	-	0,7	0,8	-	-	-	0,7	0,8		
75 ^e percentile	-	-	-	1,1	1,2	-	-	-	1,1	1,2		
<i>Test de Welch ($H_0: L_{moy,h} = L_{moy,c}$)</i>												
Combinaisons	TC	Vélo		TC-vélo			Marche-vélo	TC-vélo-marche		Aucune		
p-value (vélo)	-	0,12		<2e-16			1,2e-07	0,015		-		
p-value (marche)	-	-		-			1,6e-06	0,13		-		

6.4 Séquence de modes TC par classe de courses

Pour les classes de courses C1, C5 et C7, la distribution des courses est étudiée selon le nombre de segments dans les trajets en TC. D'emblée, les distributions du nombre de segments dans les déplacements simulés en TC selon le type de la course. Selon le Tableau 6.4, la proportion de trajets simulés en TC, ayant 2 segments, est la plus importante, au sein de la classe C1 (Commandée : 48,0%, Hélée : 48,6%). Les séquences de modes les plus importantes au sein de cette classe de courses sont les séquences métro-bus et bus-métro, comme indiqué dans le Tableau 6.5.

Tableau 6.4 Fréquence du nombre de segments de transport en commun par classes

Classe de course Combinaison Nombre de Segments	Commandées			Hélées		
	C1	C5	C7	C1	C5	C7
	TC	TC-vélo	marche-vélo-TC	TC	TC-vélo	marche-vélo-TC
1	15,5%	54,1%	97,8%	20,3%	60,0%	97,5%
2	48,0%	40,2%	2,2%	48,6%	35,7%	2,4%
3	29,7%	5,5%	0,0%	25,6%	4,1%	0,1%
4	6,3%	0,2%		4,9%	0,1%	
5	0,4%	0,0%		0,6%		
6	0,0%					

La classe C5 démontre une plus grande proportion de déplacements à 1 segment (Commandée : 54,1%, Hélée : 60,0%) dont le bus constitue le mode dominant. Enfin, au sein de la classe de courses C7, une très large proportion (Commandée : 97,8 %, Hélée : 97,5 %) des déplacements TC ne contient qu'un seul segment. Tout comme pour la classe de courses C5, le bus est le mode de déplacement prépondérant.

Tableau 6.5 Séquences de modes TC les plus fréquentes par classes

	C1 (TC)		C5 (TC-vélo)		C7 (marche-vélo-TC)			
	Commandée	Hélée	Commandée	Hélée	Commandée	Hélée		
1 segment								
bus	8,14%	10,85%	bus	50,28%	52,67%	bus	97,32%	96,37%
métro	7,24%	9,37%	métro	3,86%	7,35%	métro	0,47%	1,12%
2 segments								
métro-bus	14,94%	19,48%	bus-bus	16,25%	11,09%	-	-	-
bus-métro	14,66%	10,64%	bus-métro	12,12%	7,25%	-	-	-
3 segments								
bus-métro-bus	10,29%	7,04%	-	-	-	-	-	-
métro-métro-bus	5,22%	7,05%	-	-	-	-	-	-

6.5 Analyse des composantes du temps de déplacement par classe

Il est d'intérêt d'évaluer si le type de course a un impact sur les distributions des temps en véhicule de taxi. Ainsi, par la suite, les possibles regroupements entre les classes de courses sont pertinents à identifier.

6.5.1 Temps en véhicule type

Par des tests paramétriques, il est pertinent d'évaluer la variabilité des temps de déplacement en taxi à travers les classes de courses, compte tenu du type de la course. De ce fait, des tests de Welch pairés sont utilisés sur les temps en véhicules moyens, au sein des classes de courses. Avec une probabilité faible d'effectuer une erreur en rejetant H_0 , toutes les combinaisons de modes sauf celles du tc-vélo-marche démontrent une différence statistiquement significative entre les distributions des temps en véhicule de taxi entre le type hélé et commandé. Cela est un constat pertinent, qui confirme l'intérêt d'une segmentation des analyses. Selon le Tableau 6.8, les classes C3, C6, C7 et C8 démontrent de faibles écarts relatifs entre les moyennes des durées de courses selon le type de la course. Certes, il est intéressant de noter que des tendances similaires sont observées au sein des classes de courses, indépendamment du type de course, selon le Tableau 6.6 et la Figure 6.4. Les classes C6 et C7 dont les combinaisons d'alternatives concernent les modes actifs principalement (marche-vélo, marche-vélo-TC) contiennent les plus courtes durées de courses de taxi ($t_{moy,c}^{C6} = 5,0 \text{ min}$, $t_{moy,c}^{C7} = 5,3 \text{ min}$; $t_{moy,h}^{C6} = 5,4 \text{ min}$, $t_{moy,h}^{C7} = 5,4 \text{ min}$). Il est intéressant de noter que les 3^e quartiles de ces classes de courses sont inférieurs au temps acceptable d'accès TC (soit 10 minutes) (Pongprasert & Kubota, 2017, 2019; Vuchic, 2005) . Bref, il est supposé que l'utilisateur choisit, pour ces déplacements courts, de prendre le taxi plutôt que de marcher ou de prendre le vélo. De même, les classes C1 et C8, caractérisées par l'absence d'alternatives ou par la présence du TC comme seule alternative, représentent les courses de taxi de longue durée. En effet, les classes C1 et C8 (TC, Aucune) représentent les classes de courses avec les durées de courses les plus longues en moyenne ($t_{moy,c}^{C1} = 21,9 \text{ min}$, $t_{moy,c}^{C8} = 18,1 \text{ min}$; $t_{moy,h}^{C1} = 25,4 \text{ min}$, $t_{moy,h}^{C8} = 18,6 \text{ min}$). Enfin, un autre regroupement peut être effectué entre les classes C3 et C5, qui contiennent des courses à moyenne durée ($t_{moy,c}^{C3} = 9,6 \text{ min}$, $t_{moy,c}^{C5} = 11,3 \text{ min}$; $t_{moy,h}^{C3} = 9,4 \text{ min}$, $t_{moy,h}^{C5} = 10,9 \text{ min}$).

Tableau 6.6 Durée des courses hélées et commandées par classes

Type de la course	Commandée						Hélée					
Classe de course	C1	C3	C5	C6	C7	C8	C1	C3	C5	C6	C7	C8
Combinaisons	TC	Vélo	TC- vélo	marche -vélo	TC- vélo- marche	Aucune	TC	Vélo	TC- vélo	marche -vélo	TC-vélo- marche	Aucune
Moyenne (min)	21,9	9,6	11,3	5,0	5,3	18,1	25,4	9,4	10,9	5,4	5,4	18,6
25 ^e percentile (min)	15,8	6,3	7,7	2,8	3,0	13,1	15,6	6,3	7,3	3,1	3,0	13,2
75 ^e percentile (min)	25,0	11,7	13,3	5,0	6,7	21,7	28,3	11,7	13,3	6,7	6,7	21,7
Écart-type (min)	9,3	5,1	5,6	4,4	4,8	7,8	17,6	4,9	5,8	4,7	4,9	10,3

La variabilité des temps en véhicule équivalents est à étudier selon le type de la course. Selon un test de Welch, il y a une différence statistiquement significative entre les temps en véhicule TC des courses hélées et commandées, sauf pour les courses de taxi appartenant à la classe C7. Selon le Tableau 6.8, les écarts relatifs entre les temps en véhicule TC associés aux courses de taxi commandées et ceux associés aux courses de taxi hélées sont relativement faibles. Une hiérarchie se révèle, au Tableau 6.7, au sein des classes. Ainsi, pour le transport collectif, 3 classes de temps en véhicule en TC se distinguent. En effet, la classe C1 est associée avec les plus longs temps en véhicule équivalents en TC. La classe C5 renferme les temps en véhicule équivalents en TC dont l'ampleur est moyenne ($t_{moy,c}^{C5} = 11,5 \text{ min}$; $t_{moy,h}^{C5} = 10,8 \text{ min}$). Enfin, la classe C7 implique les plus faibles temps en véhicule équivalents en TC ($t_{moy,c}^{C7} = 4,3 \text{ min}$).

En considérant les temps de déplacement équivalents en vélo associés aux classes C3 et C7, il n'y a pas de différence statistique entre les courses hélées et commandées. Similairement au cas du transport collectif, une hiérarchie s'observe : les classes C3 et C5 regroupent les courses de taxi dont le temps de déplacement équivalent en vélo est de moyenne durée ($t_{moy,c}^{C3} = 9,6 \text{ min}$; $t_{moy,c}^5 = 11,3 \text{ min}$; $t_{moy,h}^{C3} = 9,4 \text{ min}$; $t_{moy,h}^5 = 10,9 \text{ min}$).

Tableau 6.7 Temps en véhicule équivalents en TC par classe

Temps en véhicule équivalents selon les classes (min)

Type de la course	Commandée						Hélée					
	C1	C3	C5	C6	C7	C8	C1	C3	C5	C6	C7	C8
Classe de course	C1	C3	C5	C6	C7	C8	C1	C3	C5	C6	C7	C8
Combinaisons d'alternatives	TC	vélo	TC-vélo	marche-vélo	TC-vélo-marche	Aucune	TC	Vélo	TC-vélo	marche-vélo	TC-vélo-marche	Aucune
TC												
Moyenne (min)	26,2	-	11,5	-	4,2	-	25,2	-	10,8	-	4,3	-
25 ^e percentile (min)	16,7	-	8,1	-	3,2	-	15,5	-	7,5	-	3,2	-
75 ^e percentile (min)	33,7	-	14,3	-	5,0	-	32,4	-	13,5	-	5,2	-
Vélo												
Moyenne (min)	-	9,6	11,3	5,0	5,3	-	-	9,4	10,9	5,4	5,4	-
25 ^e percentile (min)	-	6,3	7,7	2,8	3,0	-	-	6,3	7,3	3,1	3,0	-
75 ^e percentile (min)	-	11,6	13,6	5,7	6,0	-	-	11,2	13,0	6,0	6,1	-
Marche												
Moyenne (min)	-	-	-	10,8	11,9	-	-	-	-	11,1	11,8	-
25 ^e percentile (min)	-	-	-	8,4	10,1	-	-	-	-	8,8	9,9	-
75 ^e percentile (min)	-	-	-	13,5	14,2	-	-	-	-	13,7	14,2	-

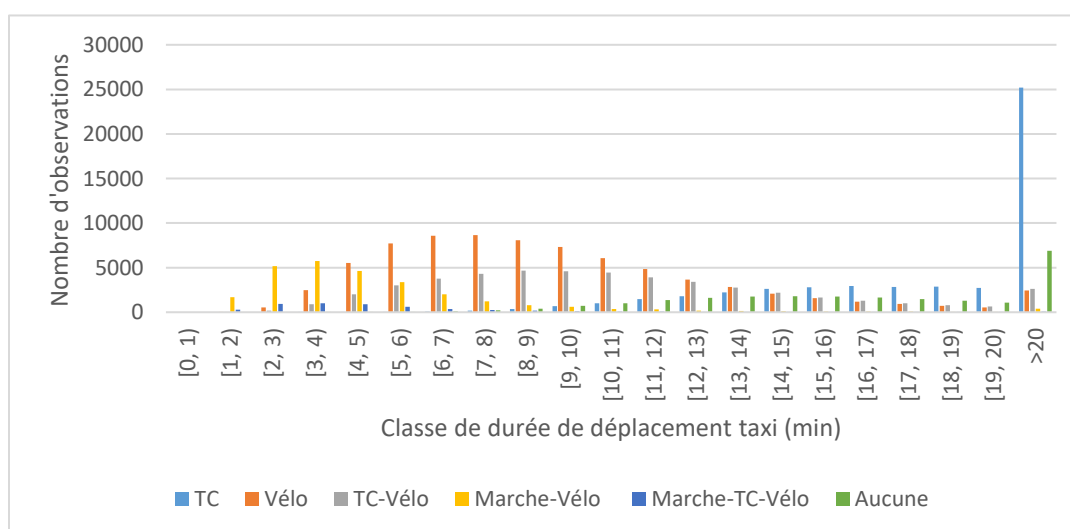


Figure 6.4 Distribution fréquentielle des temps en véhicule en taxi par combinaison

Tableau 6.8 Différences statistiques des temps en véhicule par mode

	$H_0: t_{comm}^i = t_{hél}^i$	TC	Vélo	TC-vélo	marche-vélo	TC-vélo-marche	Aucune
Taxi	P-value	< 2,2e-	1,51e-08	7,627e-15	2,385e-09	0,3455	0,000630
	Ecart relatif (%)	13,8 %	2,1 %	3,7 %	7,4 %	1,9 %	2,7 %
TC	P-value	< 2,2e-	-	< 2,2e-16	-	0,008	-
	Ecart relatif (%)	4,0 %	-	6,5 %	-	2,3 %	4,0 %
Vélo	P-value	-	0,3006	< 2,2e-16	< 2,2e-16	0,6237	-
	Ecart relatif (%)	-	2,1 %	3,7 %	7,4 %	1,9 %	-
Marche	P-value	-	-	-	7,965e-10	0,3103	-
	Ecart relatif (%)	-	-	-	-2,7 %	0,8 %	-

De même, les moyennes des temps de déplacement équivalents à vélo au sein des classes C6 et C7 sont similaires. Les classes C6 et C7 regroupent les courtes courses de taxi, dont le temps de déplacement équivalent en vélo est tout aussi court ($t_{moy,c}^{C6} = 5,0 \text{ min}$; $t_{moy,c}^{C7} = 5,3 \text{ min}$; $t_{moy,h}^{C6} = 5,4 \text{ min}$; $t_{moy,h}^{C7} = 5,4 \text{ min}$). Quant au mode marche, les temps de déplacement équivalents en vélo pour ce mode semblent être de même ampleur pour les courses des classes C6 et C7 ($t_{moy,c}^{C6} = 10,8 \text{ min}$; $t_{moy,c}^{C7} = 11,9 \text{ min}$; $t_{moy,h}^{C6} = 11,1 \text{ min}$; $t_{moy,h}^{C7} = 11,8 \text{ min}$). Néanmoins, avec un faible risque ($p < 2,2e-16$) d'effectuer une erreur en rejetant l'hypothèse nulle de l'égalité des moyennes, il y a quand même une distinction significative entre les courses de taxi des classes C6 et C7, au niveau du temps de déplacement équivalent à la marche. Une comparaison plus fine des temps de déplacement sera effectuée dans l'analyse de compétitivité.

6.5.2 Temps d'accès TC type à l'origine

Seules les classes de courses incluant l'alternative TC ont été retenues pour cette analyse des temps d'accès TC à l'origine. Il est intéressant d'analyser si le type de course exerce une influence sur les temps d'accès du trajet alternatif en TC. Ainsi, des tests de Welch sont entrepris pour identifier l'adéquation entre les moyennes des temps d'accès TC associées à chaque classe de courses. Avec de faibles risques ($p < 2.2e-16$) d'effectuer des erreurs en rejetant l'hypothèse nulle, les moyennes des temps d'accès à l'origine fluctuent significativement selon le type de la course. Ainsi, il y a une différence statistique entre les courses hélées et commandées à cet effet. La classe C7 démontre

encore les plus faibles temps d'accès à l'origine simulés à bord du TC, parmi les classes. Une hiérarchie peut être observée, au Tableau 6.9, concernant les temps d'accès à l'origine. Les temps d'accès à bord du TC sont les plus faibles pour les courses de taxi de la classe C7 ($t_{moy,c}^{C7} = 1,8 \text{ min}$; $t_{moy,h}^{C7} = 1,5 \text{ min}$) et les plus élevés pour les courses de taxi de la classe C1 ($t_{moy,c}^{C1} = 5,6 \text{ min}$; $t_{moy,h}^{C1} = 4,6 \text{ min}$). La classe C5 démontre les temps d'accès à l'origine dont l'ampleur est moyenne, se situant dans les intervalles interquartiles [1,9-5,6 min] pour les courses commandées et [1,0-4,4 min] pour les courses hélées. En effet, on assiste à une augmentation du temps d'accès à l'origine, lorsque le nombre d'alternatives composant la combinaison diminue. Préalablement, il a été postulé que la classe C1 concerne les courses TC de longue durée. Il est intéressant de noter qu'au 75^e percentile, le temps d'accès TC à l'origine des courses de taxi commandées, au sein de la classe C1, se rapproche du temps d'accès acceptable (soit 10 minutes) proposé dans la littérature (Pongprasert & Kubota, 2017; Vuchic, 2005).

Tableau 6.9 Sommaire statistique des temps d'accès à l'origine par combinaison

	Commandée			Hélée		
Classe de course	C1	C5	C7	C1	C5	C7
Combinaisons	TC	TC-vélo	TC-vélo-marche	TC	TC-vélo	TC-vélo-marche
Moyenne (km)	5,6	4,0	1,8	4,6	3,0	1,5
25 ^e percentile (km)	2,7	1,9	0,9	1,9	1,0	0,7
75 ^e percentile (km)	8,1	5,6	2,6	6,7	4,4	2,3

6.6 Analyse par ratio de compétitivité

Une distinction est établie entre les courses hélées et les courses commandées, selon le temps d'attente. Or, le temps d'attente pour les courses hélées n'est pas une variable disponible. Plusieurs hypothèses peuvent être formulées sur le temps écoulé entre la disponibilité du client et l'arrivée d'un véhicule de taxi vacant. Dans notre cas, il n'est pas prudent de procéder avec l'hypothèse d'un temps d'attente nul pour les courses hélées. Il est vrai que selon cette attente, plusieurs véhicules de taxi de statut occupé peuvent sillonner les routes et ainsi ne pas constituer une opportunité pour

le client. Subséquemment, comme mentionné précédemment, le temps d'attente pour une course hélée est dépendant de la demande et du nombre de taxis vacants. Certes, des scénarios de temps d'attente hypothétiques peuvent être estimés pour analyser l'impact du temps d'attente, au niveau de la caractérisation des origines et destinations de courses, pour les courses hélées. Néanmoins, seules les courses commandées sont étudiées pour l'analyse par ratio de compétitivité. Les temps de déplacement sont mis en comparaison de façon systématique. Pour les courses commandées, le temps de déplacement en taxi inclut le temps d'attente et le temps en véhicule. Le temps de déplacement à la marche et à vélo n'est composé que du temps à la marche et du temps à vélo respectivement. Enfin, le temps de déplacement en transport collectif inclut le temps d'accès à l'origine, le temps en véhicule, les temps d'attente en correspondance et le temps d'accès à la destination. Cela constitue le temps de déplacement minimisé. Une analyse par ratio de temps de déplacement pourra étoffer cette étude comparative des temps de déplacement. Certes, il est important de noter que certaines composantes du temps de parcours sont omises (par exemple temps de stationnement du vélo, temps de marche au taxi) et ainsi les ratios de temps de parcours ne sont pas complètement comparables. Ainsi, on parlera plutôt de ratio de compétitivité. Il sera possible d'identifier des heures de départ, des longueurs de courses de taxi et des zones d'origines ou de destinations, pour lesquelles un mode est plus favorable qu'un autre. En revenant sur des hypothèses formulées dans des chapitres précédents, il est supposé que là où les durées de courses de taxi sont plus longues, les temps de déplacement offerts par d'autres modes sont plus attractifs. En même temps, si le taxi est la seule alternative disponible, il est difficile de se prononcer sur le caractère attractif ou non du temps de déplacement.

6.6.1 Distribution fréquentielle des ratios de compétitivité par classe

Il est intéressant d'identifier les regroupements entre les classes de courses, compte tenu des distributions des ratios. Au sein des Figure 6.5 et Figure 6.6, les 25^e et 75^e percentiles sont étudiés comme indicateurs de la forte ou faible compétitivité de l'alternative par rapport au taxi. De ce fait, au sein des courses de taxi commandées de la classe C1, l'intervalle interquartile [1,3 ; 2,1], concentre 50% des valeurs des ratios de compétitivité TC-Taxi. Ainsi, pour la classe C3, les ratios de compétitivité vélo-taxi se situent principalement dans les intervalles interquartiles [0,6 ; 1,0]. Il est possible de remarquer que le mode de sa distribution se situe dans l'intervalle [1,6 ; 1,7[, tout comme pour la classe C5, pour le même mode de transport. Le mode de la distribution des ratios

de compétitivité marche-taxi de la classe C6 se situe dans le même intervalle que celui de la classe C7, soit $[1,1 ; 1,2[$. Il est intéressant de noter que le mode de la distribution du ratio de compétitivité TC-Taxi de la classe C7 se situe aussi dans le même intervalle que celui de la marche, pour la même classe. Le mode statistique du ratio de compétitivité vélo-taxi ne semble pas varier entre les distributions des ratios de compétitivité associées aux classes C3 et C5. Or, au sein de la classe C7, le mode de la distribution fréquentielle du ratio vélo-taxi diminue jusqu'à l'intervalle $[0,5 ; 0,6[$.

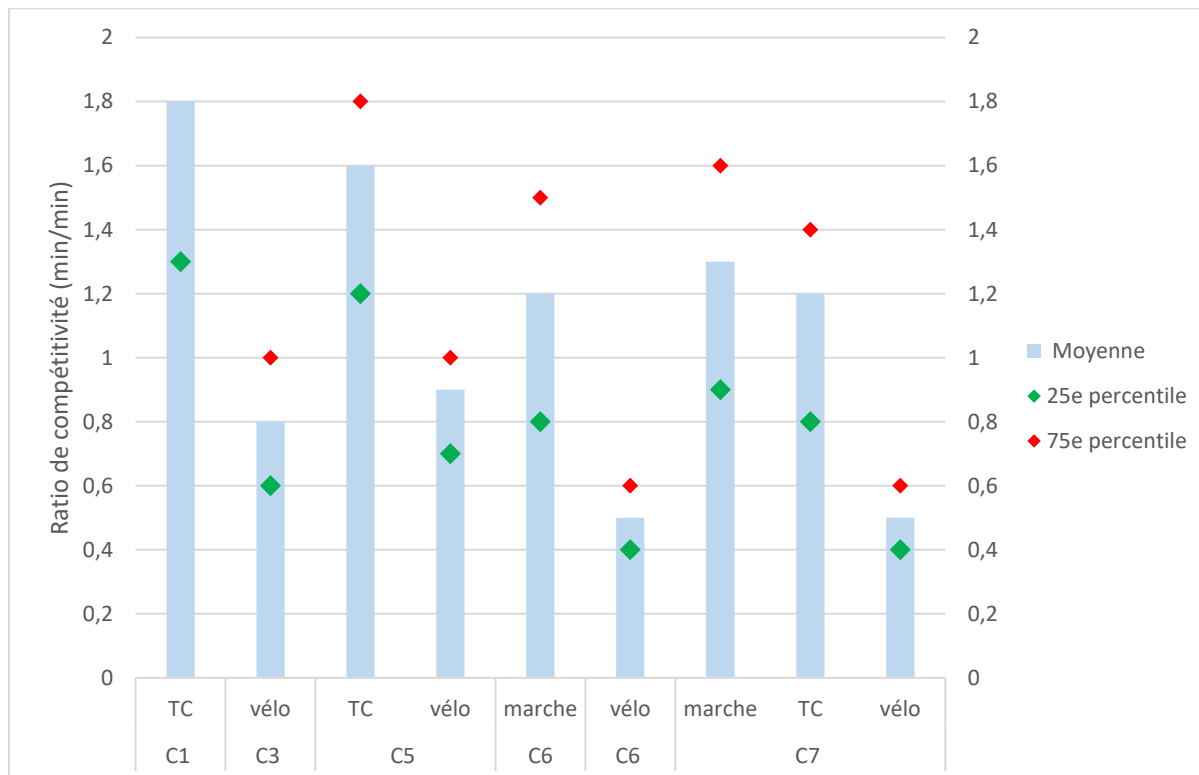


Figure 6.5 Sommaire statistique des ratios de compétitivité par classe

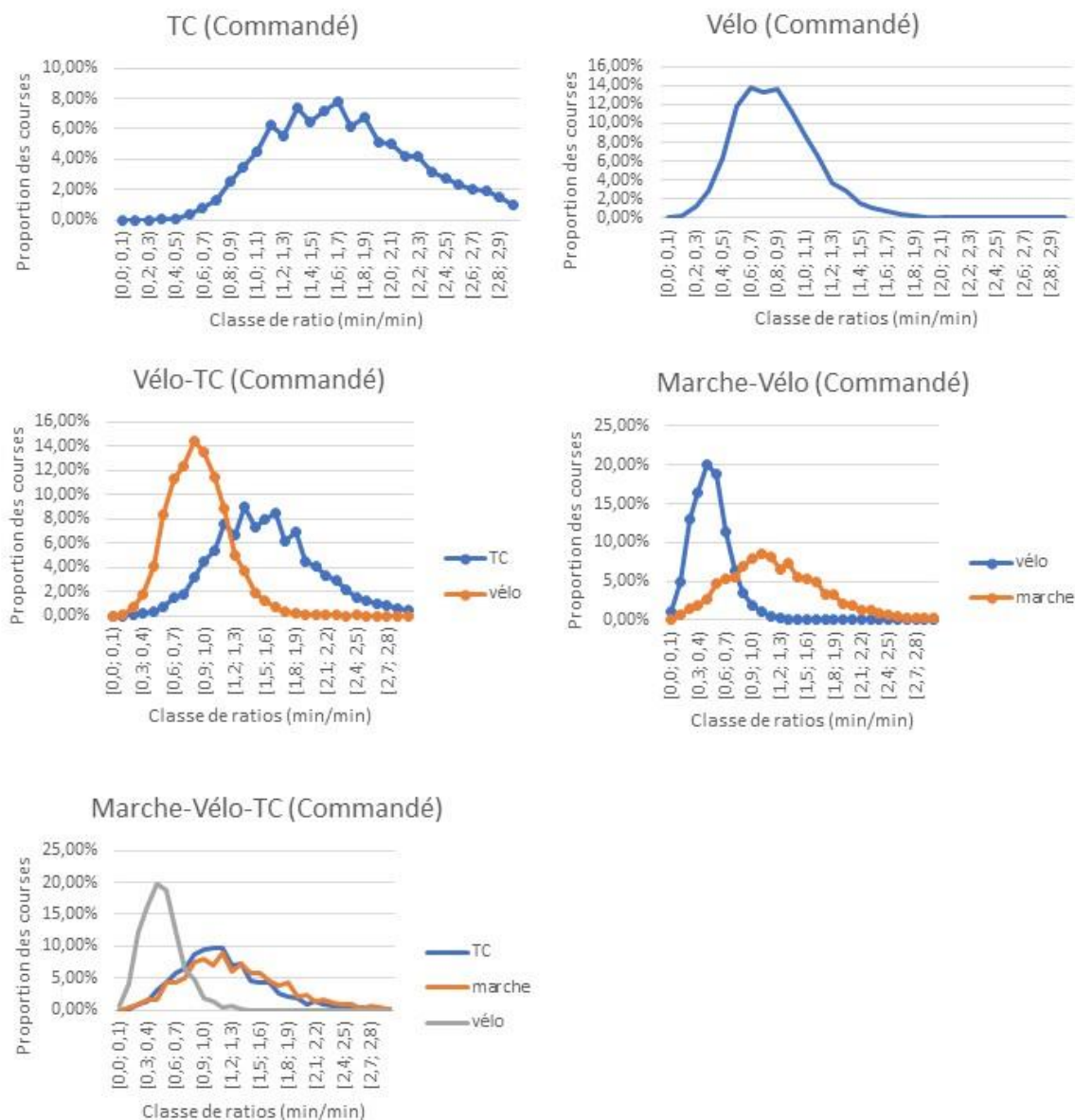


Figure 6.6 Distributions fréquentielles des ratios de compétitivité par classe de courses

6.6.2 Variations selon l'heure de départ

Il est d'intérêt d'étudier les distributions horaires moyennes des ratios de compétitivité, au sein de chaque classe de courses. En considérant le mode TC, selon la Figure 6.7, une transposition des distributions horaires du ratio moyen des classes C1 et C5, s'observe. En effet, au sein de ces classes, le ratio moyen de compétitivité TC-taxi suit des tendances similaires. Au sein des classes

dont le TC est une des alternatives, une phase décroissante accentuée s'observe de la fin de la période de la nuit jusqu'à la fin de la période de la pointe du matin. Ainsi le TC devient une option moins attirante et moins disponible à ces heures. Par la suite, le ratio moyen TC-taxi est minimal entre la fin de la pointe du matin et la fin de la pointe de l'après-midi.

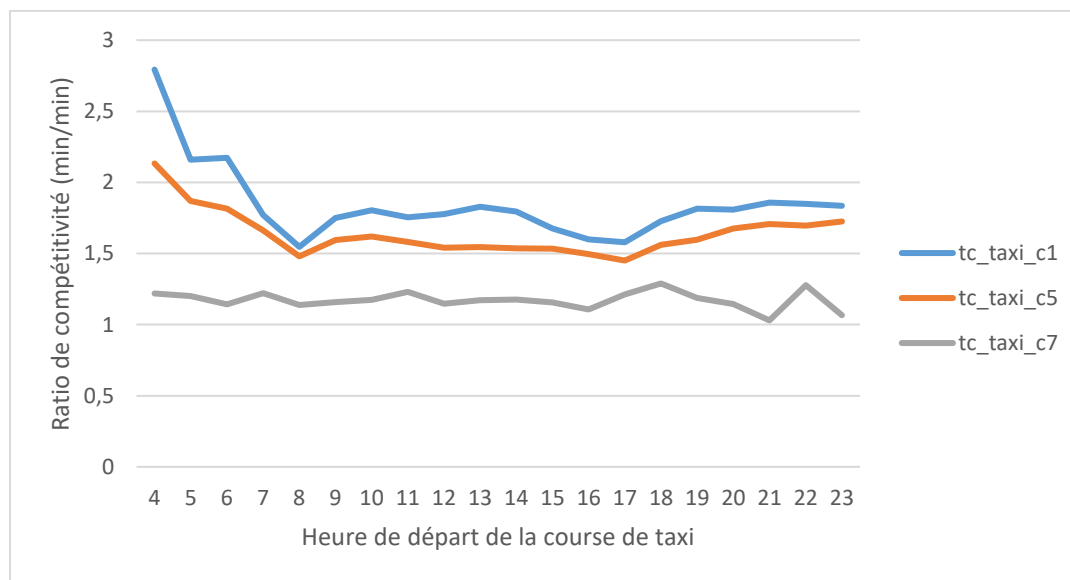


Figure 6.7 Évolution horaire des ratios de compétitivité TC-Taxi par classe

Cela signale qu'au sein de cette fenêtre temporelle, le temps de déplacement moyen en TC est plus compétitif par rapport au taxi. Pour la classe C7, le ratio moyen TC-Taxi démontre une faible variabilité horaire et stagne à une valeur moyenne de 1,2. Les courses appartenant à cette classe ont les temps de déplacement équivalents en TC les plus compétitifs avec le taxi. Le mode vélo, selon la Figure 6.8, démontre une forte compétitivité horaire au travers de la journée moyenne. Le temps de déplacement équivalent à vélo est moins compétitif par rapport au taxi pendant la période de la nuit et le début de la pointe du matin, respectivement dans les classes C3 et C5. En dehors de la fenêtre temporelle mentionnée, le ratio horaire moyen de compétitivité vélo-taxi est plus faible. En effet, la période s'étendant de la pointe du matin à la fin de la soirée est caractéristique d'un temps moyen de déplacement équivalent à vélo très compétitif par rapport au taxi. Cette compétitivité est à son summum pour les courses de la classe C7, où le vélo offre un temps moyen de déplacement horaire à 50% du temps de déplacement en taxi moyen horaire. Certes, il est important de rappeler que les mesures de temps de déplacement ne sont pas équivalentes.

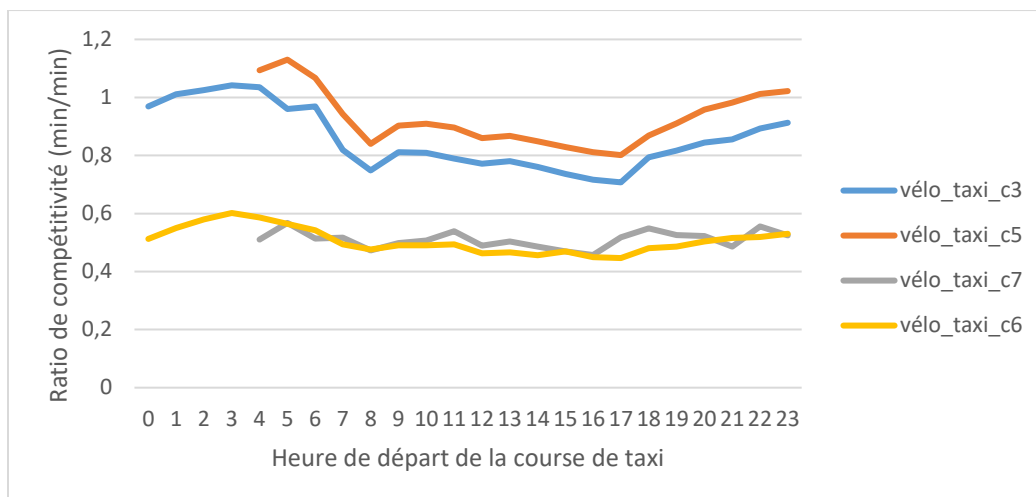


Figure 6.8 Évolution horaire des ratios de compétitivité vélo-taxi par classe

Selon la Figure 6.9, la marche rentre moins en compétition avec le taxi que le vélo, compte tenu du temps de déplacement, au sein des classes C6 et C7. Néanmoins, si le temps de marche vers un taxi ou le temps de recherche de stationnement à vélo étaient impliqués dans l'estimation du temps de déplacement, il est possible que la marche soit plus compétitive avec le taxi pour les courts déplacements. De meilleures mesures de la congestion peuvent mener à de différents résultats. Au sein de la classe C6, il est possible d'observer un plateau entre la pointe du matin et le début de la soirée, pendant lequel l'attractivité du temps de déplacement moyen à la marche est maximale. La compétitivité du taxi par rapport à la marche est maximale à 3h du matin. Les périodes de la soirée et de la nuit favorisent l'attractivité du taxi. Quant à la classe C7, certaines plages horaires sont caractéristiques de la compétitivité de la marche, par rapport au taxi. Ainsi, le temps de déplacement moyen à la marche devient plus compétitif à 8h, 21h et entre 12h-16h. En revanche, le temps de déplacement en taxi est plus favorable à 5h, 11h, 18h et 22h.

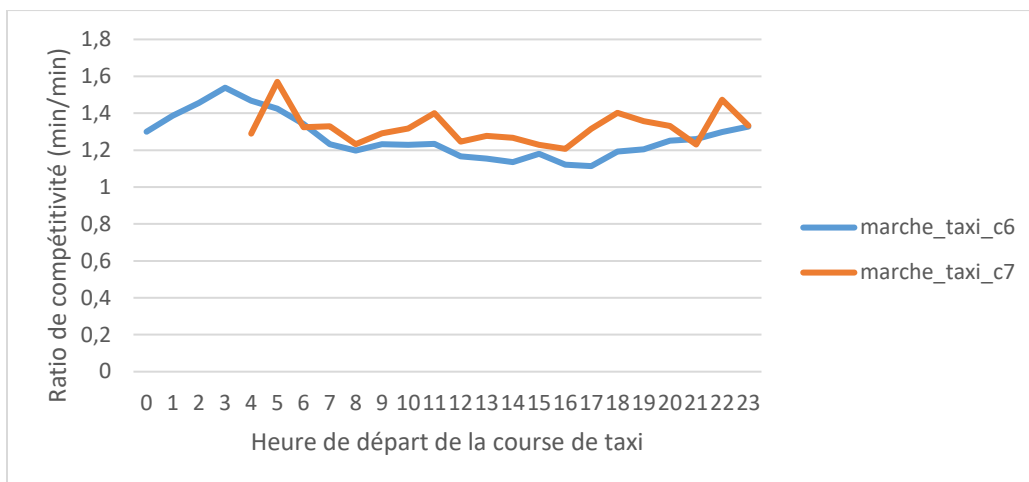


Figure 6.9 Évolution des ratios de compétitivité marche-taxi par classe

6.6.3 Variations selon la longueur de la course

La performance des différentes alternatives est comparée en fonction de la longueur de la course de taxi. Il est d'intérêt de caractériser l'interaction entre la longueur de la course et la compétitivité du temps de déplacement en taxi, par classes. Dans le cas des courses commandées de la classe C1, on observe, à la Figure 6.10, que la longueur de la course ne semble pas vraiment influencer l'évolution du ratio. Il est important de rappeler que les courses de taxi concernées par cette classe rassemblent les plus longues courses de taxi commandées à l'étude.

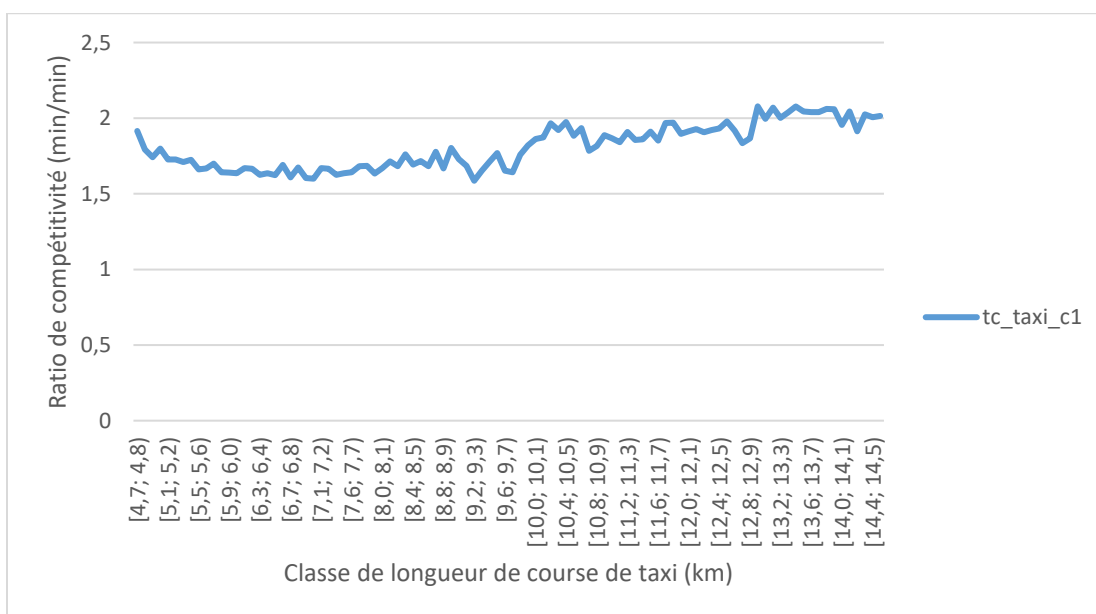


Figure 6.10 Ratio moyen de compétitivité (C1)

Au sein de la classe C3, le ratio moyen de compétitivité vélo-taxi croît en fonction de la longueur, tel que le montre la Figure 6.11. En effet, pour de plus courtes longueurs de course de taxi, le vélo est une option très compétitive. Pour C5, les ratios moyens de compétitivité TC-taxi et vélo-taxi suivent également une augmentation selon la longueur de la course. Selon la Figure 6.12, un palier est atteint pour le ratio moyen TC-taxi, dans l'intervalle [2,8-4,8 km[. Au sein de cet intervalle, la longueur de la course ne semble pas avoir d'impact significatif sur la compétitivité du TC, celle-ci demeurant plutôt faible.

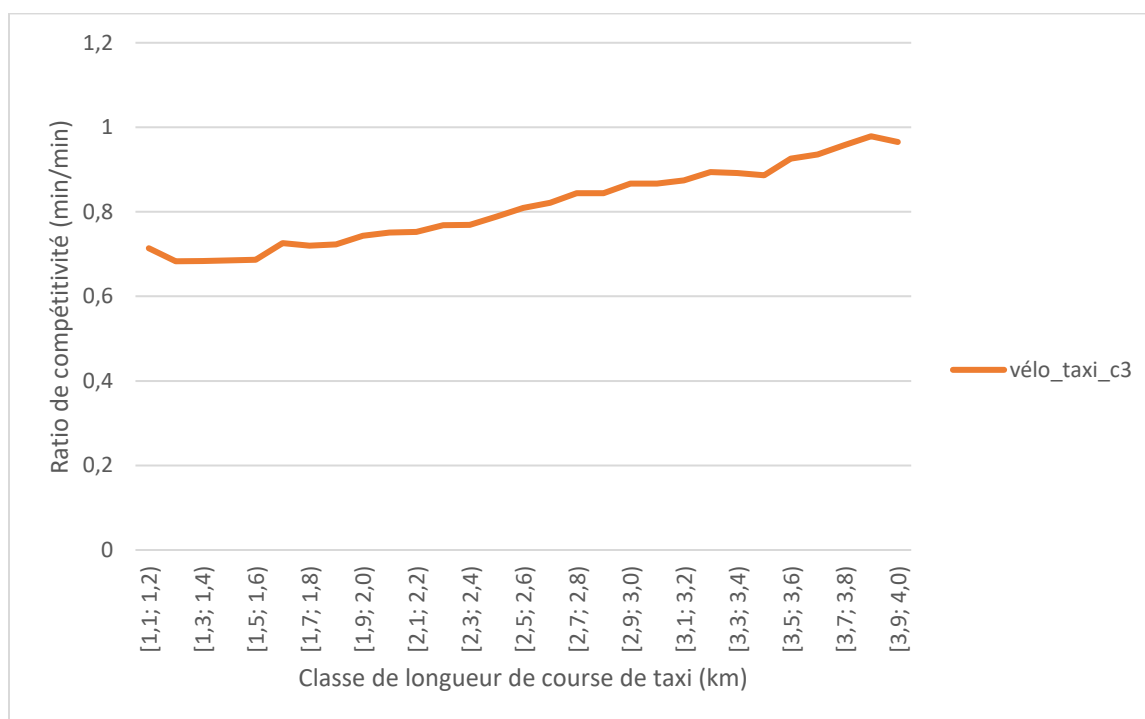


Figure 6.11 Ratio moyen de compétitivité (C3)

Au sein des courses commandées de la classe C6, le vélo se démarque comme étant l'alternative la plus compétitive avec le taxi. Selon la Figure 6.13, les temps de déplacement équivalents en vélo sont, en moyenne, 2 fois moins longs que ceux du taxi, pour de courtes courses (<1,3 km). Cela est attribué en partie aux choix méthodologiques de calcul de temps. La marche est plus compétitive pour des courses de taxi dont la longueur se situe en dessous de l'intervalle [0,5 ; 0,6 km [. Ainsi, pour des déplacements très courts, pour lesquels le déplacement en TC n'est pas plausible, la marche est tout aussi une option compétitive.

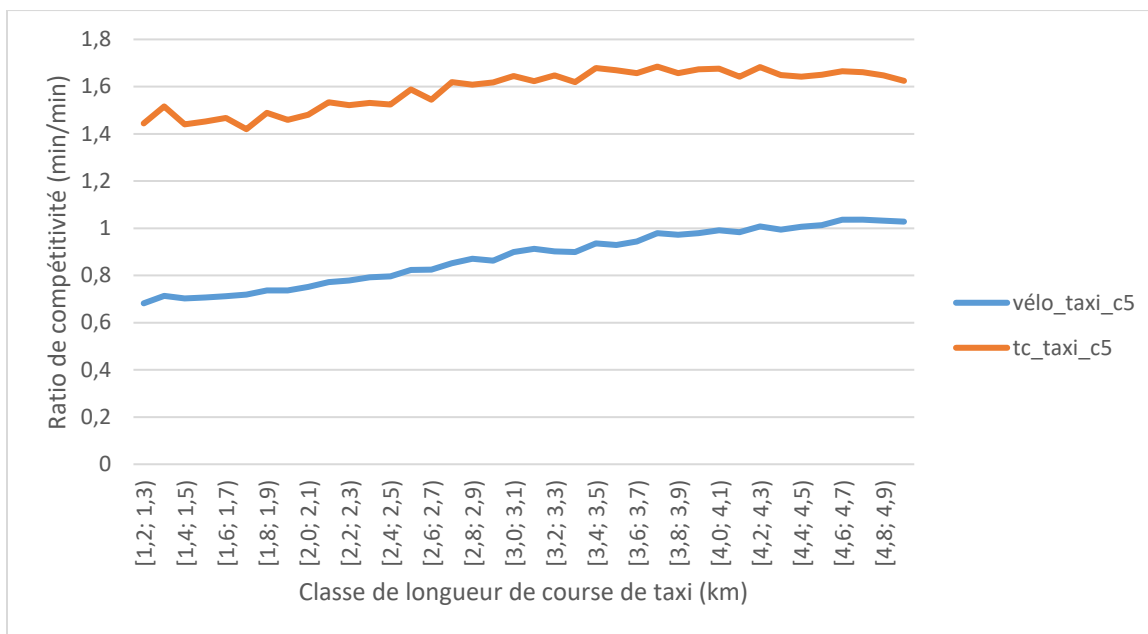


Figure 6.12 Ratios moyens de compétitivité (C5)

Enfin, au sein de la classe C7, la courbe du ratio moyen de compétitivité marche-taxi est marquée par une phase croissante et une phase décroissante. Une compétitivité minimale de la marche est repérée à l'intervalle [1,2-1,3 km [. Tel qu'en témoigne la Figure 6.14, le temps de déplacement à vélo est très attractif. De ce fait, le vélo offre des temps de déplacement 50 % plus faibles que ceux du taxi. En somme, le vélo se démarque au sein de cette classe de courses comme l'alternative la plus compétitive par rapport au taxi. Il est intéressant de noter également que dans l'intervalle [0,7-0,9 km [, les temps de déplacement moyens à la marche, en TC et en taxi sont équivalents, selon la méthode d'estimation des temps de déplacement utilisée. Néanmoins, en moyenne, pour de plus longues courses, la marche et le TC sont moins attractifs que le taxi, sous la perspective des ratios de compétitivité. De plus, le ratio moyen de compétitivité TC-taxi semble connaître une stagnation relative. Cela signifie que la longueur de la course ne semble pas modifier la compétitivité du TC par rapport au taxi.

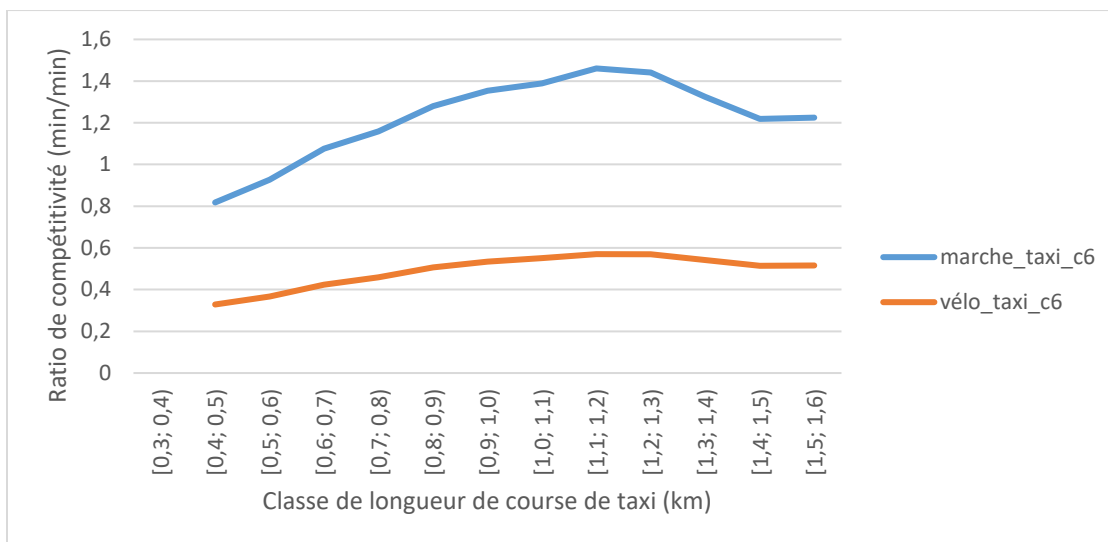


Figure 6.13 Ratios moyens de compétitivité (C6)

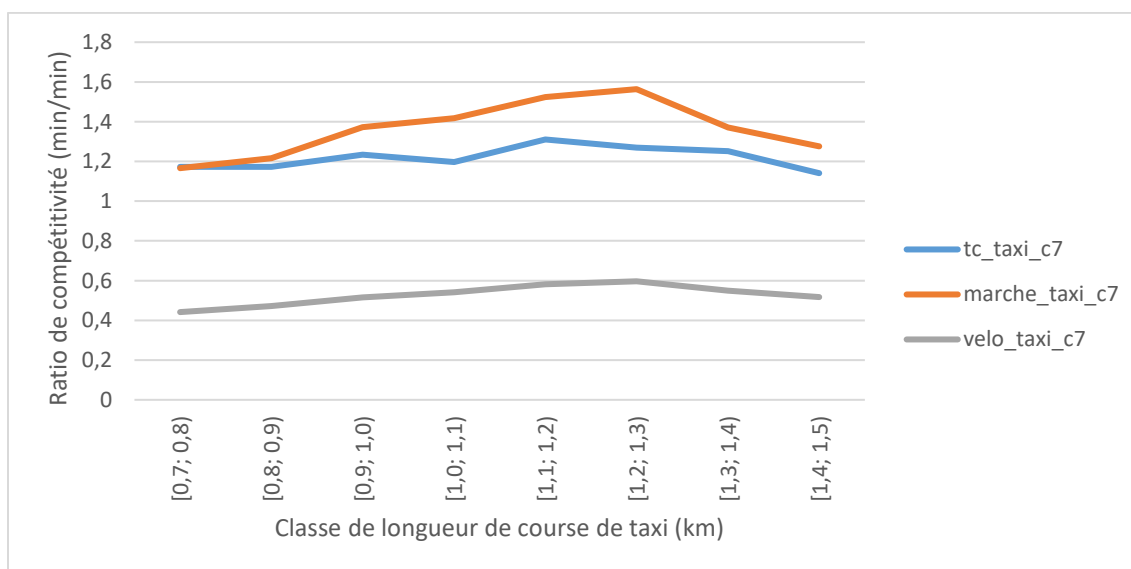


Figure 6.14 Ratios moyens de compétitivité (C7)

6.7 Synthèse de l'analyse de compétitivité

Un tableau synthétique est présenté ci-dessous, au Tableau 6.10, pour caractériser les classes. Une hiérarchie est observée selon les portées interquartiles des longueurs de courses. Les classes C1 et C8 sont caractéristiques des plus longues courses. En revanche, les plus courtes courses se situent dans les classes C6 et C7, tandis que les courses à longueurs moyennes se trouvent dans les classes C3 et C5. La transférabilité du taxi au vélo est considérable pendant la nuit. En effet, le vélo représente la seule alternative viable pendant la nuit. Il est important de noter que l'attractivité de ce mode et la possession d'un vélo sont supposées. De plus, l'utilisation du taxi est favorable entre 4h-8h et 17h-23h pour les classes de courses commandées, impliquant des combinaisons du TC et du vélo. Enfin, la compétitivité du taxi est généralement plus forte lorsque la course commandée de taxi est plus longue. Certaines exceptions s'observent pour la marche (C6, C7).

Tableau 6.10 Description sommaire des classes de courses

Classe	Combinaison	Heures caractéristiques	Longueurs de courses	Heures favorables à l'utilisation du taxi (commandé)	Influence de la longueur de la course sur la compétitivité du taxi (commandé)	
C1	TC	PPAM à la soirée	6,6-14,7 km	4h-8h 17h à 23h	Peu	
C3	vélo	PPAM à la soirée Nuit	2,0-4,4 km	minuit-8h 17h à 23h	↑	
C5	vélo-TC	PPAM à la soirée	2,3 – 4,4 km	<u>TC</u> 4h-8h 17h à 23h <u>vélo</u> minuit -8h 17h à 23h	<u>TC</u> ↑ <u>Vélo</u> ↑	
C6	marche-vélo	PPAM à la soirée	0,8-1,3 km	<u>marche</u> 3h	<u>marche et vélo</u> ↑ <-1,2 km	<u>marche et vélo</u> ↓ ≥1,2 km
C7	marche-vélo-TC	PPAM à la soirée	0,9 – 1,3 km	<u>marche</u> 5h, 11h, 18h et 22h <u>vélo et TC</u> NA	<u>Marche</u> ↑ < 1,3 km <u>vélo et TC</u> Peu	<u>marche</u> ↓ ≥ 1,3 km
C8	Aucune	Nuit	6,2 – 14 km	NA	NA	

CHAPITRE 7 MODÉLISATION DE LA COMPÉTITIVITÉ

Ce chapitre a pour but d'illustrer une analyse multivariée de compétitivité. Cette analyse est entreprise sur les courses commandées de taxi appartenant à la classe C1. Les autres ratios sont omis de cet exercice d'analyse de compétitivité. L'enjeu principal est d'attribuer aux conditions spatio-temporelles de réalisation de la course de taxi, une importance dans l'évolution du ratio de compétitivité TC-taxi. Ainsi, des variables temporelles et spatiales caractérisant les origines et destinations de courses sont étudiées. Cela est tout de même pertinent pour les planificateurs pour estimer l'impact des heures de réalisation des courses, des interventions sur l'utilisation du sol ou de la localisation des origines et destinations de courses, sur la compétitivité du temps de déplacement en taxi. De ce fait, une caractérisation spatiale est entreprise préliminairement. Par la suite, la corrélation entre les variables et le ratio de compétitivité est étudiée pour tenter d'identifier des variables déterminantes de l'évolution de ces ratios. Enfin, un modèle par régression linéaire est estimé en vue de prédire le ratio de compétitivité entre le taxi et l'alternative TC.

7.1 Données utilisées

Les variables utilisées pour cette analyse sont explicitées dans le Tableau 7.1. Ces variables sont les longueurs des courses de taxi, les jours de la semaine, les périodes de la journée, les régions d'analyse de l'enquête OD 2013, la distance au centre-ville et les usages dominants. Les effets sur la variable dépendante sont étudiés tant aux origines de courses qu'aux destinations. La distance au centre-ville est estimée par une distance euclidienne entre le centroïde du secteur municipal *Montréal : Centre-Ville* (SM 101) et l'extrémité de la course de taxi. Un test de corrélation entre les variables est effectué pour identifier les variables indépendantes les plus pertinentes pour expliquer l'évolution des ratios de compétitivité. À titre d'exemple pour ce mémoire, le ratio de compétitivité TC-Taxi, au sein de la classe C1, est la variable dépendante.

Tableau 7.1 Variables explicatives à l'étude

<i>Variable</i>	<i>Description</i>	<i>Type</i>	
<i>long_taxi</i>	Longueur de déplacement de la course de taxi (km)	NUMERIC	Continue
<i>is_ppam</i>	Le déplacement s'effectue en pointe du matin (5 :00-9h00)	INTEGER	Binaire
<i>is_jour</i>	Le déplacement s'effectue pendant le jour (9 :00-14h59)	INTEGER	Binaire
<i>is_pppm</i>	Le déplacement s'effectue en pointe de l'après-midi (15h00-18h59)	INTEGER	Binaire
<i>is_soiree</i>	Le déplacement s'effectue en soirée (19h00-23h59)	INTEGER	Binaire
<i>is_nuit</i>	Le déplacement s'effectue pendant la nuit (00h00-4 :59)	INTEGER	Binaire
<i>is_Monday</i>	Le déplacement a lieu un lundi	INTEGER	Binaire
<i>is_Tuesday</i>	Le déplacement a lieu un mardi	INTEGER	Binaire
<i>is_wednesday</i>	Le déplacement a lieu un mercredi	INTEGER	Binaire
<i>is_Thursday</i>	Le déplacement a lieu un jeudi	INTEGER	Binaire
<i>is_friday</i>	Le déplacement a lieu un vendredi	INTEGER	Binaire
<i>is_Saturday</i>	Le déplacement a lieu un samedi	INTEGER	Binaire
<i>is_sunday</i>	Le déplacement a lieu un dimanche	INTEGER	Binaire
<i>reg_1_o/reg_1_d</i>	Région d'analyse à l'origine/destination (Montréal-Centre-Ville)	INTEGER	Binaire
<i>reg_2_o/reg_2_d</i>	Région d'analyse à l'origine/destination (Montréal-Centre)	INTEGER	Binaire
<i>reg_3_o/reg_3_d</i>	Région d'analyse à l'origine/destination (Montréal-Est)	INTEGER	Binaire
<i>reg_4_o/reg_4_d</i>	Région d'analyse à l'origine/destination (Montréal-Ouest)	INTEGER	Binaire
<i>dist_1_o/dist_1_d</i>	Distance au centroïde du secteur municipal du centre-ville ([0-5 km]) à l'origine/destination	INTEGER	Binaire
<i>dist_2_o/dist_2_d</i>	Distance au centroïde du secteur municipal du centre-ville ([5-10 km]) à l'origine/destination	INTEGER	Binaire
<i>dist_3_o/dist_3_d</i>	Distance au centroïde du secteur municipal du centre-ville ([10-15 km]) à l'origine/destination	INTEGER	Binaire
<i>dist_4_o/dist_4_d</i>	Distance au centroïde du secteur municipal du centre-ville (>15 km) à l'origine/destination	INTEGER	Binaire
<i>util_1_o/util_1_d</i>	Usage dominant à l'origine/destination (Dominante résidentielle)	INTEGER	Binaire
<i>util_2_o/util_2_d</i>	Usage dominant à l'origine/destination (Centre-Ville d'agglomération)	INTEGER	Binaire
<i>util_3_o/util_3_d</i>	Usage dominant à l'origine/destination (Activités diversifiées)	INTEGER	Binaire
<i>util_4_o/util_4_d</i>	Usage dominant à l'origine/destination (Industrie)	INTEGER	Binaire
<i>util_5_o/util_5_d</i>	Usage dominant à l'origine/destination (Agricole)	INTEGER	Binaire
<i>util_6_o/util_6_d</i>	Usage dominant à l'origine/destination (Conservation)	INTEGER	Binaire
<i>util_7_o/util_7_d</i>	Usage dominant à l'origine/destination (Grand espace vert ou récréation)	INTEGER	Binaire
<i>util_8_o/util_8_d</i>	Usage dominant à l'origine/destination (Grande emprise ou grande infrastructure publique)	INTEGER	Binaire
<i>boarding_1</i>	1 segment à bord du TC	INTEGER	Binaire
<i>boarding_2</i>	2 segments à bord du TC	INTEGER	Binaire
<i>boarding_3</i>	3 segments à bord du TC	INTEGER	Binaire
<i>boarding_4</i>	4 segments à bord du TC	INTEGER	Binaire
<i>boarding_5</i>	5 segments à bord du TC	INTEGER	Binaire
<i>boarding_6</i>	6 segments à bord du TC	INTEGER	Binaire
<i>prop_bus</i>	Proportion de segments en bus dans le trajet alternatif en TC	INTEGER	Continue
<i>prop_metro</i>	Proportion de segments en métro dans le trajet alternatif en TC	INTEGER	Continue

7.2 Caractérisation spatiale du ratio de compétitivité TC-taxi

Les occurrences des origines et destinations de courses, dont le ratio de compétitivité se situe au-dessus du seuil du 75^e percentile et en dessous du seuil du 25^e percentile, sont estimées pour les courses commandées de la classe C1. En effet, l'utilisation du taxi est supposée plus favorable lorsque le ratio TC-taxi se situe au-dessus du 75^e percentile. En revanche, l'utilisation du TC est jugée plus favorable lorsque le ratio TC-taxi se situe en dessous du 25^e percentile. Une grille hexagonale, couvrant l'île de Montréal, est utilisée pour cette analyse. La densité des extrémités de courses (référence) est ainsi comparée avec la densité des extrémités de courses, dont le ratio de compétitivité se situe soit au-delà du 75^e percentile ou en dessous du 25^e percentile. Cette analyse croise les zones d'origine et de destination avec les usages dominants, aux Figure 7.1 et Figure 7.2. En considérant les origines, il est possible d'observer que l'usage dominant résidentiel s'associe fortement aux zones d'origine des courses commandées. Ainsi, on remarque une polarisation des zones d'origines impliquant un temps de déplacement favorable au taxi en usage dominant résidentiel. Cela est visible dans l'arrondissement St-Laurent, Lachine et aussi en usage industriel, dans le Technoparc. De plus, les localisations des zones de destination favorables à l'utilisation du taxi sont examinées (ratio de compétitivité au-dessus du 75^e percentile). Celles-ci se concentrent en usage dominant résidentiel et en usage industriel, vers le nord de l'île (Ahuntsic), au sud-ouest de l'île et à l'ouest. On peut classer l'aéroport Montréal-Trudeau, telle une destination pour laquelle le temps de déplacement en taxi est compétitif comparativement au transport collectif. Enfin, concernant l'utilisation favorable du transport collectif, une répartition plus aléatoire des zones d'origine favorables à l'utilisation du TC s'observe. Pour leur part, les zones de destination caractéristiques de trajets alternatifs en TC compétitifs se situent davantage au sein des usages *Centre-ville d'agglomération*. Bref, cette analyse permet d'identifier préalablement certains facteurs spatiaux qui sont associés avec les ratios de compétitivité plus élevés (favorables au taxi) et plus faibles (favorables au TC). On retient un éloignement ou une proximité au centre-ville, les dominantes résidentielles et industrielles et les grandes infrastructures publiques. Or, une approche par visualisation des zones d'origine et de destination compte tenu des seuils de ratio de compétitivité peut être limitée. Elle ne prend compte ni de la variabilité temporelle de la compétitivité du taxi, ni de la corrélation entre les différents facteurs ou de leurs niveaux d'importance. L'identification des facteurs associés avec l'évolution du ratio de compétitivité peut s'effectuer plus rigoureusement par une analyse de régression.

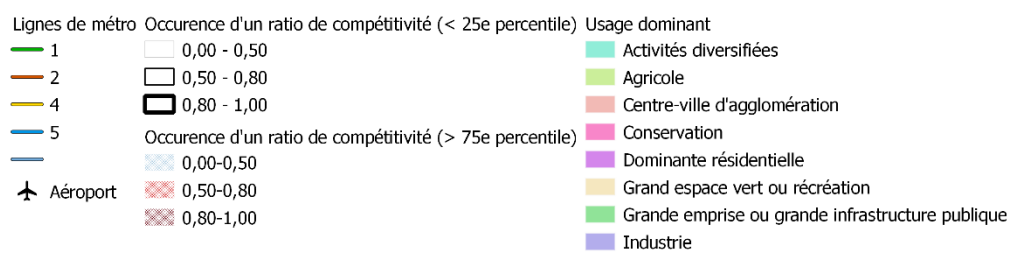
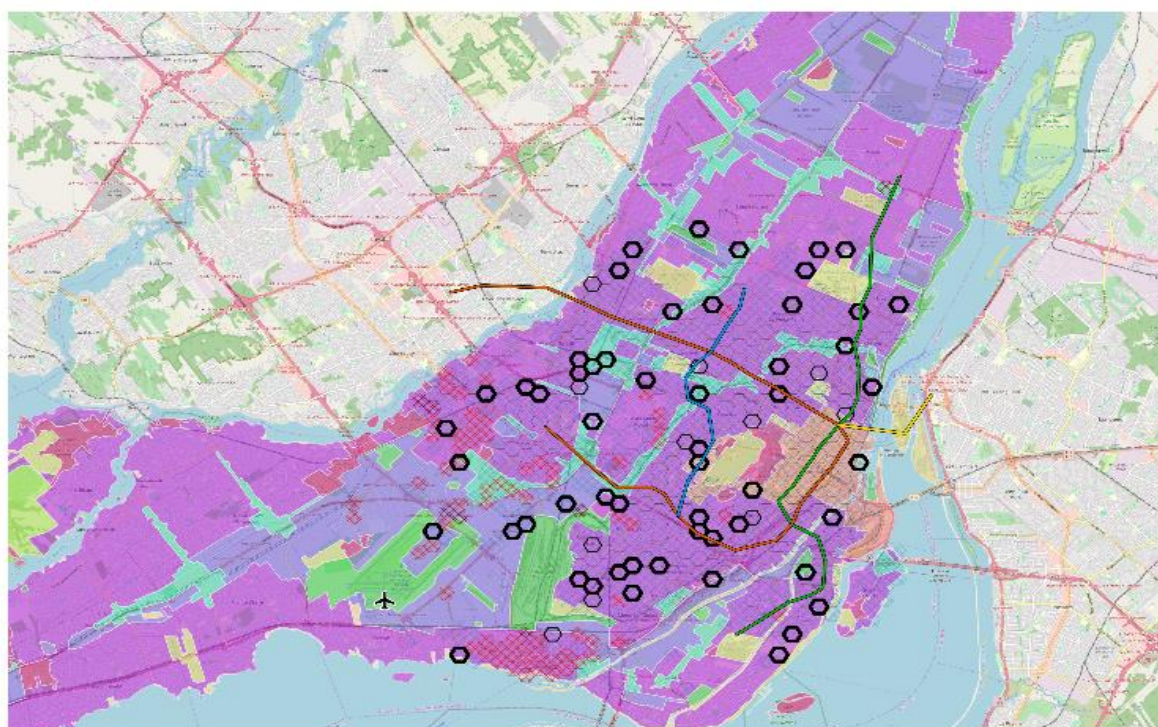


Figure 7.1 Zones favorables à l'utilisation du TC et du taxi (Origine)

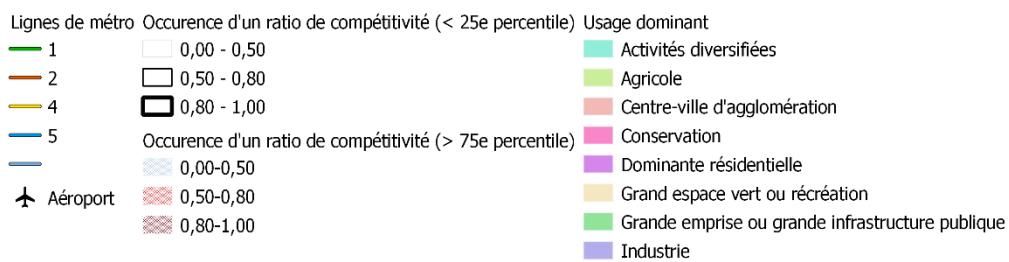
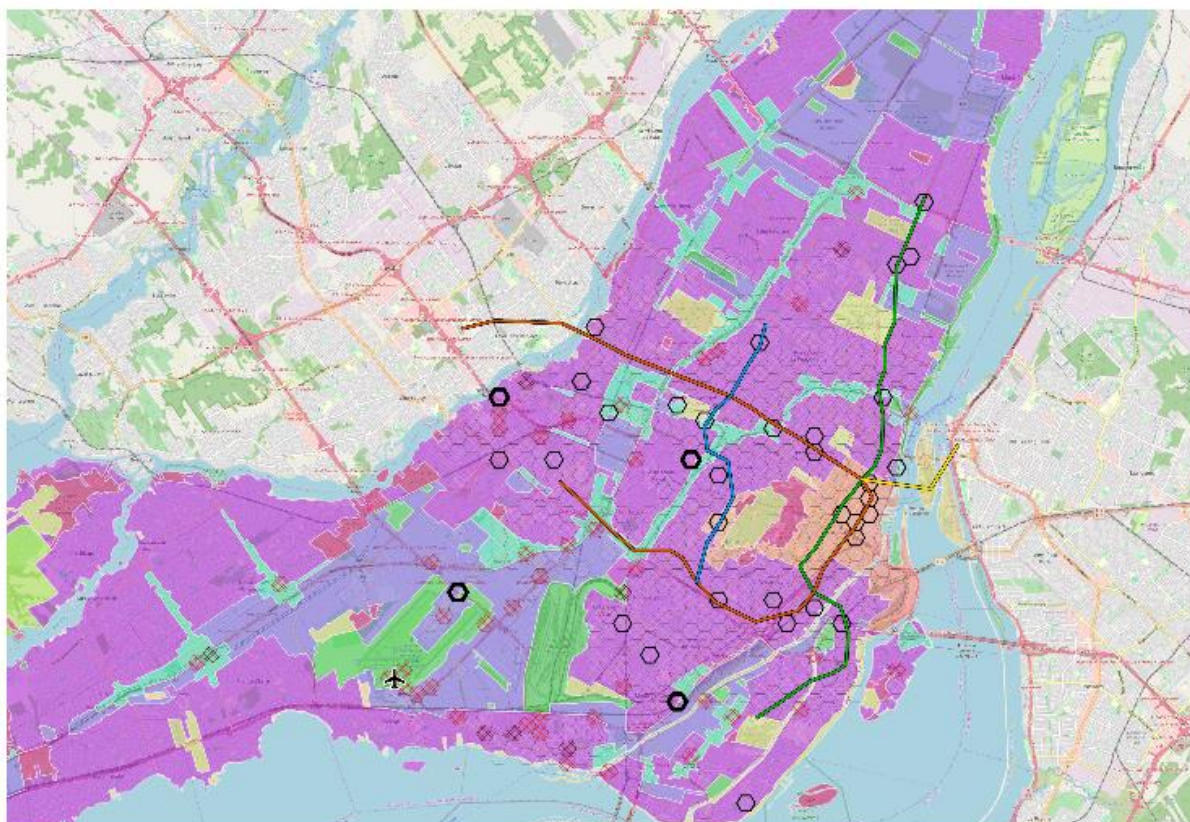


Figure 7.2 Zones favorables à l'utilisation du TC et du taxi (Destination)

7.3 Méthodologie de l'analyse de régression

Pour estimer un modèle de régression linéaire, plusieurs étapes préliminaires sont réalisées. Pour permettre la sélection des variables explicatives, certaines étapes sont nécessaires : préparation de la base de données, analyse de corrélation entre les variables explicatives et la variable dépendante, analyse de corrélation entre les variables explicatives. De ce fait, les données sont segmentées en 2 sous-ensembles. Ainsi, un sous-ensemble de 70% est alloué au calibrage du modèle et un autre sous-ensemble de 30% pour sa validation. Les variables catégorielles, telles que les usages dominants aux extrémités de courses, les distances au centre-ville et la présence d'une extrémité de course au sein d'une région d'analyse, sont binarisées. Des analyses de corrélation sont entreprises selon les types de variables considérés. Ainsi, toutes les variables explicatives, hormis celles de la longueur de la course de taxi (continue) ou de la proportion des segments du trajet alternatif en TC (continue), sont des variables dichotomiques (*dummy*). De plus, la variable dépendante est une variable de type continue. De ce fait, différents indicateurs sont introduits pour mieux expliquer la corrélation entre les variables. Bien que le coefficient de phi, introduit par Yule (1912), permette de faire une mesure d'association entre les variables dichotomiques, le coefficient de Pearson lui est équivalent dans une telle situation (Guilford, 1954; Yule, 1912). Ainsi, il est choisi pour estimer la corrélation entre les variables binaires. En revanche, pour scruter les relations entre les variables continues et les variables dichotomiques, le coefficient de corrélation bisériale est l'indicateur sélectionné (Revelle, Wilt, & Rosenthal, 2010). Par la suite, un vecteur de prédicteurs est constitué de manière itérative, commençant avec les variables les plus corrélées avec la variable dépendante. Deux contraintes sont à respecter. D'une part, le coefficient de corrélation entre la variable indépendante et la variable dépendante est supérieur ou égal à $|0,1|$. D'autre part, les variables démontrent une corrélation entre elles inférieures à $|0,3|$. Les prédicteurs ne se conformant pas à ces critères sont donc éliminés. Ainsi, par cette méthode, les variables utiles pour le modèle final sont identifiées. Par la suite, en vue d'étudier la performance du modèle, plusieurs indicateurs sont utiles. Enfin, un modèle de régression linéaire est estimé et validé. Le coefficient de détermination (R^2) permet de faire état de la performance globale du modèle, d'où la proportion de variabilité du modèle expliquée par l'utilisation des prédicteurs sélectionnés. Les résidus du modèle, représentant l'écart entre la variable prédite et de la variable dépendante, sont visualisés, à titre de vérification. En somme, les facteurs déterminants du ratio de compétitivité sont identifiés.

7.4 Analyse de corrélation

Une matrice de corrélation, selon le coefficient de Pearson, est effectuée, selon la gradation des classes de coefficient de corrélation, tel qu'en témoigne le Tableau 7.2 ci-dessous. Ainsi, les variables, dont la corrélation avec la variable dépendante n'étant pas très faible, sont identifiées. Les corrélations entre les variables explicatives sont vérifiées. Un sommaire statistique des variables est présenté au Tableau 7.3.

Tableau 7.2 Classes de coefficients de corrélation

Classe de coefficient	Interprétation
0,00-0,09	Très Faible
0,10-0,29	Faible
0,30-0,49	Modérée
≥ 0,50	Forte

À travers les classes de courses, la faible adéquation des distributions des ratios de compétitivité des autres modes à la distribution normale remet en question l'efficacité des analyses subséquentes. Certaines distributions de ratios de compétitivité démontrent des coefficients d'aplatissement et d'asymétrie s'apparentant à la distribution normale. Ainsi, le ratio de compétitivité TC-taxi de la classe C5 et le ratio de compétitivité marche-taxi de la classe C6 sont aussi concernés. Toutefois, seul le ratio de compétitivité TC-Taxi au sein de la classe C1 est soumis à cette analyse de régression. Il est possible d'identifier au Tableau 7.4 et au Tableau 7.5, certaines propriétés qui influencent plus ou moins l'évolution du ratio de compétitivité TC-taxi pour la classe C1. Le ratio de compétitivité est principalement positivement corrélé principalement avec la période de la nuit et la présence d'une origine ou destination de course, dans la région d'analyse Montréal-Ouest. Il est pertinent de mentionner d'autres variables positivement et modérément corrélées avec le ratio de compétitivité, telles que la proportion de segments TC à bord du bus et la présence d'une destination de course au sein d'une grande emprise ou d'une grande infrastructure publique. Il est intéressant de noter que l'usage dominant *Grande emprise ou grande infrastructure publique* réfère essentiellement à l'aéroport Montréal-Trudeau. Généralement, ces facteurs peuvent aussi s'associer avec un éloignement de la destination de la course du centre-ville, s'étendant au-delà de 15 km. Il est possible de repérer un patron dans lequel le temps de déplacement en TC est de moins en moins avantageux par rapport au taxi dans le cas des longues courses de taxi ([6,2 - 14,7 km]),

des destinations vers l'ouest de l'île ou l'aéroport, ou les deux. En revanche, le temps de déplacement en TC est de plus en plus avantageux lorsque la destination de la course de taxi se situe à moins de 5 km du centre-ville. D'autres facteurs sont pertinents tels que la proportion de segments TC à bord du métro, la présence de la destination de courses au Centre-Ville, ou au sein de l'usage dominant Centre-ville d'agglomération.

Tableau 7.3 Sommaire statistique des variables à l'étude

Variables	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
ratio temps tctx	1.790	0.671	0.210	8.130
long taxi (km)	10.972	5.178	3.631	70.746
prop metro	0.442	0.323	0	1
prop bus	0.547	0.323	0	1
is ppam	0.242	0.428	0	1
is jour	0.325	0.468	0	1
is pppm	0.241	0.428	0	1
is soiree	0.182	0.386	0	1
is nuit	0.009	0.097	0	1
is Monday	0.106	0.308	0	1
is Tuesday	0.122	0.327	0	1
is Wednesday	0.126	0.332	0	1
is Thursday	0.182	0.386	0	1
is Friday	0.225	0.418	0	1
is Saturday	0.127	0.333	0	1
is Sunday	0.112	0.315	0	1
reg 1 o	0.124	0.329	0	1
reg 2 o	0.648	0.477	0	1
reg 3 o	0.013	0.115	0	1
reg 4 o	0.215	0.411	0	1
dist 1 o	0.324	0.468	0	1
dist 2 o	0.462	0.499	0	1
dist 3 o	0.197	0.398	0	1
dist 4 o	0.017	0.129	0	1
reg 1 d	0.226	0.418	0	1
reg 2 d	0.384	0.486	0	1
reg 3 d	0.030	0.170	0	1
reg 4 d	0.360	0.480	0	1
dist 1 d	0.354	0.478	0	1
dist 2 d	0.274	0.446	0	1
dist 3 d	0.102	0.303	0	1
dist 4 d	0.270	0.444	0	1
util 1 o	0.721	0.448	0	1
util 2 o	0.132	0.339	0	1
util 3 o	0.077	0.267	0	1
util 4 o	0.062	0.241	0	1
util 6 o	0.001	0.028	0	1
util 7 o	0.005	0.068	0	1
util 8 o	0.002	0.043	0	1
util 1 d	0.419	0.493	0	1
util 2 d	0.222	0.415	0	1
util 3 d	0.065	0.247	0	1
util 4 d	0.045	0.207	0	1
util 6 d	0.001	0.037	0	1
util 7 d	0.014	0.118	0	1
util 8 d	0.234	0.423	0	1
boarding 1	0.155	0.362	0	1
boarding 2	0.480	0.500	0	1
boarding 3	0.297	0.457	0	1
boarding 4	0.063	0.243	0	1
boarding 5	0.004	0.062	0	1
boarding 6	0.000	0.013	0	1

7.5 Estimation d'un modèle explicatif par régression linéaire

Un modèle a été estimé par régression linéaire, selon le Tableau 7.6. La corrélation entre les variables explicatives est faible. Un coefficient de détermination ajusté de 0,347 suggère que le modèle explique 34,7 % de la variabilité du ratio de compétitivité TC-Taxi, des courses commandées de la classe C1. En conduisant une analyse des résidus standardisés sur la variable dépendante du modèle, à la Figure 7.3, l'homoscédasticité, la linéarité et la normalité des données sont validées. En effet, la portée des facteurs déterminants est interprétée, selon les coefficients.

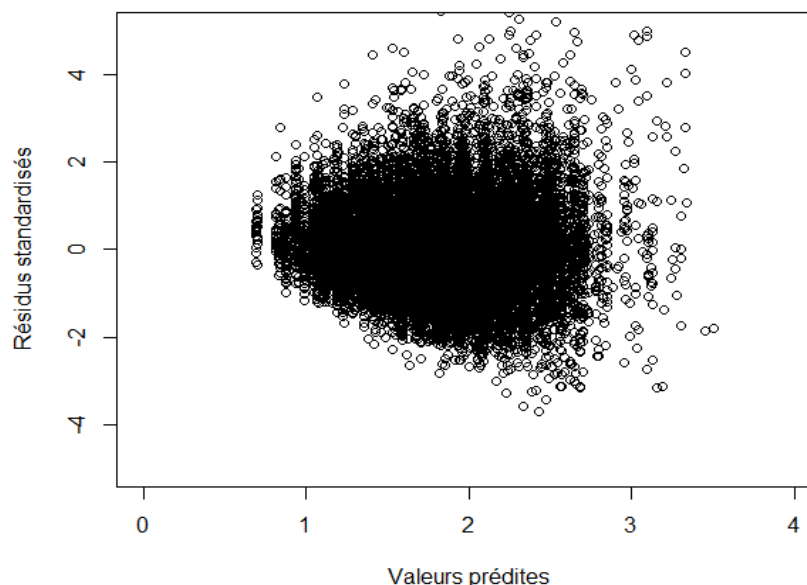


Figure 7.3 Résidus du modèle

Les facteurs pertinents à l'évolution du ratio de compétitivité TC-Taxi sont principalement la période de la journée, les usages dominants, l'éloignement par rapport au centre-ville des extrémités de courses et les propriétés du trajet alternatif en TC. D'une part, les variables qui ont un impact positif sur le ratio de compétitivité TC-taxi sont : une destination de course fortement éloignée du centre-ville (>15 km) ou une origine se situant dans la région de Montréal-Ouest. En effet, hormis la constante du modèle, la présence d'une destination de course dans la région de Montréal-Ouest constitue le facteur déterminant dans l'évolution du ratio de compétitivité TC-taxi. La région de Montréal-Ouest est une zone d'origine des courses pour laquelle le temps de déplacement en taxi est plus faible. En se basant sur les analyses précédentes, ces zones caractérisaient les plus longs temps d'attente moyens pour un taxi commandé. La période de la nuit jouait aussi un rôle au sein de l'attractivité du temps de déplacement offert par le taxi. Cela peut

être croisé avec la faible disponibilité et faisabilité des déplacements en TC pendant cette période. En effet, les déplacements en TC avec un nombre plus élevé de segments et une haute proportion de segments à bord du bus offrent des temps de déplacement moins compétitifs par rapport à ceux du taxi.

D'autre part, les conditions de réalisation de course favorisant la baisse du ratio de compétitivité TC-taxi regroupent un faible nombre de segments TC, la période de la pointe de l'après-midi et une origine de course faiblement éloignée du centre-ville. De ce fait, la période de la pointe de l'après-midi et un faible nombre de segments TC constituaient les premiers facteurs significatifs de l'attractivité du temps de déplacement en transport collectif. De même, les déplacements par taxi, prenant origine au sein d'une zone tampon de 5 km autour du centroïde du centre-ville, tendent à offrir des temps de déplacement moins compétitifs que ceux du transport collectif. D'autres facteurs peuvent être mentionnés, mais ils ne sont pas autant significatifs.

En définitive, certaines limites de l'analyse de régression sont identifiées. Les contraintes choisies pour le choix de variables peuvent ne pas être assez restrictives, ce qui peut résulter à un taux d'erreur plus élevé. L'estimation des coefficients peut être sensible aux valeurs aberrantes du ratio de compétitivité. De plus, la plupart des variables utilisées sont dichotomiques. Ainsi, une relation linéaire peut ne pas nécessairement décrire fidèlement l'interaction entre les variables explicatives et la variable dépendante. De ce fait, d'autres types de modèles peuvent être considérés pour assurer une prédiction plus efficace.

Tableau 7.6 Modèle explicatif de la compétitivité du taxi sur le TC (Classe C1)

Variable	Coefficient	Valeur t	p-value
<u>Constante</u>	1,595	134,052	< 2e-16 ***
<u>Période de la journée</u>			
is_nuit	0,623	15,900	< 2e-16 ***
is_pppm	-0,235	-26,709	< 2e-16 ***
<u>Journée de la semaine</u>			
is_Thursday	-0,122	-11,982	< 2e-16 ***
is_Friday	-0,109	-11,394	< 2e-16 ***
is_Sunday	0,136	10,955	< 2e-16 ***
<u>Origine de la course</u>			
dist_1_o	-0,177	-21,997	< 2e-16 ***
reg_2_o	-0,124	-15,540	< 2e-16 ***
<u>Destination de la course</u>			
dist_4_d	0,396	43,374	< 2e-16 ***
<u>Usages dominants</u>			
util_8_o	0,629	6,737	1,66e-11 ***
util_4_d	0,181	10,037	< 2e-16 ***
<u>Trajet en transport en commun</u>			
prop_bus	0,485	38,632	< 2e-16 ***
boarding_1	-0,233	-21,410	< 2e-16 ***
boarding_3	0,165	18,764	< 2e-16 ***
boarding_4	0,351	21,505	< 2e-16 ***
R2	0,347	N	30 331
RSME	0,543	MAE	0,41

CHAPITRE 8 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Ce chapitre conclut le projet de recherche, ayant trait à la caractérisation des courses de taxi et d'identification des facteurs de compétitivité avec d'autres modes. Il est pertinent de présenter un résumé synthétique pour établir les faits saillants de chaque composante du projet. Ainsi, la justification des axes de recherche relatée dans la revue de littérature suivie des implications méthodologiques est récapitulée. De plus, cette synthèse permet de mettre en valeur les différents résultats émanant des analyses de disponibilité, de compétitivité et de la modélisation de la compétitivité pour le cas des courses commandées de la classe C1 et du ratio TC vs taxi. Les contributions du mémoire permettent de mettre l'accent sur la pertinence des différents résultats et des innovations méthodologiques. Les limites de cette analyse sont mentionnées pour établir le cadre d'application des résultats. Enfin, des perspectives et recommandations permettent d'identifier des axes de recherches.

8.1 Synthèse de la recherche

D'emblée, une revue de littérature a posé les fondements de la question de la compétitivité du taxi. De ce fait, les différentes variables intervenant dans les modèles de prévision de la demande en taxi, soit dans sa quantité ou dans la probabilité de choisir ce mode, sont relatées. En effet, les démarches de modélisation à court terme et à long terme sont inventoriées. Enfin, l'estimation du temps de déplacement par taxi et d'autres modes implique l'inclusion de plusieurs composantes du temps de déplacement (temps d'accès, temps d'attente, temps en véhicule).

Plusieurs indicateurs qui caractérisent les origines et destinations des courses de taxi ont été étudiés. Ainsi, la demande en courses de taxi se concentre en début de fin de semaine, notamment le vendredi, avec 25% de la proportion hebdomadaire des courses de taxi. Certaines heures sont caractéristiques des courses de taxi. Pour les courses commandées, la période s'étendant entre la pointe du matin et la pointe de l'après-midi caractérise les plus fortes proportions. Pour les courses hélées, les courses de nuit prennent place principalement pendant le vendredi et le samedi. En caractérisant la demande spatialement, il a été possible d'observer dans l'ensemble que la demande est dense autour du centre-ville et des quartiers centraux, davantage pour les lieux de destination. De plus, les usages dominants les plus fréquents pour les origines et destinations sont la dominante résidentielle et le centre-ville d'agglomération. Il est intéressant de noter que les origines des

courses hélées, pendant la période s'étendant entre la soirée et la nuit, se situent légèrement plus en centre-ville d'agglomération qu'en dominante résidentielle. On peut supposer que ces courses sont réalisées pour motif loisir, mais ce sera à valider ultérieurement.

Concernant les propriétés des déplacements tels que les longueurs parcourues, durées et prix des courses, les déplacements les plus fréquents ont une longueur dans l'intervalle [1-2 km[, une durée de course entre [6-7 min[et un coût monétaire, basé uniquement sur la distance, entre [6 \$ - 8 \$]. En scrutant les évolutions horaires moyennes de chacune des propriétés, certains extremums ont été identifiés pour chacune des propriétés. En effet, un pic journalier prononcé, à 5h, s'observe pour les longueurs des courses commandées. Les durées les plus longues s'observent en moyenne vers la fin de la pointe du matin et au début de la pointe de l'après-midi. Des variations d'ordre similaire sont visibles en ce qui touche le prix de la course. De plus, en interpolant les durées de courses, il a été possible de remarquer des zones où se concentrent les courses ayant des durées sous le 25^e percentile, en dominante résidentielle, telles que le sud-ouest (Lachine). De même, les extrémités de l'île caractérisent les lieux de destination pour lesquels les durées se situent au-dessus du 75^e percentile. Enfin, 53% des courses de taxi sont hélées. Pour les courses commandées, les temps d'attentes les plus fréquents se situent à 5 min. Il est intéressant de noter que les plus longs temps d'attente moyens se concentrent au sein des secteurs municipaux, aux extrémités de l'île, tels que vus pour les durées interpolées.

Une analyse de disponibilité unimodale et multimodale des alternatives a été entreprise pour laquelle il a été conclu que le vélo personnel et le BIXI constituent des options dans plus de 70% des cas. La combinaison la plus prévalente pour les courses commandées et hélées inclut BIXI, Share Now, Auto-mobile, vélo. Une faible variabilité journalière s'accompagne de la présence plus fréquente de 3 ou 4 alternatives, indépendamment de la période de la journée. Les courses de taxi hélées, n'ayant que 1 ou 2 alternatives, se démarquent pendant la période charnière entre la nuit et la pointe du matin. Cela est pertinent pour identifier des plages horaires ou zones de carences en alternatives, propices à la nécessité du taxi comme option de mobilité. Enfin, comme mentionné précédemment, Share Now est l'option qui compétitionne le plus le taxi, au travers de la journée. Le vélopartage est une option particulièrement disponible principalement pendant la soirée et la nuit. De plus, une distinction spatiale s'observe dans la répartition des origines/destinations de courses ayant 0-2 alternatives et celles ayant 3-6 alternatives. Ainsi, la première classe se concentre dans une zone prédéfinie à dominante résidentielle et du centre-ville d'agglomération, riche en

offre de vélopartage et du métro. L'autre classe se situe plus en excentricité, dans les zones à dominante résidentielle. Comme mentionné précédemment, entre 4h et 6h, une carence en alternatives est observée pour les courses hélées. Les origines de courses de ce sous-ensemble s'agrègent autour des pôles de transport en commun tels que Berri-UQAM et Côte-Vertu et des générateurs tels que le Casino de Montréal. L'aéroport Montréal-Trudeau est une destination typique des courses hélées n'ayant que 1 ou 2 alternatives, entre 4h et 6h du matin.

La composition des classes de courses a été étudiée pour les courses hélées et commandées. Cela a été effectué à propos de l'occurrence des classes selon les heures de départ et à propos des longueurs caractéristiques des classes. La combinaison d'alternative la plus prévalente est celle dont le vélo est la seule alternative, avec une part de 33% des courses de taxi. Les propriétés des classes des courses ont été étudiées en matière d'heures de départ et de longueurs typiques à chaque classe de courses. Ainsi, pour les courses commandées, il n'y a soit aucune alternative (45%) ou soit le vélo comme alternative, pendant la nuit. Or, pour les courses hélées, au début de la période de la nuit, un summum de la disponibilité du vélo est observé pour 61% des courses hélées. De plus, un pic de disponibilité du transport collectif s'observe à 6h du matin, au début de la pointe du matin. 75% des courses commandées ont des combinaisons du vélo et du TC comme alternatives après la pointe du matin. Cette même situation est visible pour les courses hélées. Pour déterminer des longueurs de courses typiques aux combinaisons d'alternatives, une hiérarchie a été établie. Ainsi, les déplacements courts autour du seuil de marchabilité ($\leq 1,3$ km) décrivent les combinaisons marche-vélo et marche-vélo-TC. Par la suite, les déplacements moyens, dont les longueurs de courses se situent entre 2,0 km et 4,4 km, sont caractéristiques des combinaisons vélo et TC-vélo. Enfin, les plus longues courses de taxi ([6,2 km; 14,7 km]) caractérisent les combinaisons d'alternatives TC et Aucune. Une analyse des séquences de modes TC a fait ressortir que les courses de taxi transférable au vélo, à la marche et au TC contiennent un seul segment dont le mode est principalement le bus (97% des courses de taxi). Enfin, des heures de départ favorables à l'utilisation du taxi ont été identifiées pour les classes de courses commandées, ayant des combinaisons du TC et du vélo comme alternatives. Ainsi, l'utilisation du taxi est favorable pendant les plages horaires s'inscrivant respectivement entre 4h-8h et entre 17h-23h.

Finalement, un modèle explicatif est développé pour prédire la compétitivité des courses commandées de taxi de la classe C1, par rapport au transport en commun, par l'entremise du ratio de compétitivité. Il a été élaboré dans le contexte de la classe de courses pour laquelle le transport

collectif était la seule alternative. Les facteurs favorisant l'utilisation du taxi sont principalement la période de la nuit, la présence d'une destination de course à Montréal-Ouest, une forte proportion de segments TC à bord du bus et un fort éloignement de la destination de la course par rapport au centre-ville. De plus, une analyse spatiale a été conduite pour étudier l'occurrence des ratios de compétitivité au-delà des seuils du 25^e et du 75^e percentile. Elle révèle qu'à l'origine, les courses commandées favorables au choix du taxi proviennent des quartiers à usage dominant résidentiel tels que Ahunstic et Lachine. Il a été possible de repérer que l'Aéroport Montréal-Trudeau figure parmi les destinations, pour lesquelles l'utilisation du taxi est favorable.

8.2 Contributions

Ce projet de recherche explore plusieurs perspectives en ce qui concerne la compétitivité du taxi et propose quelques contributions. Il s'inscrit en continuité des travaux de recherche de Lacombe (2016) et de Laviolette (2017) et porte plus spécifiquement sur la question du positionnement du taxi parmi les autres modes de transport à Montréal, dans une perspective de planification métropolitaine et de mobilité durable. D'emblée, par une revue littéraire, un historique de la compétitivité du taxi a été compilé. De plus, une étude systématique des variables pertinentes à la modélisation de la demande a été réalisée, pour approfondir les connaissances nécessaires pour une prévision de la demande plus efficace. De même, les approches de prévision de la demande ont été abordées à deux échelles : court terme et long terme. Enfin, une discussion sur la question du temps de déplacement a permis de mettre la lumière sur les différentes formulations du temps d'attente selon le type de la course. Pour ce qui est des contributions méthodologiques, elles sont axées sur l'enrichissement d'une base de données par jointure entre plusieurs bases de données provenant de plusieurs modes de transport et l'établissement de règles de faisabilité d'un déplacement avec chaque alternative. Ainsi, les modes de transports non traditionnels considérés dans la disponibilité des alternatives sont l'autopartage libre-service et le vélopartage. Une méthodologie de caractérisation des origines et destinations de courses de taxi, pour fins d'analyses de disponibilité et de compétitivité des alternatives, a été développée. De plus, ce mémoire reprend l'approche de Pelletier-Grenier (2018) dans l'utilisation du ratio de compétitivité, appliqué aux déplacements par taxi.

Parmi les indicateurs utilisés pour décrire la demande en déplacements, une analyse du temps d'attente pour un taxi commandée a été conduite. Similairement, s'inscrivant dans la méthodologie

précédemment citée, une étude de l'utilisation du sol aux origines et destinations des courses a été proposée. Il est important de noter l'apport d'une étude spatio-temporelle de la disponibilité des alternatives et des combinaisons d'alternatives. Ainsi, la quantification des alternatives aux origines et destinations de courses de taxi est pertinente pour des analyses subséquentes. De plus, l'identification des longueurs de courses et des heures de départ favorables à l'utilisation du taxi permet de définir les propriétés propres à l'attractivité du taxi. On rappelle que le taxi est souvent pris lorsqu'il y a déjà plusieurs alternatives, notamment des modes actifs et partagés, surtout au sein du centre de l'île. Or, pour viser à une réduction des gaz à effet de serre, il est plus intéressant de mieux répartir l'offre du taxi sur le territoire et dans le temps de façon efficace. Ainsi, ce projet identifie des perspectives de transférabilité des déplacements motorisés en taxi vers des modes actifs pour les courtes courses ($\leq 1,3$ km) et les courses de moyenne longueur ([2 - 4,4 km]). En revanche, la part de marché réservée au taxi inclut les longues courses de taxi ([6,2 - 14,7 km]). De plus, les courses de taxi, réalisées pendant la nuit, peuvent souvent être en substitution au transport collectif.

Enfin, un modèle explicatif a été proposé pour prédire la compétitivité du taxi, pour les courses commandées de taxi n'ayant que le TC comme alternative, compte tenu des variables explicatives. L'approche de prévision de la compétitivité n'a pas été considérée dans les études précédentes qui s'axaient davantage sur le choix modal. Des facteurs déterminants de la compétitivité du taxi à Montréal ont été identifiés pour les courses commandées de taxi, n'ayant que le transport collectif pour alternative. Une étude spatiale des occurrences des ratios de compétitivité a été entreprise pour situer les zones de provenance et de destination favorables à l'utilisation du taxi commandé, en termes de temps de déplacement, par rapport au transport en commun. Enfin, certains constats sont pertinents à considérer dans une optique de planification métropolitaine. En effet, lorsque le transport collectif est la seule alternative, la commande d'un taxi demeure souvent une option avec un temps de déplacement plus faible, pendant la nuit ou si l'on provient du voisinage de l'aéroport Montréal-Trudeau. Sinon, l'utilisateur peut être confronté à de longs déplacements en bus à plusieurs segments ou doit dépendre de son véhicule personnel. Bref, avec une bonification de l'offre actuelle et l'implantation d'un axe direct et structurant vers l'aéroport, tel que le Réseau Express Métropolitain (*REM*), la situation de la compétitivité du taxi pourra évoluer drastiquement.

8.3 Limitations

Le défi de joindre plusieurs bases de données et d'estimer l'attractivité de plusieurs modes s'accompagne de plusieurs limitations. Ces limitations peuvent s'avérer méthodologiques, ou inhérentes aux données utilisées. Ainsi, ces limites sont explicitées et commentées.

1. Fenêtre temporelle

Un contexte temporel permet de bien cadrer l'analyse. Ainsi, le mois de septembre 2016 n'est pas nécessairement le meilleur choix comme fenêtre temporelle. Il présente plusieurs jours manquants vers la fin du mois en septembre. De plus, cette courte fenêtre temporelle n'est pas assez volumineuse pour suivre l'interaction et la compétitivité entre les modes, depuis que des changements majeurs sont survenus. Par exemple, dans le contexte des règlementations sur le taxi, telle l'introduction d'UBER au Québec en 2016, il est pertinent d'étudier la variabilité temporelle de la compétitivité à travers les mois et années. Il est tout aussi intéressant d'étudier la compétitivité du taxi en dehors de la logique de l'automne, en hiver comme exemple.

2. Traitement des données

La validation des données est effectuée selon des règles pouvant omettre certains facteurs sous-jacents. En effet, le filtrage des courses ayant une extrémité sur un tronçon d'autoroute ou un pont pose d'importants défis. Il est possible qu'il ait éliminé certaines courses de taxi prenant origine ou se destinant aux traverses, en dessous des infrastructures, ce qui n'est pas perceptible aisément sur une projection spatiale. D'autres règles d'invalidation peuvent être explorées.

3. Hypothèse du temps d'attente

Une analyse du ratio de compétitivité des courses exclusivement concentrée sur le type commandé ne reflète pas le portrait complet du taxi. Il est important de noter que la proportion des courses hélées était plus grande que celle des courses commandées. Sachant qu'il y avait des différences significatives en ce qui concerne les propriétés des courses, une généralisation des résultats s'avère dangereuse. Il s'avère qu'estimer un temps entre le souhait de faire un déplacement et le hélage positif d'une course de taxi n'est pas évident.

Néanmoins, cette analyse de compétitivité reste incomplète sans une hypothèse plausible du temps d'attente pour un taxi hélé.

4. Choix exogènes dans les règles de faisabilité

En établissant les règles de faisabilité, les propriétés des classes de courses ayant une certaine combinaison d'alternatives étaient influencées par les seuils de marchabilité et de faisabilité d'un déplacement à vélo. Le seuil établi à 5 km pour les déplacements à vélo est variable selon les individus, tels qu'en témoignent des recherches précédentes (Godefroy & Morency, 2012). Une homogénéité des comportements est ainsi supposée en l'absence d'informations sur le client. Il est aussi important d'introduire certaines nuances permettant de raffiner l'estimation de la disponibilité de la marche et du vélo.

5. Compétitivité latente des modes partagés

Le calcul de chemin a été effectué uniquement sur les modes TC, vélo et marche seulement. Il est pertinent de compléter l'analyse avec les modes partagés aussi disponibles pour certaines courses. Sachant que le vélopartage et le VLS figurent parmi les modes dont la disponibilité alternative est la plus accentuée, cette analyse sera encore plus pertinente avec des temps de déplacement calculés pour ces modes.

6. Compétitivité et coût monétaire

Certaines composantes du temps de déplacement sont négligées, incluant le coût de déplacement. Cela touche à tous les modes tarifés (transport collectif, vélopartage, autopartage, taxi). Une analyse des ratios de coûts généralisés permettra d'étudier la compétitivité pour plusieurs classes d'usagers.

7. Attributs de l'individu et modélisation

Une modélisation du choix modal implique les attributs du client du taxi. Ainsi, il existe d'autres variables n'ayant pas trait au temps de déplacement qui interviennent dans le choix modal. Les propriétés de l'individu (sexe, âge, revenu, lieu de domicile) sont intéressantes pour caractériser le client. De plus, il est important de noter que le modèle explicatif élaboré dans ce mémoire ne s'applique qu'aux courses commandées n'ayant que le transport collectif comme alternative. Il n'explique que 34% de la variation du ratio de compétitivité

TC-Taxi pour les courses de cette classe. L'élaboration d'une multiplicité de modèles est souhaitable.

8.4 Perspectives

Dans le contexte actuel de dérèglementation de l'industrie du taxi, il est pertinent d'étudier les impacts des différentes stratégies sur la prévision de la demande. Les axes de recherche pertinents pour la continuation de ce projet peuvent cibler la prévision à court et long terme de la demande, la modélisation du choix modal et l'établissement d'indicateurs de complémentarité du taxi.

D'emblée, une enquête auprès des clients permettra de recueillir les données requises pour développer un modèle de choix modal impliquant le mode taxi, ce qui permettra de mieux cerner les déterminants de la demande en déplacements par taxi à Montréal. Des variables quantifiant le confort des usagers ou l'influence des interruptions de service en métro sont intéressantes à incorporer dans de tels modèles.

Il est aussi pertinent de considérer renouveler l'analyse de disponibilité, lorsque le portrait de la mobilité dans la grande région de Montréal se stabilisera avec l'inclusion des modes émergents tels que la micromobilité et la mobilité en tant que service. D'autres variables sont pertinentes dans la caractérisation des alternatives telles que la présence de voies réservées, de voies cyclables, de l'intensité de place de stationnement sur rue. En vue d'étudier la transférabilité des déplacements autoconducteurs, il est pertinent d'étudier sa compétitivité en tenant compte du temps de recherche de stationnement et du coût du stationnement.

Ensuite, un partitionnement par agrégation de lignes de désir peut être appliqué, étudiant à la fois, les origines et destinations de courses. Ainsi, des corridors typiques de la demande en taxi peuvent être identifiés et leur niveau de compétitivité étudié. Cela est pertinent à l'idée d'étudier l'impact des mesures prioritaires sur rue pour bus et taxi.

Finalement, une inclusion des indicateurs proposés dans ce mémoire sera utile dans la plateforme du *Registre du Taxi* mis en service en 2018. Il est tout aussi pertinent d'élaborer des indicateurs de complémentarité du mode taxi avec les autres modes disponibles, de façon systématique. Cela permettra d'identifier des stratégies de partenariat, pour une meilleure planification intermodale.

RÉFÉRENCES

- Anowar, S., Eluru, N., Miranda-Moreno, L. F., & Lee-Gosselin, M. (2015). Joint Econometric Analysis of Temporal and Spatial Flexibility of Activities, Vehicle Type Choice, and Primary Driver Selection. *Transportation Research Board, 94th Annual Meeting*, 32-41. doi:10.3141/2495-04
- Austin, A. B. J. (2011). *The taxicab as Public Transportation in Boston*. (Massachusetts Institute of Technology).
- Bautista, J. (1985). *Models de distribució del temps d'espera del taxi*. (Tesina final de carrera., ETSEI Barcelona, ETSEI Barcelona).
- Bhat, C. R., & Sardesai, R. (2006). The impact of stop-making and travel time reliability on commute mode choice. *Transportation Research Part B: Methodological*, 40, 709-730. doi:10.1016/j.trb.2005.09.008
- Bonnell, P. (2004). *Prévoir la demande en transport*. HAL.
- Box, G. E. P., & Jenkins, G. (1990). *Time Series Analysis, Forecasting and Control*: Holden-Day, Inc.
- Cairns, R. D., & Liston-Heyes, C. (1996). Competition and regulation in the taxi industry. *Journal of Public Economics*, 59(1), 1-15. doi:10.1016/0047-2727(94)01495-7
- Cervero, R. (1997). *Paratransit in America : redefining mass transportation*. Westport, Conn.: Praeger.
- Chmelík, J. (2015). Assessments of modal split in long-distance passenger transport. *Review of Economic Perspectives*, 15, 49-69. doi:10.1515/revecp-2015-0011
- City of Toronto. (2015). *Toronto's Ground Transportation Review Findings Report*.
- Daganzo, C. F. (2010). Structure of competitive transit networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 44(4), 434-446. doi:10.1016/j.trb.2009.11.001
- Daly, A., & Hess, S. (2019). VTT or VTTS: a note on terminology for value of travel time work. *Transportation*. doi:10.1007/s11116-018-9966-4
- Douglas, G. W. (1972). Price Regulation and Optimal Service Standards.

- El-Geneidy, A., Grimsrud, M., Wasfi, R., Tetreault, P., & Surprenant-Legault, J. (2014). New evidence on walking distances to transit stops: identifying redundancies and gaps using variable service areas. *Transportation*, *41*(1), 193-210. doi:10.1007/s11116-013-9508-z
- Faghieh-Imani, A., Anowar, S., Miller, E. J., & Eluru, N. (2017). Hail a cab or ride a bike? A travel time comparison of taxi and bicycle-sharing systems in New York City. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *101*, 11-21. doi:10.1016/j.tra.2017.05.006
- Frappier, A. (2015). *Méthode d'évaluation de la diversité et de la qualité des alternatives de déplacement de transport en commun*.
- Gallop, C., Tse, C., & Zhao, J. (2012). A Seasonal Autoregressive Model of Vancouver Bicycle Traffic Using Weather Variables. *Transportation Research Board 91st Annual Meeting*, 1-17.
- Geneste, A. (2017). *Caractérisation de l'offre et de la demande en transport dans un système de taxis électriques* (École Polytechnique de Montréal).
- Godefroy, F. (2011). *Méthodologie De Caractérisation Du Vélopartage Et D ' Estimation Du Marché Potentiel Du Vélo À Montréal*. (Polytechnique Montreal).
- Godefroy, F., & Morency, C. (2012). Estimating Latent Cycling Trips in Montreal, Canada. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2314*, 120-128. doi:10.3141/2314-16
- Godin, A. (2012). *L 'Accessibilité en transport : Méthodes et Indicateurs*. (Polytechnique Montreal).
- Guidon, S., Becker, H., Dediu, H., & Axhausen, K. W. (2019). Electric Bicycle-Sharing: A New Competitor in the Urban Transportation Market? An Empirical Analysis of Transaction Data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2673*(4), 15-26. doi:10.1177/0361198119836762
- Guilford, J. P. (1954). *Psychometric methods*. New York: McGraw-Hill.
- Hochmair, H. (2016). Spatio-temporal Pattern Analysis of Taxi Trips in New York City. 1-20.
- Hyndman, R. J. (2014). *Forecasting : principles and practice*. Heathmont, Vic: OTexts.
- Ihler, A. T., Hutchins, J., & Smyth, P. (2006). *Adaptive event detection with time-varying poisson processes*. Communication présentée à KDD '06.

Kittelsohn and Associates. (2003). Part 3 - Quality of Service. Dans *Transit Capacity and Quality of Service Manual* (2nd^e éd.).

Labrecque, M. (1997). Le « cocktail transport ». La solution pour freiner le déclin du transport en commun., 41.

Lacombe, A. (2016). *Méthodologie d'analyse et de suivi d'un système de transport par taxi* (École Polytechnique de Montréal).

Lacombe, A., & Morency, C. (2016). Modeling taxi trip generation using GPS data: the Montreal case. *Transportation Research Board 95th Annual Meeting*, 70, 479-487. doi:10.1016/S0038-092X(00)00143-2

Laviolette, J. (2017). *Planification stratégique d'un système de transport par taxi*.

Laviolette, J., Morency, C., Saunier, N., & Lacombe, A. (2017). Temporal & Spatial Analysis of Taxi Demand in Montréal using a Clustering Approach. *Transportation Research Board 96th Annual Meeting*, 14.

Lefebvre-Ropars, G.-L. (2017). *Analyse de la contribution des indicateurs de marchabilité à la modélisation de la demande piétonne*. (Polytechnique Montreal).

Li, L., Wang, S., Li, M., & Tan, J. (2018). Comparison of travel mode choice between taxi and subway regarding traveling convenience. *Tsinghua Science and Technology*, 23, 135-144. doi:10.23919/TST.2018.8329108

Li, M., Dong, L., Shen, Z., Lang, W., & Ye, X. (2017). Examining the interaction of taxi and subway ridership for sustainable urbanization. *Sustainability (Switzerland)*, 9, 1-12. doi:10.3390/su9020242

Lo, H. K., & Yip, C. W. (2001). Fare deregulation of transit services: Winners and losers in a competitive market. *Journal of Advanced Transportation*, 35(3), 215-235. doi:10.1002/atr.5670350304

Martel-Poliquin, E. (2012). *Mieux comprendre les déterminants du choix modal*. (Polytechnique Montreal).

- Moreira-Matias, L., Gama, J., Ferreira, M., & Damas, L. (2012). A predictive model for the passenger demand on a taxi network. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, 1014-1019. doi:10.1109/ITSC.2012.6338680
- Mouter, N. (2016). Value of Travel Time: To Differentiate or Not to Differentiate? *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2597(1), 82-89. doi:10.3141/2597-11
- Ortuzar, J. d. D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport* (4th Edition^e éd.).
- Pelletier-Grenier, P. (2018). *Modélisation de l'impact de la performance des modes actifs et collectifs sur le choix modal* (Polytechnique Montreal).
- Peng, X., Pan, Y., & Luo, J. (2018). Predicting high taxi demand regions using social media check-ins. *Proceedings - 2017 IEEE International Conference on Big Data, Big Data 2017, 2018-Janua*, 2066-2075. doi:10.1109/BigData.2017.8258153
- Pnevmatikou, A. M., Karlaftis, M. G., & Kepaptsoglou, K. (2015). Metro service disruptions: how do people choose to travel? *Transportation*, 42, 933-949. doi:10.1007/s11116-015-9656-4
- Pongprasert, P., & Kubota, H. (2017). Switching from motorcycle taxi to walking: A case study of transit station access in Bangkok, Thailand. *IATSS Research*, 41(4), 182-190. doi:<https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2017.03.003>
- Pongprasert, P., & Kubota, H. (2019). TOD residents' attitudes toward walking to transit station: a case study of transit-oriented developments (TODs) in Bangkok, Thailand. *Journal of Modern Transportation*, 27(1), 39-51. doi:10.1007/s40534-018-0170-1
- Qian, X., & Ukkusuri, S. V. (2015). Spatial variation of the urban taxi ridership using GPS data. *Applied Geography*, 59, 31-42. doi:10.1016/j.apgeog.2015.02.011
- Revelle, W., Wilt, J., & Rosenthal, A. (2010). Individual Differences in Cognition: New Methods for Examining the Personality-Cognition Link. Dans A. Gruszka, G. Matthews, & B. Szymura (édit.), *Handbook of Individual Differences in Cognition: Attention, Memory, and Executive Control* (p. 27-49). New York, NY: Springer New York.
- Salanova, J. M., Romeu, M. E., & Amat, C. (2014). Aggregated Modeling of Urban Taxi Services. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 160, 352-361. doi:10.1016/j.sbspro.2014.12.147

Schaller, B. (2005). A Regression Model of the Number of Taxicabs in U.S. Cities. *Journal of Public Transportation*, 8, 63-78. doi:<http://dx.doi.org/10.5038/2375-0901.8.5.4>

Sicotte, G. (2015). Modélisation de l'interdépendance entre modes de transport et chaînes de déplacements.

Tong, Y., Chen, Y., Zhou, Z., Chen, L., Wang, J., Yang, Q., . . . Lv, W. (2017). The Simpler The Better: A Unified Approach to Predicting Original Taxi Demands based on Large-Scale Online Platforms. *KDD '17 Proceedings of the 23rd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 1653-1662. doi:10.1145/3097983.3098018

Transportation, U. S. D. o. T. O. o. t. S. o. (2011). *Revised Departmental Guidance on Valuation of Travel Time in Economic Analysis*.

Valiquette, F. (2010). *Typologie des chaînes de déplacements et modélisation descriptive des systèmes d'activités des personnes*. (Polytechnique Montréal).

Vuchic, V. R. (2005). *Urban Transit : Operations, Planning & Economics*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.

Vuchic, V. R. (2007). *Urban transit systems and technology*. Hoboken, N.J: J. Wiley.

Wang, F., & Ross, C. L. (2017). New potential for multimodal connection: exploring the relationship between taxi and transit in New York City (NYC). *Transportation*, 1-22. doi:10.1007/s11116-017-9787-x

Welch, T. F., Gehrke, S. R., & Widita, A. (2018). Shared-use mobility competition: a trip-level analysis of taxi, bikeshare, and transit mode choice in Washington, DC. *Transportmetrica A: Transport Science*, 9935. doi:10.1080/23249935.2018.1523250

Yang, C., & Gonzales, E. (2014). Modeling Taxi Trip Demand by Time of Day in New York City. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2429, 110-120. doi:10.3141/2429-12

Yang, H., Ye, M., Tang, W. H., & Wong, S. C. (2005). Regulating taxi services in the presence of congestion externality. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39(1), 17-40. doi:10.1016/j.tra.2004.05.004

Yuan, C., Wu, D., Wei, D., & Liu, H. (2017). Modeling and Analyzing Taxi Congestion Premium in Congested Cities. *Journal of Advanced Transportation*, 2017, 1-12. doi:10.1155/2017/2619810

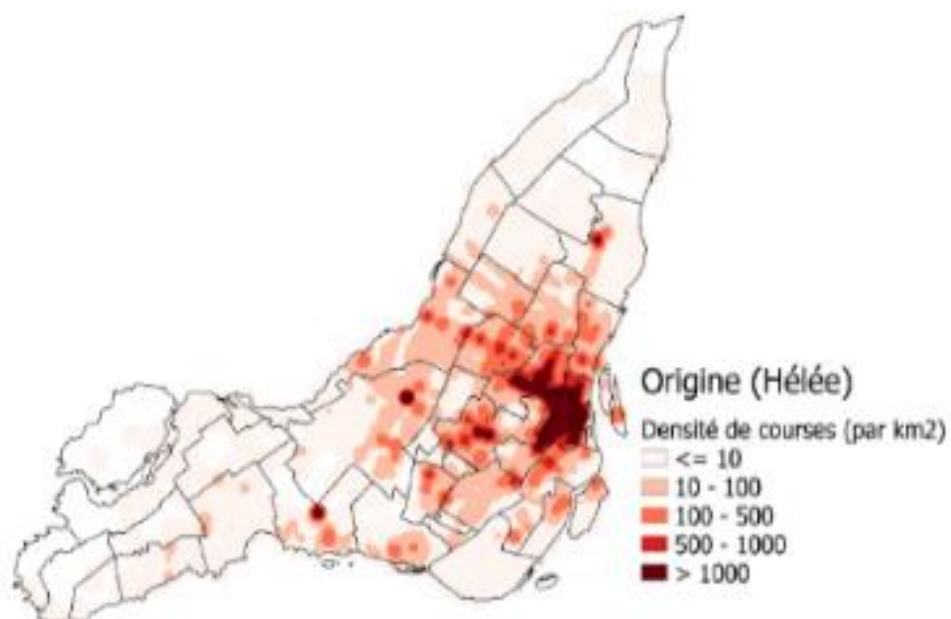
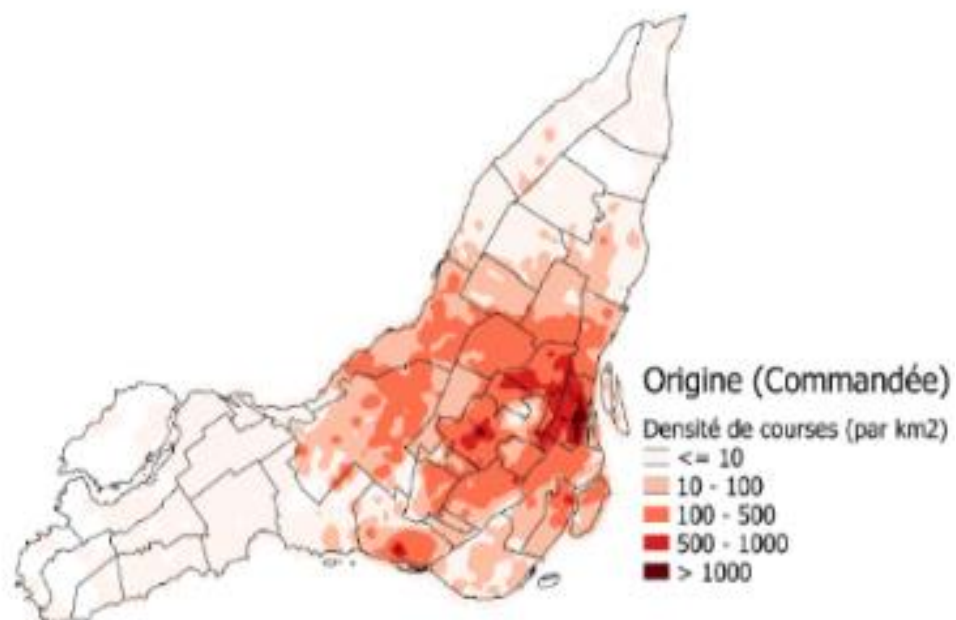
Yule, G. U. (1912). On the Methods of Measuring Association Between Two Attributes. *Journal of the Royal Statistical Society*, 75(6), 579-652. doi:10.2307/2340126

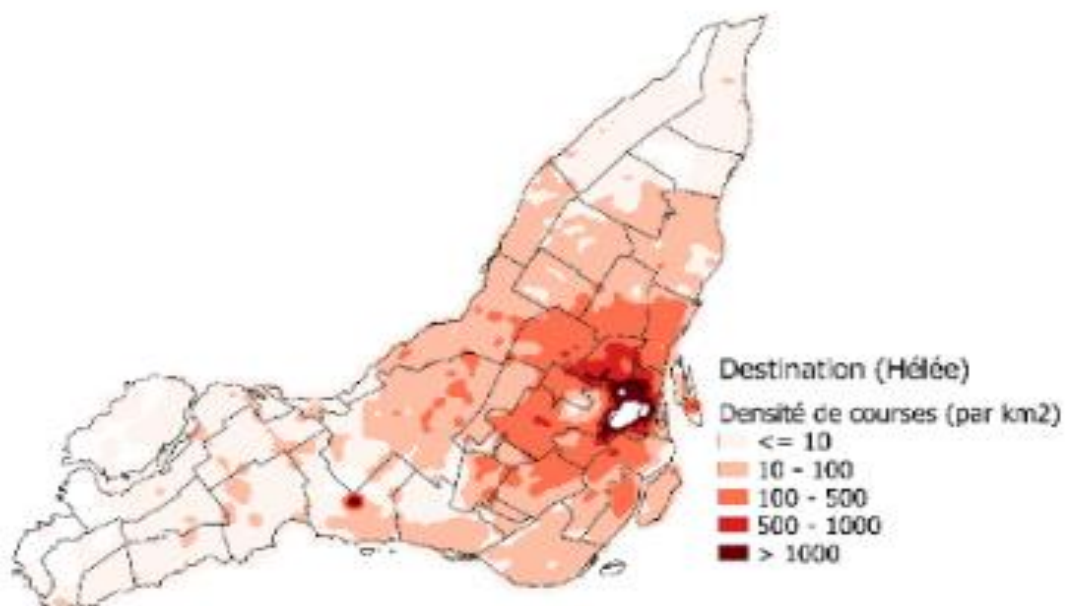
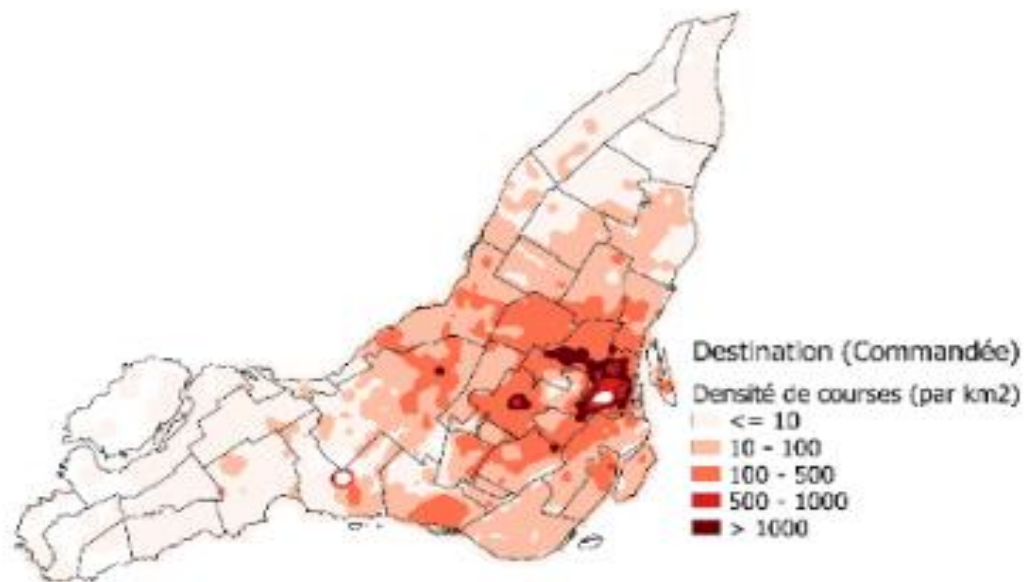
Zhang, G. P. J. N. (2003). Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. *50*, 159-175.

Zheng, X., Liang, X., & Xu, K. (2012). *Where to wait for a taxi?* Communication présentée à Proceedings of the ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing, Beijing, China. Tiré de <https://doi.org/10.1145/2346496.2346520>

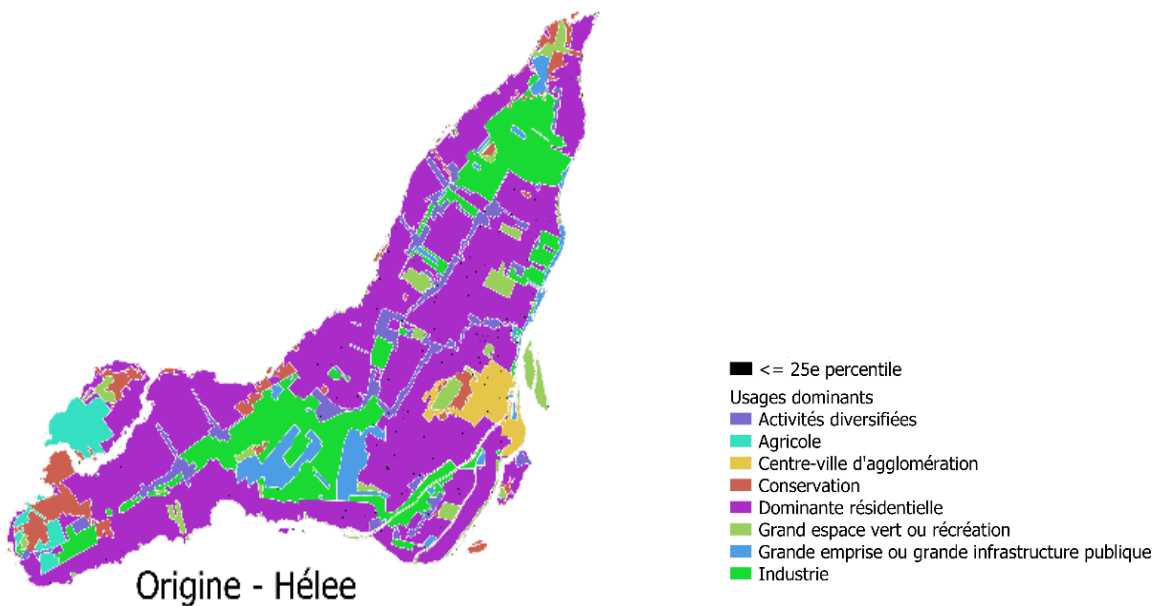
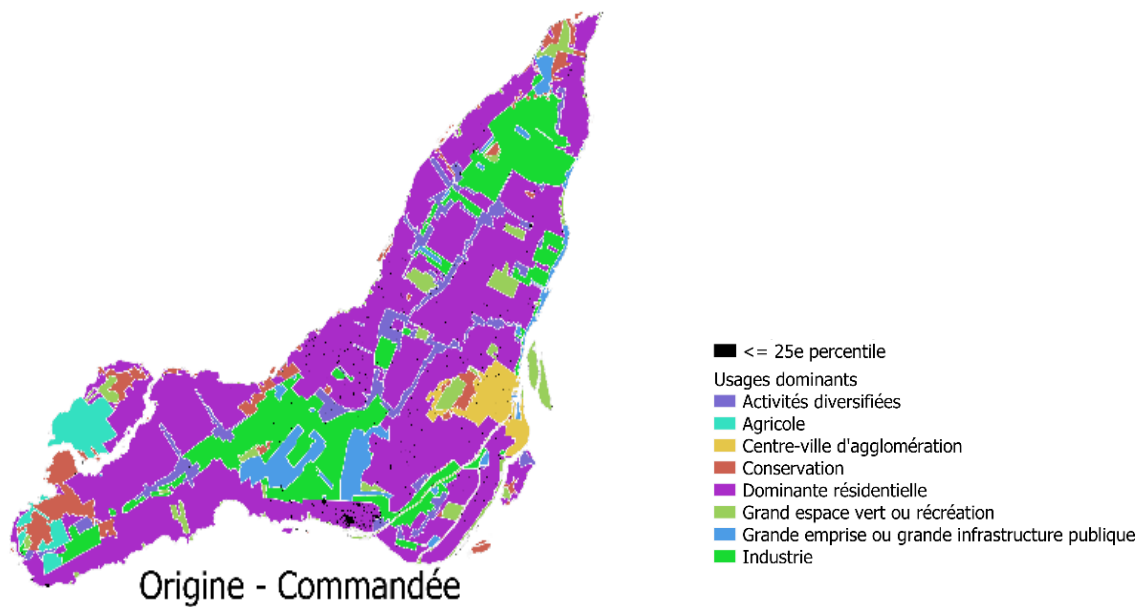
Zhu, C., & Prabhakar, B. (2016). Measuring Pulse of a city through taxi: a case study.

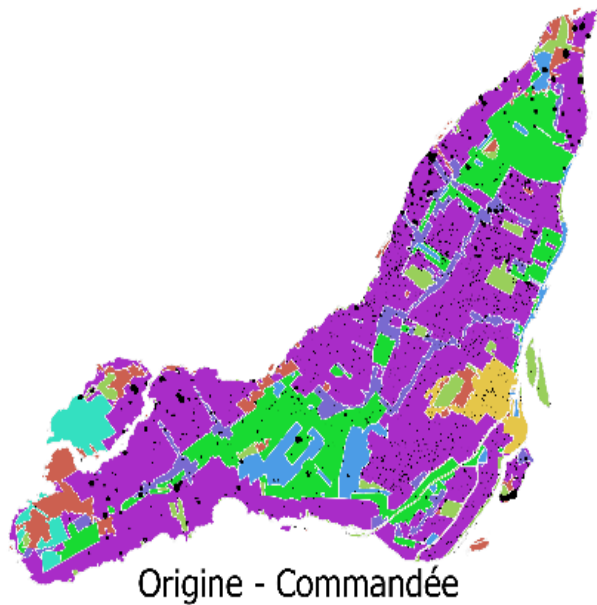
ANNEXE A DENSITE DES COURSES DE TAXI



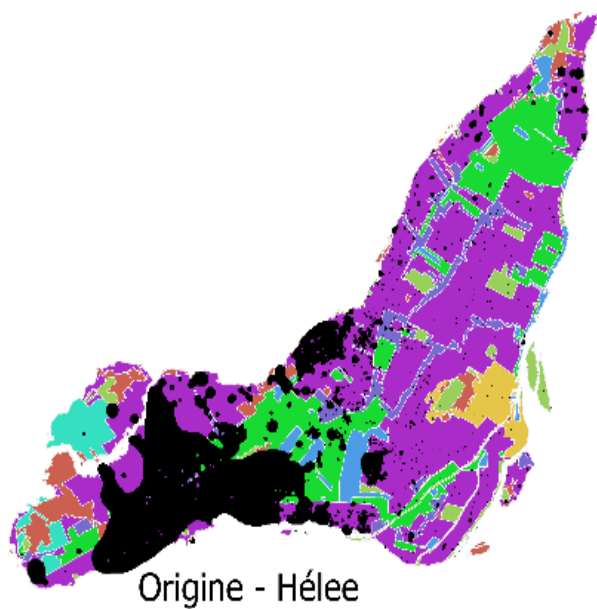


ANNEXE B DUREES INTERPOLEES DES COURSES DE TAXI

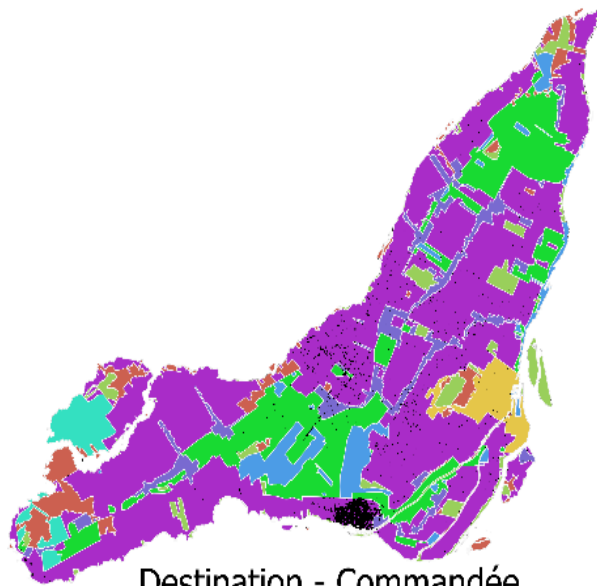




- \geq 75e percentile
- Usages dominants
- Activités diversifiées
- Agricole
- Centre-ville d'agglomération
- Conservation
- Dominante résidentielle
- Grand espace vert ou récréation
- Grande emprise ou grande infrastructure publique
- Industrie

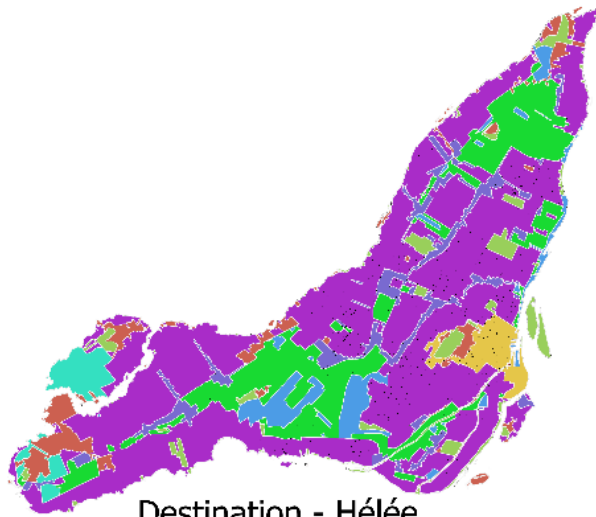


- \geq 75e percentile
- Usages dominants
- Activités diversifiées
- Agricole
- Centre-ville d'agglomération
- Conservation
- Dominante résidentielle
- Grand espace vert ou récréation
- Grande emprise ou grande infrastructure publique
- Industrie



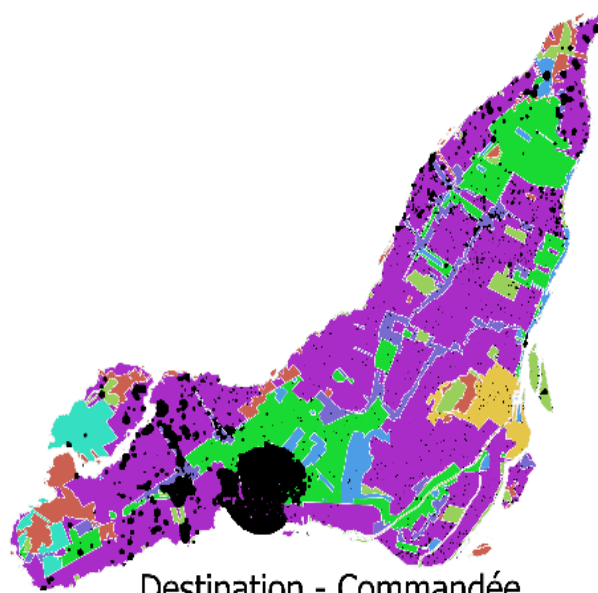
Destination - Commandée

- ≤ 25e percentile
- Usages dominants
- Activités diversifiées
- Agricole
- Centre-ville d'agglomération
- Conservation
- Dominante résidentielle
- Grand espace vert ou récréation
- Grande emprise ou grande infrastructure publique
- Industrie



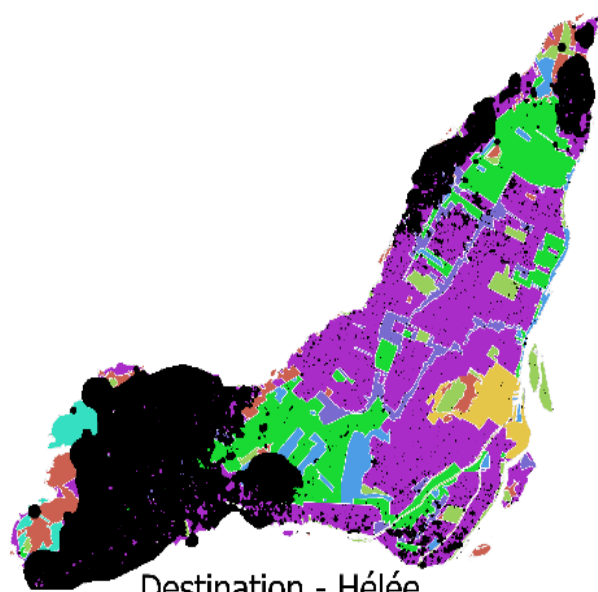
Destination - Héléé

- ≤ 25e percentile
- Usages dominants
- Activités diversifiées
- Agricole
- Centre-ville d'agglomération
- Conservation
- Dominante résidentielle
- Grand espace vert ou récréation
- Grande emprise ou grande infrastructure publique
- Industrie



Destination - Commandée

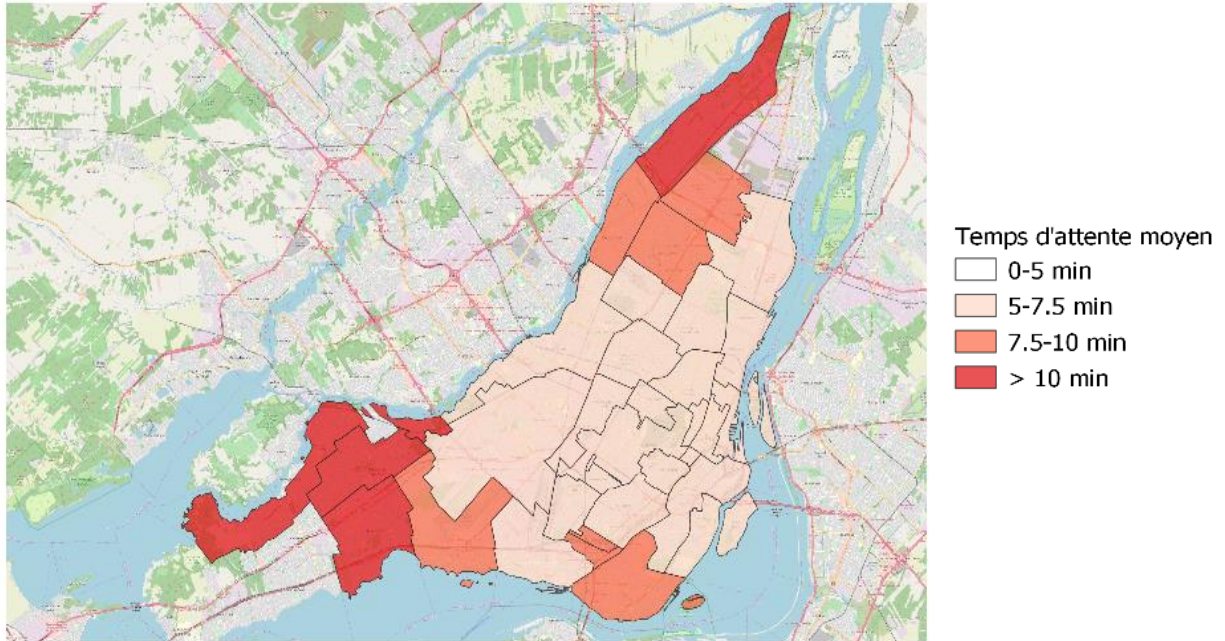
- \geq 75e percentile
- Usages dominants
- Activités diversifiées
- Agricole
- Centre-ville d'agglomération
- Conservation
- Dominante résidentielle
- Grand espace vert ou récréation
- Grande emprise ou grande infrastructure publique
- Industrie



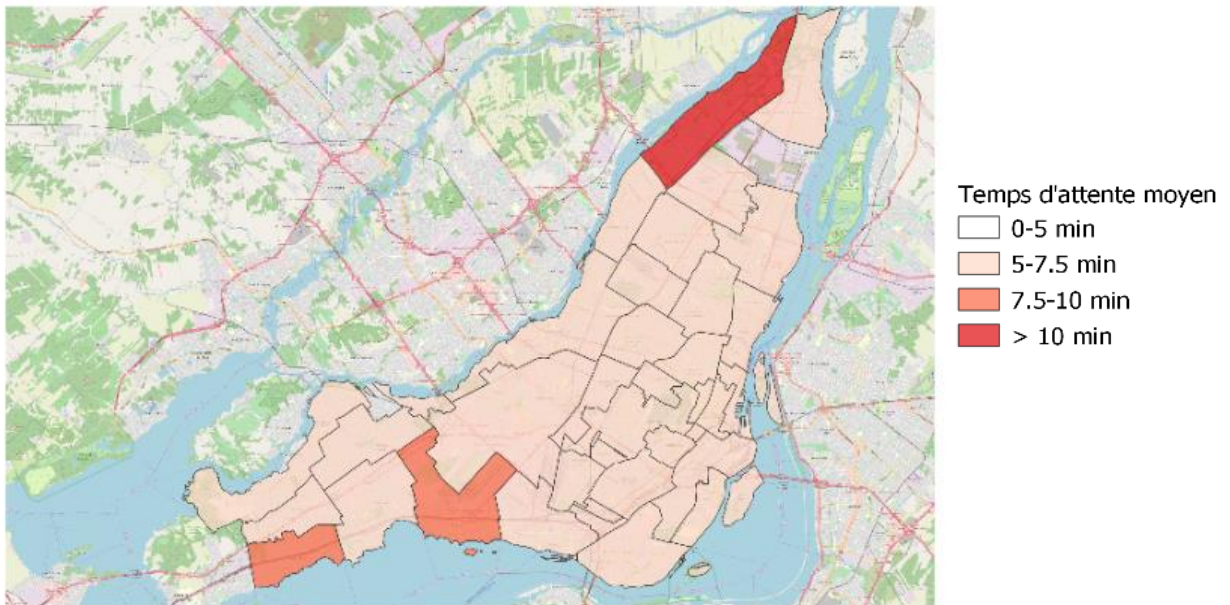
Destination - Héléé

- \geq 75e percentile
- Usages dominants
- Activités diversifiées
- Agricole
- Centre-ville d'agglomération
- Conservation
- Dominante résidentielle
- Grand espace vert ou récréation
- Grande emprise ou grande infrastructure publique
- Industrie

ANNEXE C TEMPS D'ATTENTE MOYEN POUR UN TAXI PAR SECTEUR MUNICIPAL



Origine



Destination