

**POLYTECHNIQUE MONTRÉAL**

affiliée à l'Université de Montréal

**Impact du confort sur le choix des trajets en transport collectif**

**MARC-ANTOINE GAUTHIER**

Département des génies 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:

## **Impact du confort sur le choix des trajets en transport collectif**

Présenté par

**Marc-Antoine GAUTHIER**

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

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

**Martin TRÉPANIÉR**, président

**Catherine MORENCY**, membre et directrice de recherche

**Éric MARTEL-POLIQVIN**, membre

## DÉDICACE

*Pour Michel Blanchard, alias Monsieur Le Curé,*

*De L'Opération Nez Rouge Laval-Basses-Laurentides*

*Mon mentor et ami, emporté trop tôt par la maladie*

*Qui a su me motiver, m'encourager et être fier de mon parcours académique*

## REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire de maîtrise aura été un défi au niveau technique et personnel. Tout d'abord, je souhaite remercier ma directrice, madame Catherine Morency, qui a su me faire confiance pour développer ce sujet et qui a su me donner les outils nécessaires pour accomplir ce projet. Je souhaite aussi la remercier pour son temps, pour ses conseils et pour sa flexibilité.

Je souhaite par la suite remercier mes collègues chez exo. Je souhaite les remercier en particulier de m'avoir donné la flexibilité dont j'avais besoin pour compléter mon mémoire de maîtrise lors de mes derniers mois. Je souhaite remercier en particulier Mohsen Nazem, qui a su me motiver à terminer mon mémoire de maîtrise à un moment où ma motivation était à un creux. Je souhaite aussi remercier mes collègues de Recherche, Analytique des données et Modélisation, en particulier Hamzeh Alizadeh, François Turcotte-Goulet, Philippe Côté et Antoine Giraud.

Je souhaite remercier mon cercle d'amis proches, en particulier Louis Harris, Christopher Nicolae, Christopher Ky, Simon Gallien, Julien Douville et Meryem Bouras, pour leur support, qui fut très précieux en période de questionnements personnels.

Je souhaite remercier mes collègues de la Chaire Mobilité, pour les échanges constructifs et aussi pour avoir su endurer mes nombreuses farces et histoires depuis la dernière année. Un merci particulier à Gabriel Lefebvre-Ropars pour son aide en analyse géométrique ainsi qu'à Élodie Deschaintres.

Je souhaite remercier Vincent Chabin ainsi que Pierre-Léo Mongeon-Bourbonnais pour avoir fait le volet programmation de l'enquête web. Sans vous et vos compétences en programmation, jamais je n'aurais réussi à matérialiser mon enquête!

Finalement, je souhaite remercier ma famille élargie de l'Opération Nez Rouge Laval-Basses-Laurentides, avec qui j'ai la chance depuis 3 ans de ramener des gens à la maison en sécurité pendant mes seules vacances de l'année. Merci en particulier à Jean Marier, Mario Amnotte, Laval Larouche, Claude Bruneau, Daniel Rolland, Louis-Philippe Lemay, Sarah-Maude Lachance et plusieurs autres, pour les nuits passées à raccompagner des gens et pour les amitiés développées. Finalement, je souhaite remercier particulièrement Michel Blanchard, qui a toujours su m'encourager dans mes études et qui aurait été fier de voir le résultat de mes travaux.

## RÉSUMÉ

Les modèles d'affectation utilisés pour la modélisation des transports collectifs permettent de déterminer le choix de trajets par les usagers en fonction de certains paramètres, tels que le temps de parcours, le nombre de correspondances, le temps d'attente et le temps d'accès. Cependant, ces modèles négligent certains paramètres, tels que la charge à bord et l'augmentation du temps de parcours par le nombre d'embarquements et de débarquements. Dans un réseau de transport collectif où la charge à bord devient élevée au point d'atteindre le point de saturation, il devient nécessaire de trouver des solutions afin de répondre convenablement aux besoins des usagers et leur offrir des options leur permettant d'accomplir leur déplacement tout en évitant une ligne chargée. Par exemple, il pourrait être pertinent d'offrir aux usagers une ligne de bus parallèle à une ligne de métro pour libérer de l'espace sur la ligne de métro. En revanche, le bus est contraint aux aléas de la circulation routière par rapport au métro, faisant qu'il peut être un choix moins attrayant pour un usager. Ainsi, il est intéressant de connaître les paramètres qui ont une influence sur le choix d'itinéraire d'un usager, dont la charge et le mode.

Le confort à bord reste un sujet très subjectif en fonction de la personne, de son temps de déplacement, de son âge et de son état physique. Il implique que certains seront prêts à passer plus de temps pour effectuer leur déplacement s'ils ont accès à une place assise ou s'ils sont moins entassés tandis que d'autres préféreront prendre le chemin le plus court malgré le haut niveau d'entassement. Plusieurs chercheurs se sont penchés sur la question afin de comprendre les préférences de confort des personnes. Pour ce faire, certains ont fait des enquêtes auprès des usagers afin de comprendre leurs préférences de confort. D'autres ont étudié les chemins des personnes à l'aide de transactions de carte à puce. Ces études permettaient de faire ressortir des multiplicateurs du temps de parcours à utiliser dans la fonction de coût généralisé pour obtenir le temps perçu en fonction de la charge à bord.

Dans le cadre de ce mémoire de maîtrise, il a été question d'étudier le critère de confort à bord d'un itinéraire de transport en commun dans la grande région de Montréal et de développer des multiplicateurs du temps de parcours pour obtenir le temps perçu, applicables pour la région de Montréal.

En premier lieu, ce mémoire présente le développement d'une méthode de diagnostic du confort à bord ainsi que des indicateurs de mesure du confort à bord sur un réseau de transport collectif. À

partir d'un fichier de demande de déplacements affectés sur un réseau, il a été possible de déterminer les taux d'occupation moyens à bord des différentes lignes de transport en commun de Montréal et de calculer les indicateurs de caractérisation du confort. Les indicateurs sont le ratio de personnes par siège, le ratio de personnes par place, la probabilité d'avoir une place assise, la probabilité de refus d'embarquement et le taux de congestion d'une ligne. Cette méthode a été appliquée sur le réseau d'autobus de la Société de Transport de Montréal.

En deuxième lieu, le mémoire présente la conception d'une enquête de préférence déclarée afin d'étudier les préférences des personnes en regard de différentes alternatives ainsi que leurs préférences de confort. Tout d'abord, une étude des alternatives préférées du répondant a permis de comprendre le choix d'itinéraire en fonction de certains critères de temps de parcours en fonction du mode, du temps de correspondance et du temps d'accès. Cette étude a permis d'identifier les éléments que les répondants considèrent quand vient le temps de faire leur choix d'itinéraire. Ensuite, la deuxième section a permis de déterminer les itinéraires fictifs préférés des répondants en fonction du temps de parcours, du niveau d'entassement, de la position assise ou debout et du mode. Le répondant est soumis à neuf questions comparant deux alternatives et il doit choisir à chaque fois l'alternative qu'il préfère pour chaque scénario. Par la suite, une méthodologie d'analyse de résultats est présentée. La méthode consiste à appliquer un modèle logistique qui prend en compte la position assise ou debout, la charge à bord et le véhicule comme variables explicatives. Les coefficients décrivant chaque variable sont repris pour calculer les facteurs multiplicatifs du temps de parcours en fonction de l'entassement à bord.

Somme toute, ce mémoire de maîtrise a permis d'étudier la pertinence de prendre en compte le critère de confort dans les modèles d'affectation de déplacements sur les réseaux de transport en commun pour la région de Montréal. Tout d'abord, les travaux ont permis de concevoir une enquête sur le confort pour la grande région de Montréal et de calculer des facteurs multiplicateurs du temps de parcours à utiliser dans les modèles d'affectation. À long terme, il sera pertinent de considérer le confort pour l'ensemble d'un déplacement, soit le confort à un arrêt, à une station, lors des correspondances et plus. De plus, l'étude sur l'heure de départ, la température extérieure et le niveau de fatigue permettrait potentiellement de raffiner le modèle dans une perspective d'amélioration des indicateurs de diagnostic et de conception de réseaux tenant compte des préférences des voyageurs.

## ABSTRACT

The assignment models used for public transit modelling can be used to determine the route choice based on certain parameters, such as travel time, number of transfers, waiting time and access time. However, these models overlook certain parameters, such as the number of people on-board and the increase in travel time due to boarding and alighting. In a public transport network where the load approaches the point of saturation, it becomes necessary to find solutions to adequately meet the needs of users and offer them options allowing them to complete their journey while avoiding a busy line. For example, it may be appropriate to offer users a bus line parallel to a metro line to free up space on the metro line. On the other hand, the bus is constrained to road traffic compared to the metro, making it a less attractive choice for a user. Thus, it is interesting to know the parameters that influence the choice of route of a user, including the load and mode.

Comfort on board remains a highly subjective topic depending on the person, travel time, age and physical condition. Some people will be willing to spend more time travelling if they have access to a seat or if they feel less crowded while others will prefer to take the shortest route despite the high level of crowding. Several researchers have looked at this issue in order to understand people's comfort preferences. To do this, some have surveyed users to understand their comfort preferences. Others have studied people's paths using smart card transactions. These studies identified multipliers of travel time to be used in the generalized cost function to obtain the perceived time based on the load in a vehicle.

As part of this thesis, the goal is to study the comfort criterion on a transit route in the greater Montreal area and to develop travel time multipliers to obtain the perceived time applicable to this region.

First, this research proposes a method of diagnosis of the comfort on board and the development of indicators characterizing comfort on a public transport network. Using the transit demand assigned to a network, it is possible to determine average occupancy rates on the various transit lines in Montreal and to calculate the comfort characterization indicators. Indicators are the ratio of people per seat, the ratio of people per sitting and standing places, the probability of having a seat, the probability of facing a denied boarding, and the occupancy rate on a line. This method was applied to the Société de Transport de Montréal bus network.

Second, this research presents the design of a declared preference survey to study people's preferences for different alternatives as well as their comfort preferences. First, a study of the respondent's preferred alternatives made it possible to understand the choice of route based on certain criteria of travel time according to mode, transfer time and access time. This study identified the elements that respondents consider when it comes to choosing their route. The second section then identified respondents' preferred fictitious routes based on travel time, crowding, sitting or standing position, and mode. The respondent is subjected to nine questions comparing two alternatives for which he must choose each time the alternative he prefers for each scenario. Subsequently, a methodology for analyzing results is presented. The method is to apply a specific model that considers the sitting or standing position, the load on board and the vehicle as explanatory variables. The coefficients describing each variable are used to calculate the travel time multipliers of travel time based on the crowding.

All in all, this master's thesis allowed us to study the relevance of taking the comfort criterion into account in the models of travel assignments on public transit systems for the Montreal area. First, the work led to the design of a comfort survey for the greater Montreal area and to propose a method to calculate travel time multipliers to be used in assignment models. In the long run, it will be relevant to consider comfort for the entire trip, i.e. comfort at a stop, at a station, during connections and more. In addition, the study of departure time, outdoor temperature and fatigue would potentially refine the model with a view to improving diagnostic and network design indicators that consider the preferences of travelers.

## TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	III
REMERCIEMENTS .....	IV
RÉSUMÉ.....	V
ABSTRACT .....	VII
TABLE DES MATIÈRES .....	IX
LISTE DES TABLEAUX.....	XIII
LISTE DES FIGURES .....	XIV
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS .....	XVII
LISTE DES ANNEXES .....	XVIII
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Contexte et problématique .....	1
1.2 La Communauté métropolitaine de Montréal .....	2
1.3 Objectifs du projet de recherche.....	4
1.4 Organisation générale du mémoire .....	4
CHAPITRE 2 REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	5
2.1 Procédure séquentielle classique.....	5
2.1.1 Génération .....	5
2.1.2 Distribution.....	5
2.1.3 Choix modal .....	6
2.1.4 Affectation des déplacements.....	6
2.2 Calcul de chemin.....	7
2.3 Notion de temps perçu et sources d'inconfort.....	8
2.3.1 Le temps perçu .....	9

2.3.2	Irritants d'une charge à bord élevée .....	10
2.4	Enquête sur le confort à bord .....	13
2.4.1	Enquête de préférences déclarées.....	13
2.4.2	Enquête de préférence révélée.....	18
2.4.3	Synthèse des facteurs multiplicatifs du temps de parcours .....	19
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE.....		22
3.1	Diagnostic du confort sur un réseau de TC .....	22
3.1.1	Liste des indicateurs .....	22
3.1.2	Sources de données pertinentes.....	26
3.1.3	Hypothèses pertinentes.....	28
3.1.4	Jumelage des données CAP, GTFS et OD .....	29
3.2	Méthodologie pour une enquête sur les préférences .....	31
3.2.1	Conception de l'enquête.....	32
3.2.2	Outil d'acquisition de données .....	42
3.2.3	Conception du questionnaire.....	43
3.3	Élaboration du modèle pour l'analyse des données .....	55
3.3.1	Type des variables.....	55
3.3.2	Équations d'utilité .....	56
3.3.3	Valeur du temps de parcours.....	57
CHAPITRE 4 DIAGNOSTIC DU CONFORT À MONTRÉAL.....		59
4.1	Offre de transport .....	59
4.2	Demande de transport.....	61
4.2.1	Nombre moyen d'embarquements .....	61
4.2.2	Nombre moyen de débarquements .....	63

4.3	Ratio de personnes par siège .....	64
4.4	Ratio de personnes par place .....	66
4.5	Probabilité d'avoir une place assise .....	69
4.6	Probabilité du refus d'embarquement .....	71
4.7	Taux d'occupation moyen des lignes d'autobus .....	73
4.8	Étude de cas et jumelage des indicateurs .....	75
CHAPITRE 5 RÉSULTATS DESCRIPTIFS DE L'ENQUÊTE SUR LE CONFORT .....		79
5.1	Considérations importantes .....	79
5.2	Taux de réponse .....	79
5.3	Profil des répondants .....	80
5.4	L'étude des déplacements des répondants .....	82
5.4.1	Étude du choix d'itinéraire selon les alternatives.....	85
5.5	Étude du choix dans les scénarios de confort.....	85
CHAPITRE 6 FACTEURS DU TEMPS DE PARCOURS .....		92
6.1	Calcul de la corrélation entre les variables.....	92
6.2	Développement du modèle.....	93
6.2.1	Première approche.....	93
6.2.2	Deuxième approche.....	96
6.3	Discussion des deux approches .....	99
6.4	Intégration de la composante du confort dans l'équation de coût généralisé.....	101
CHAPITRE 7 CONCLUSION .....		102
7.1	Contributions.....	103
7.2	Limitations .....	104
7.3	Perspectives futures.....	105

RÉFÉRENCES..... 108

ANNEXES ..... 116

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1: Valeurs des facteurs multiplicatifs du temps de parcours pour les études présentées .....	20
Tableau 3-1: Nombre de places disponibles dans chaque véhicule affecté sur le réseau .....	28
Tableau 3-2: Affectation des véhicules en fonction de la ligne et du réseau .....	29
Tableau 3-3: Temps de parcours minimal, moyen et maximal en fonction du mode .....	39
Tableau 3-4: Liste des scénarios à tester .....	40
Tableau 3-5: Liste des scénarios utilisés pour chaque bloc de questions.....	41
Tableau 5-1: Nombre d'abandons en fonction de la dernière section remplie dans le questionnaire .....	79
Tableau 5-2: Nombre de réponses pour chaque scénario de confort étudié.....	86
Tableau 6-1: Matrice de corrélation des variables .....	92
Tableau 6-2: Coefficients décrivant le modèle considérant la densité comme une variable catégorielle .....	94
Tableau 6-3: Utilité de référence pour le calcul des facteurs .....	95
Tableau 6-4: Coefficients décrivant le modèle considérant l'entassement comme une variable continue .....	97
Tableau 6-5: Utilité des références utilisées pour le calcul du temps équivalent pour les autres alternatives possibles .....	98
Tableau 7-1: Utilité de chaque alternative et choix considéré par le modèle lorsque la densité est une variable catégorielle.....	116
Tableau 7-2: Utilité pour chaque alternative et choix considéré par le modèle lorsque la densité est une variable continue .....	118

## LISTE DES FIGURES

Figure 1-1: Ensemble du territoire de la CMM (Communauté métropolitaine de Montréal, 2019)	3
Figure 3-1: Schéma de calcul de la charge à un tronçon inter-arrêt.....	23
Figure 3-2: Étapes de calcul des indicateurs du confort à bord .....	30
Figure 3-3: Schéma résumé de l'enquête.....	32
Figure 3-4: Exemple d'alternatives pour un déplacement déclaré par un répondant .....	34
Figure 3-5: Exemple de scénario de l'enquête sur le confort à bord .....	35
Figure 3-6: Diagramme boîte à moustache illustrant la distribution du temps de parcours pour chaque mode enquêté .....	38
Figure 3-7: Module demandant le lieu de départ et d'arrivée du dernier déplacement fait par le répondant.....	44
Figure 3-8: Module demandant la séquence de modes empruntés.....	45
Figure 3-9: Module présentant les différentes alternatives .....	46
Figure 3-10: Module présentant les différents scénarios incluant une composante de confort .....	47
Figure 3-11: Visualisation de la densité d'une personne debout par mètre carré dans un autobus standard .....	48
Figure 3-12: Visualisation de la densité d'une personne debout par mètre carré dans une voiture de métro.....	49
Figure 3-13: Visualisation de la densité d'une personne debout par mètre carré dans une voiture de train.....	49
Figure 3-14: Visualisation de la densité de quatre personnes debout par mètre carré dans un autobus standard .....	50
Figure 3-15: Visualisation de la densité de quatre personnes debout par mètre carré dans un métro .....	51
Figure 3-16: Visualisation de la densité de quatre personnes debout par mètre carré dans un train .....	51

Figure 3-17: Visualisation de la densité de huit personnes debout par mètre carré dans un autobus standard .....	52
Figure 3-18: Visualisation de la densité de huit personnes debout par mètre carré dans un métro .....	53
Figure 3-19: Visualisation de la densité de huit personnes debout par mètre carré dans un train .	53
Figure 3-20: Module questionnant sur les attributs socio-démographiques .....	54
Figure 4-1: Offre en places assises pour chaque tronçon inter-arrêt sur le réseau bus de la STM	59
Figure 4-2: Nombre de places assises disponibles lors de la pointe du matin pour le réseau de bus .....	60
Figure 4-3: Nombre de montants par arrêt pour un jour de semaine sur le réseau bus de la STM	62
Figure 4-4: Nombre de descendants pour une journée moyenne pour les arrêts de bus de Montréal .....	63
Figure 4-5: Ratio de personnes par siège moyen pour un jour de semaine sur une période de 24h .....	65
Figure 4-6: Ratio de personnes assises pour une heure de pointe du matin moyenne .....	66
Figure 4-7: RPP pour une journée type .....	67
Figure 4-8: RPP moyen pour l'heure de pointe du matin .....	68
Figure 4-9: Probabilité d'une place assise pour une journée type .....	69
Figure 4-10: Probabilité d'une place assise pour la période de pointe du matin .....	70
Figure 4-11: Probabilité de refus d'embarquement pour la pointe du matin .....	72
Figure 4-12: Distribution des lignes selon le RPS moyen pour une journée et l'heure de pointe du matin .....	73
Figure 4-13: Distribution des lignes selon le RPP moyen pour une journée et l'heure de pointe du matin .....	74
Figure 4-14: Jumelage du RPS et de la probabilité d'une place assise pour la ligne 496 en direction Aller en pointe du matin .....	75

Figure 4-15: Exemple de visualisation du RPP et de la probabilité de refus d'embarquement pour la ligne 496 en direction Aller en pointe du matin.....	77
Figure 5-1: Nombre de répondants en fonction de leur âge.....	81
Figure 5-2: Occupation principale des répondants.....	81
Figure 5-3: Distribution des répondants selon la fourchette de revenus des ménages.....	82
Figure 5-4: Lieux de domicile des répondants.....	83
Figure 5-5: Principaux lieux de destination des répondants.....	84
Figure 5-6: Rapport entre le choix et le nombre de possibilités en fonction du véhicule.....	87
Figure 5-7: Rapport entre le choix et le nombre de possibilités en fonction de la position.....	88
Figure 5-8: Rapport entre le choix et le nombre de possibilités en fonction de la densité.....	89
Figure 5-9: Rapport entre le choix et le nombre de possibilités en fonction du temps de parcours.....	90
Figure 5-10: Rapport entre le choix et le nombre de possibilités en fonction du type de temps de parcours.....	91
Figure 6-1: Variation du temps de parcours en fonction de la densité et de la position.....	96
Figure 6-2: Variation du temps de parcours en fonction de la densité et de la position.....	99

## LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ARTM	Autorité régionale de transport métropolitain
CAP	Carte à puce
CDPQ	Caisse de dépôt et de placements du Québec
CL1	Densité de 1 personne debout par mètre carré
CL4	Densité de 4 personnes debout par mètre carré
CL8	Densité de 8 personnes debout par mètre carré
CMM	Communauté métropolitaine de Montréal
Exo	Réseau de transport métropolitain
GRM	Grande région de Montréal
GTFS	General Transit Feed Specification
OD	Origine-Destination
REM	Réseau express métropolitain
RPP	Ratio de personnes par place
RPS	Ratio de personnes par siège
RTL	Réseau de transport de Longueuil
STL	Société de transport de Laval
STM	Société de transport de Montréal
VTP	Valeur du temps de parcours

## LISTE DES ANNEXES

Annexe A Utilité de chaque alternative .....	116
--	-----

## CHAPITRE 1 INTRODUCTION

Depuis quelques années, les sociétés de transport collectif ont un intérêt grandissant de prendre en compte l'expérience client dans leur offre de service de transport. En effet, le client est mis au centre des préoccupations de l'opérateur, permettant de lui offrir une expérience efficace et conviviale qui fidélisera le client à utiliser le service plus souvent. Les principaux paramètres considérés pour améliorer l'expérience du client sont la facilité d'avoir accès à l'information, la fiabilité du réseau, l'affichage de l'information à la clientèle dans les véhicules et l'ajout de service sur certaines lignes achalandées (Société de Transport de Montréal, 2017). Ces actions permettent d'améliorer la perception du client sur son expérience générale et ainsi renforcer sa fidélité. D'autres paramètres peuvent aussi être pris en considération, tels que le confort à bord. Le confort est un élément très subjectif en fonction des personnes, faisant qu'il est difficile de fournir un niveau de confort qui saura plaire à tous les usagers. Plusieurs paramètres peuvent avoir un impact sur la perception du confort, tels que l'ergonomie des sièges, le niveau d'entassement à bord ou la douceur de roulement. Ce faisant, la prise en compte du confort dans le processus d'expérience client permet d'outiller les opérateurs à offrir une qualité de service et une diversité d'alternatives répondant mieux aux besoins des clients.

### 1.1 Contexte et problématique

Afin d'avoir le client au centre des préoccupations de l'opérateur, il est important de prendre en compte l'ensemble des paramètres pouvant avoir un impact sur le choix de prendre le transport collectif. Dans le cas du confort, il pourrait s'agir de déterminer le taux de charge sur l'ensemble des lignes et de proposer un calculateur d'itinéraire prenant en compte ce paramètre. Les calculateurs d'itinéraire actuels optimisent généralement le temps de parcours ou le nombre de correspondance, mais ne prennent pas en compte la charge à bord. S'il était possible d'appliquer une pénalité sur le temps de parcours en fonction de la charge à bord d'une ligne, il serait possible de proposer des itinéraires moins achalandés pour les personnes qui désirent un plus grand confort.

Dans un même ordre d'idée, les modèles d'affectation dans la procédure séquentielle classique considèrent souvent la capacité d'une ligne de transport collectif comme étant illimitée. Cela peut mener à une surreprésentation du nombre de personnes sur une ligne, alors qu'en réalité le nombre de personnes à bord est inférieur. Ainsi, à la suite de cette affectation, il n'est pas possible de

connaître le parcours réel des personnes qui ne peuvent prendre le lien, faute de place. De plus, les modèles actuels ne permettent pas de prendre en compte le temps d'attente supplémentaire associé au passage d'un véhicule plein, obligeant l'utilisateur à attendre le véhicule suivant. Pour ces raisons, il devient important d'étudier des moyens de raffiner ces modèles afin de mieux comprendre le choix de trajet d'une personne. Plusieurs paramètres peuvent être pris en compte dans le choix d'un itinéraire, tel que le temps de parcours, le nombre de correspondances, la pénibilité de faire une correspondance, le type de véhicule emprunté et l'accès à une place assise par exemple. L'accès à une place assise, ou à un certain niveau de confort, peut avoir un impact dans le choix d'un itinéraire par les individus. En effet, certaines personnes seront prêtes à faire des déplacements qui durent plus longtemps pour avoir un meilleur confort, mais il n'est pas possible actuellement de déterminer le temps supplémentaire que les gens sont prêts à mettre pour accéder à un meilleur niveau de confort.

Le confort correspond à un état de bien-être par rapport à l'environnement immédiat (iResearchNet, 2019). Les situations d'entassement, les mauvaises odeurs et les températures élevées à bord des véhicules peuvent contribuer à augmenter la pénibilité du déplacement. Pour ces raisons, il semble important d'étudier l'impact du confort sur le choix du trajet d'un usager.

## **1.2 La Communauté métropolitaine de Montréal**

La Communauté métropolitaine de Montréal (CMM) est la plus importante agglomération au sein de la Province de Québec. Elle compte quatre millions d'habitants vivant sur un territoire de 4360 kilomètres carrés. Il est possible de voir la délimitation de son territoire à la Figure 1-1.

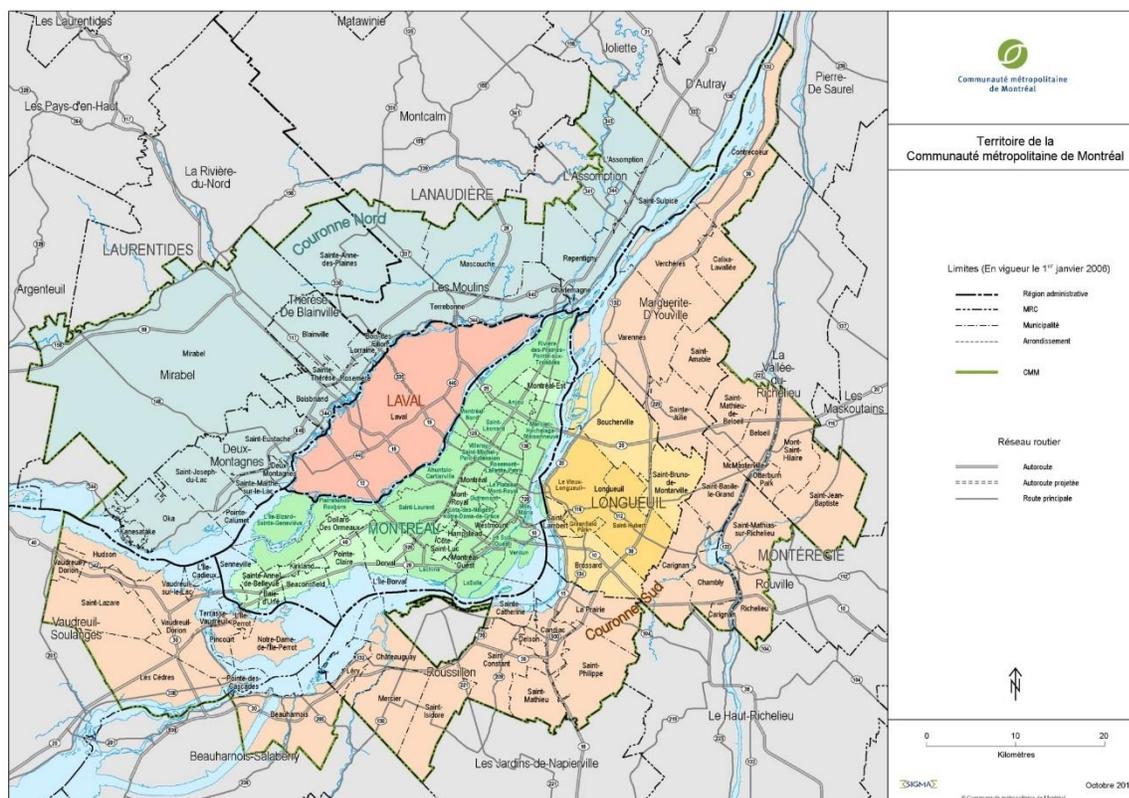


Figure 1-1: Ensemble du territoire de la CMM (Communauté métropolitaine de Montréal, 2019)

La CMM a la particularité d'être segmentée en plusieurs grandes îles qui sont reliées entre elles à l'aide de ponts routiers, de lignes de métro et de lignes de chemin de fer. La région se décompose en cinq grandes régions, soit l'agglomération de Montréal, qui comprend la ville de Montréal et ses 19 villes liées, l'agglomération de Laval, comprenant seulement la ville de Laval, l'agglomération de Longueuil, comprenant la ville de Longueuil, Brossard, Boucherville, Saint-Bruno-de-Montarville et Saint-Lambert, la couronne nord qui comprend l'ensemble des villes au nord de la Rivière des Mille-Îles jusqu'à la frontière de la CMM et la couronne sud qui comprend l'ensemble des villes au sud du Fleuve Saint-Laurent à l'exception de l'agglomération de Longueuil. Le développement a d'abord été concentré dans les quartiers centraux de l'Île de Montréal, soit à proximité du fleuve Saint-Laurent, là où se trouve l'actuel arrondissement de Ville-Marie. Le développement immobilier s'est accéléré à l'extérieur de l'Île à la suite de la démocratisation de l'automobile et par la construction d'axes autoroutiers. Aujourd'hui, les municipalités de la CMM sont aux prises avec des problèmes de congestion qui amènent des conséquences économiques et environnementales non négligeables.

Environ 25% de la population se déplace en transport collectif en période de pointe du matin, selon les dernières données disponibles en 2013. Avec la croissance démographique, un plus grand nombre de personnes utilisent à chaque année les transports collectifs. De plus, l'augmentation de la congestion incite les municipalités à bonifier les alternatives à l'auto solo afin d'encourager le transfert modal vers d'autres modes.

### **1.3 Objectifs du projet de recherche**

Le but de ce mémoire de maîtrise est de présenter les travaux menés sur le confort à bord des véhicules de transport collectif. Le premier objectif de ce mémoire est de développer une méthode de diagnostic du confort sur un réseau de transport collectif par le calcul d'indicateurs pertinents. Par la suite, le deuxième objectif consiste à déterminer une méthode pour prendre en compte le confort dans l'équation du coût généralisé d'un déplacement. Cet objectif se décline en deux sous-objectifs. Tout d'abord, le premier sous-objectif consiste à développer une méthode pour enquêter les usagers sur leurs préférences de confort. Ensuite, le deuxième sous-objectif consiste à développer des incréments du temps de parcours pour obtenir la pénibilité associée à un voyage moins confortable.

### **1.4 Organisation générale du mémoire**

Afin de présenter l'ensemble des éléments composant ce mémoire, celui-ci est divisé comme suit. Tout d'abord, le Chapitre 2 présente une revue de littérature des modèles d'affectation existants et l'étude du critère de confort. Le Chapitre 3 présente l'ensemble des méthodologies nécessaires pour faire le diagnostic du confort sur le réseau ainsi que le développement d'une enquête sur le confort. Le Chapitre 4 présente les résultats en lien avec le diagnostic du confort à bord des autobus et du métro de la STM. Le Chapitre 5 présente les résultats qualitatifs issus de l'enquête sur le confort. Le Chapitre 6 propose une méthodologie de calcul des incréments du temps de parcours. Finalement, le Chapitre 7 présente la conclusion et certaines perspectives de recherche futures.

## CHAPITRE 2 REVUE DE LA LITTÉRATURE

Ce chapitre présente une revue de littérature des principaux thèmes touchant la planification des transports en prenant en compte le critère de confort. Cette revue se divise en trois grandes catégories, soit la modélisation des transports, les sources de confort et les méthodes de mesure du confort.

### 2.1 Procédure séquentielle classique

Selon McNally (2008), la procédure séquentielle classique consiste à modéliser les déplacements issus d'une base de données origine-destination. Il s'agit de l'outil principal pour modéliser la demande future et pour mesurer la performance d'un réseau de transport. Le modèle consiste en quatre étapes, la génération et la distribution des déplacements, le choix modal et l'affectation sur le réseau. Il est considéré que la génération des déplacements ne change pas lors de l'exercice de modélisation. La distribution, le choix modal et l'affectation vont être calculés par itération afin d'obtenir un équilibre. Cet équilibre est obtenu à partir de la calibration du modèle. Le modèle est calibré à l'aide d'une enquête Origine-Destination qui se fait auprès des ménages de la zone d'enquête.

#### 2.1.1 Génération

La première étape consiste à générer les déplacements. Cela veut dire de déterminer le nombre de déplacements produits et attirés pour chaque secteur à l'étude. Les variables prises en compte sont le nombre de ménages dans la zone, le nombre d'emplois dans la zone et le nombre de déplacements de type autre pouvant se faire dans la zone.

#### 2.1.2 Distribution

La deuxième étape à combiner l'ensemble des origines et destinations ensemble afin de créer des déplacements. Cette étape permet de créer la matrice de déplacements contenant le nombre de déplacements d'une zone à une autre. Le nombre de déplacements entre chaque zone est déterminé à l'aide d'un modèle gravitaire.

### **2.1.3 Choix modal**

Le choix du mode consiste à déterminer la probabilité qu'un déplacement se fasse avec un mode donné. Généralement, le choix du mode est déterminé selon une approche désagrégée, qui consiste à déterminer la probabilité qu'un mode particulier soit choisi pour chaque déplacement observé. Généralement, le modèle logistique imbriqué est la méthode d'estimation la plus fréquemment utilisée.

### **2.1.4 Affectation des déplacements**

Les modèles d'affectation permettent de simuler la demande sur un réseau, que ce soit un réseau routier ou un réseau de transport collectif. Il s'agit d'utiliser les déplacements enquêtés à partir d'une enquête Origine-Destination ou de données passives pour ensuite les affecter sur un réseau. Le réseau peut être codifié selon deux modèles, soit un modèle basé sur la fréquence ou un modèle basé sur l'horaire (Fu, Liu, & Hess, 2012).

#### **2.1.4.1 Affectation par fréquence**

Les modèles d'affectation basés sur la fréquence considèrent les chemins permettant de diminuer au maximum le coût généralisé des déplacements. Généralement, il est considéré que l'utilisateur va prendre les lignes permettant d'avoir le chemin le plus court en termes de temps, incluant le temps d'attente, le temps d'accès et le temps en véhicule. En général, le temps d'attente correspond à la moitié de l'intervalle entre deux véhicules.

#### **2.1.4.2 Affectation basée sur l'horaire**

Dans le cas d'une affectation basée sur l'horaire, le déplacement d'un passager est modélisé à partir de l'offre planifiée. Cela veut dire qu'à partir de l'heure de départ d'un individu, il est possible de déterminer l'ensemble des lignes empruntées et de connaître le temps d'attente planifié à chaque arrêt. En effet, l'affectation par fréquence se base sur un temps d'attente correspondant à la moitié de l'intervalle entre deux véhicules. Cela veut dire que le temps d'attente réel n'est pas considéré. En utilisant l'affectation basée sur l'horaire, il est possible de déterminer le temps d'attente planifié, par exemple lors d'une correspondance entre deux lignes.

### 2.1.4.3 Coût généralisé

Le coût généralisé est représenté par une équation permettant d'évaluer le coût d'un déplacement en fonction de certains paramètres. Pour le coût, il peut s'agir soit d'une valeur monétaire ou d'une valeur en temps. On suppose que l'utilisateur choisit l'alternative offrant le moindre coût généralisé pour compléter son déplacement. Dans le cas des réseaux de transport en commun, les paramètres pris en considération sont généralement le temps d'accès, le temps d'attente, le temps en véhicule et les pénalités de correspondance (Ministère des transports, de la mobilité durable et de l'électrification des transports, 2018). L'équation du coût généralisé se résume à l'Équation 2-1.

Équation 2-1: Équation du coût d'un déplacement

$$T_{\text{généralisé}} = \alpha T_{\text{accès}} + \beta T_{\text{attente}} + T_{\text{véhicule}} + \text{Pénalités intermodales}$$

Les coefficients  $\alpha$  et  $\beta$  sont généralement calibrés en fonction d'une base de données de déplacements, telle que celle provenant d'une Enquête Origine-Destination (EOD). Les pénalités intermodales ont pour but de prendre en compte les différents tarifs de transport ainsi que le mode de transport.

Afin d'améliorer la précision de la fonction de coût, il devient pertinent de raffiner certains paramètres en incluant la notion de temps perçu. Pour ce faire, des enquêtes à bord sont menées auprès d'utilisateurs. Ceux-ci sont invités à indiquer le temps qu'ils pensent avoir passé à faire une activité alors qu'un enquêteur chronomètre le temps réel. Le temps perçu moyen pour une activité est généralement obtenu par régression linéaire. Ce temps perçu est par la suite intégré dans l'équation du coût généralisé du déplacement (Transport Research Board, 2013). Plusieurs paramètres peuvent influencer le coût d'un déplacement, tels que le temps d'attente, le niveau d'entassement, la présence de services aux arrêts tels qu'un banc, un abribus ou de l'éclairage, la durée du déplacement, le motif de déplacement et le mode.

## 2.2 Calcul de chemin

Les calculateurs de chemin permettent de déterminer une série d'itinéraires plausibles qu'une personne pourrait choisir pour se déplacer entre ses lieux d'origine et de destination. Généralement, il est déterminé que l'utilisateur tente de prendre le chemin qui minimise le coût généralisé de son déplacement (Fu, Liu, & Hess, 2012). Cependant, trouver le chemin optimal pour un utilisateur peut prendre en compte plusieurs paramètres, tels que la minimisation du temps de marche, la

minimisation du nombre de correspondances et autres (Tan, Tong, Wong, & Xu, 2007). L'étude de Tan et al (2007) propose d'utiliser un algorithme récursif pour déterminer un itinéraire. La méthode consiste à segmenter l'ensemble du réseau étudié en une série de nœuds. Les nœuds sont par la suite reliés de façon séquentielle, permettant de créer un tronçon. Un coût est appliqué pour chaque tronçon. L'algorithme utilise l'affectation basée sur l'horaire afin de générer un itinéraire. Par la suite, l'utilisateur entre un point d'origine, un point de destination et une heure de départ. Finalement, l'algorithme tente de trouver l'ensemble des chemins possibles entre l'origine et la destination en considérant l'ensemble des nœuds disponibles et en tentant d'avoir le trajet ayant le coût de transport le plus faible.

### **2.3 Notion de temps perçu et sources d'inconfort**

Dans une perspective d'expérience client, il est important d'offrir une bonne qualité de service afin de fidéliser le client à utiliser les transports collectifs. La proximité des infrastructures de transport par rapport à l'origine et la destination, la présence d'infrastructures pédestres pour se rendre au réseau, les heures de service, le temps d'attente, la ponctualité du service, le temps de parcours, le nombre de correspondances à faire et le temps associé à celles-ci, l'information sur l'état du réseau, la sécurité aux arrêts et dans les véhicules ainsi que le niveau de confort aux arrêts et dans les véhicules sont quelques-uns des multiples attributs pouvant influencer le choix, par un utilisateur, de prendre les transports en commun (Bose & Pandit, 2018). Le confort à bord d'un véhicule est un critère important. En effet, l'entassement à bord mène à une anxiété en lien avec la claustrophobie, une peur de se faire voler, une fatigue de l'individu et à des pertes de productivité au travail (Sahu, Sharma, & Guharoy, 2018). Ainsi, pour améliorer l'expérience client, il est pertinent d'évaluer le confort d'un déplacement en transport en commun. En parcourant la littérature, il est possible de remarquer qu'une des limitations des modèles de planification des transports actuels est de ne pas prendre en compte la capacité du système, faisant que les temps d'attente excédentaires à cause d'un refus d'embarquement ne sont pas pris en compte (Cats, West, & Eliasson, 2016). En prenant en compte la notion de capacité, il est possible de déterminer les points de saturation sur un réseau, de modéliser le choix d'itinéraire en prenant en compte la capacité d'un lien et de contribuer à mieux mesurer les retombées d'un projet de transport collectif sur l'augmentation de la capacité du réseau.

### 2.3.1 Le temps perçu

Le temps perçu correspond au temps qu'une personne perçoit passer pour la réalisation d'une activité d'une durée donnée. En fonction de la pénibilité de cette activité, le temps perçu peut être plus ou moins élevé par rapport au temps réel. Dans les transports collectifs, certaines activités telles que le temps de marche, le temps en véhicule et le temps d'attente peuvent être perçues différemment en fonction de la clientèle.

Pour mesurer le temps perçu, une étude réalisée par Meng, Rau, & Maharkhika (2018) propose de suivre un usager pendant son déplacement, de chronométrer son temps passé à accomplir une séquence d'activités et de lui demander à la fin de chaque séquence d'activités le temps qu'il a perçu. Un exemple serait de demander à une personne le temps pendant lequel il pense avoir attendu avant qu'un véhicule n'arrive. Les données prises en considération sont la température extérieure, le motif de déplacement, l'âge, le genre, l'occupation de la personne, le moyen de transport emprunté et l'accès à des infrastructures telles qu'un abribus à l'arrêt, à des trottoirs pour marcher ou à un ascenseur. Par la suite, les données sont segmentées en différentes catégories, soit le temps de parcours, le temps d'attente et le temps de marche. Ces données sont par la suite analysées à l'aide d'une régression linéaire. Les principales conclusions tirées sont que les usagers perçoivent un temps plus élevé que le temps réel et ce, peu importe l'activité. Au niveau du temps de marche, la distance à parcourir, la température extérieure, l'occupation de la personne, le motif de déplacement et la présence d'un ascenseur ou d'un abri couvert vont influencer le temps perçu par les usagers. Au niveau du temps d'attente, l'âge de la personne et la présence d'un panneau informant l'arrivée du prochain véhicule vont influencer la perception du temps d'attente. Malgré la pertinence de réaliser cette étude, l'inconvénient est qu'il faut avoir un enquêteur présent pendant toute la durée du déplacement de la personne sondée. De plus, il a été remarqué que les résultats de cette étude étaient plus bas que ceux d'autres études semblables. Cela peut être dû au fait que l'enquêteur questionnait la personne à la fin de chaque activité, faisant qu'elle était plus sensible au temps réel et non à son temps perçu.

De façon complémentaire, une étude réalisée par Mishalani, McCord, & Wirtz (2006) étudiait le temps perçu à un arrêt de bus et estimait la réduction du temps perçu après l'installation d'un écran donnant l'heure du prochain passage. Les enquêteurs étaient placés à des arrêts stratégiques qui étaient sélectionnés en fonction du faible nombre de lignes passant à l'arrêt, de l'intervalle de

service plus élevé, de la possibilité d'avoir un taux d'arrivée aléatoire grâce à un service basé sur la fréquence et non sur l'horaire et du nombre élevé d'embarquements à l'arrêt. Au moment où les passagers arrivaient à l'arrêt enquêté, l'enquêteur notait leur heure d'arrivée. Une minute avant que le bus ne passe, l'enquêteur passait l'entrevue à des répondants sélectionnés en fonction de leur ordre d'arrivée à l'arrêt. Les données prises en compte étaient la température extérieure, l'arrêt d'enquête, l'heure d'arrivée à l'arrêt, l'heure à laquelle a eu lieu l'entrevue, le genre, l'ethnie, le temps d'attente perçu de la personne et si la personne portait une montre. D'autres informations telles que la destination, le temps d'attente maximal toléré, le temps de marche approximatif à la destination, la présence d'une contrainte de temps, la familiarité de la personne avec le réseau et son taux de possession automobile pouvaient aussi être demandées. Pour l'analyse des données, une régression par moindres carrés ordinaire est utilisée. La réduction du temps perçu avec l'installation d'un panneau d'information en temps réel était comparée avec le temps perçu avant l'installation d'un panneau d'information en temps réel à l'aide d'un test d'hypothèse. Les principales conclusions pouvant être tirées de cette enquête sont qu'en moyenne, les gens perçoivent 0,84 minutes de plus pour chaque minute réelle. Ensuite, comme les gens perçoivent le temps plus long qu'il ne l'est en réalité, l'installation de panneaux d'information voyageur permettrait de réduire ce temps perçu. Bien que l'étude présente un lien entre le temps d'attente perçu et réel, elle ne permet pas de prendre en compte d'autres paramètres qui pourraient avoir un impact sur le temps perçu. En effet, le temps d'enquête limite grandement le nombre de questions pouvant être posées au répondant. De plus, l'étude ne permet pas de mesurer l'impact de certains irritants, comme le fait d'être pressé, sur le temps perçu.

## **2.3.2 Irritants d'une charge à bord élevée**

Certains irritants peuvent contribuer à réduire le sentiment de bien-être dans les transports collectifs lorsque la charge à bord devient trop élevée. Parmi ceux-ci, il est possible de retrouver des irritants touchant les voyageurs, tels que l'anxiété et le stress, ainsi que des irritants pour les opérateurs, tels qu'une augmentation du temps d'embarquement et des retards sur le réseau.

### **2.3.2.1 Anxiété et stress**

Dans la revue de littérature de Cox, Houdmont, & Griffiths (2006), une nuance est faite entre le sentiment d'entassement et la densité de personnes à bord. Une forte densité de personnes ne mène

pas nécessairement à un sentiment d'entassement pouvant avoir des impacts néfastes sur la perception des voyageurs. Tout d'abord, le manque de contrôle qu'une personne peut avoir sur une situation peut avoir un effet sur le niveau de stress. Par exemple, les personnes embarquant aux premiers arrêts n'ont pas à se soucier de trouver une place assise contrairement aux personnes qui embarquent aux arrêts intermédiaires lorsque la charge à bord approche de la capacité. Ensuite, l'arrivée d'événements imprévisibles peut augmenter ce sentiment de stress. En effet, les voyageurs tentent d'avoir les trajets les plus prévisibles possibles. Dans ce contexte, des temps de parcours imprévisibles peuvent décourager des personnes à prendre le transport collectif. De plus, le sentiment de stress à la suite d'un événement imprévisible peut être plus élevé lorsqu'une personne a des temps de déplacements plus longs.

Dans les travaux de Mohd Mahudin, Cox, & Griffiths (2011), le but a été de mesurer les composantes psychologiques associées aux situations inconfortables à bord des transports collectifs. Pour ce faire, trois hypothèses ont été posées. Tout d'abord, les réactions affectives des répondants seraient déterminées par l'évaluation des aspects psychosociaux de la situation d'entassement. Ensuite, le sentiment de stress ou de fatigue serait évalué par les réactions affectives. Finalement, les sautes d'humeur induites par les situations inconfortables se manifesteraient dans le cadre du travail et à l'extérieur du travail. Les données sont obtenues à partir de questionnaires remplis par les clients réguliers de lignes de train. L'entassement des usagers était mesuré grâce à une échelle de 20 points, sur les trois thèmes suivants : l'évaluation de l'aspect psychosocial de la situation d'entassement, de l'environnement immédiat et de l'expérience affective de l'entassement. La densité de personnes était mesurée à partir de quatre pictogrammes représentant quatre situations d'entassement différentes et le répondant devait estimer la situation dans laquelle il était pendant son déplacement. Le stress et le sentiment de fatigue étaient mesurés à partir du questionnaire de bien-être général. Les sautes d'humeur au travail étaient mesurées en prenant en compte le niveau de satisfaction au travail, le niveau d'intention de quitter son emploi, le taux d'absentéisme à cause du transport et le retard moyen au travail à cause du transport. Finalement, les sautes d'humeur individuelles étaient évaluées en utilisant l'échelle de satisfaction générale de la vie. Les données collectées ont été soumises à des tests d'analyse de la trajectoire pour valider les hypothèses. Les conclusions tirées sont qu'en évaluant l'environnement immédiat et la densité de personnes à bord, il est possible de prédire significativement la réaction affective à l'entassement. De plus, la réaction affective du répondant

face à l'entassement permet d'estimer son niveau de stress et son sentiment de fatigue. Finalement, le stress du passager a un lien sur son taux de retard au travail et certains symptômes induits par le stress et peut affecter négativement son taux de satisfaction au travail.

### **2.3.2.2 Augmentation des temps d'embarquement**

Le temps d'embarquement à l'arrêt correspond au temps qui s'écoule entre l'ouverture des portes du véhicule, l'embarquement et le débarquement des passagers et la fermeture des portes (Transport Research Board, 2013). Ce temps peut dépendre de plusieurs facteurs tels que la méthode de paiement, le type et la grandeur du véhicule, la distance inter-arrêt, le débit de circulation et le volume d'embarquements et de débarquements à chaque arrêt.

En moyenne, il a été calculé que le temps d'embarquement à un arrêt équivalait à 3,01 secondes pour l'embarquement d'un passager, à 1,23 secondes pour le débarquement d'un passager avec un temps d'ouverture et de fermeture des portes de 7,35 secondes pour un autobus articulé. Dans le cas d'un bus régulier, le temps d'embarquement d'un passager est évalué à environ 3,72 secondes, le temps de débarquement d'un passager est évalué à 2,11 secondes et le temps d'ouverture et de fermeture des portes est évalué à 4,89 secondes. Les données ont été analysées à l'aide d'une régression linéaire. Les données ont été obtenues à partir de compteurs infrarouges placés aux portes des véhicules jumelées au temps d'arrêt du véhicule à l'arrêt, qui calculait le temps écoulé entre l'ouverture et la fermeture de la porte (Zorn, Sall, & Wu, 2012).

Lorsque la charge à bord approche de la capacité du véhicule, il est possible d'observer des temps d'embarquement à l'arrêt plus élevés à cause de la circulation difficile à bord. De plus, une forte demande à chaque arrêt implique des temps d'arrêt plus élevés à chaque arrêt pour procéder à l'embarquement et au débarquement des passagers, ce qui peut retarder le trajet par rapport à son horaire planifié.

### **2.3.2.3 Profil de conduite du chauffeur**

Le profil de conduite du chauffeur peut aussi avoir un effet sur le sentiment de confort d'un usager à bord des transports collectifs. Des virages serrés ou de fortes décélérations peuvent avoir un effet sur le sentiment de confort à bord, surtout lorsque les personnes voyagent debout. Chin, Pang, & Wang (2019) ont tenté de mesurer le confort à bord d'un bus en utilisant les différents capteurs disponibles sur un téléphone intelligent. Pour ce faire, un téléphone intelligent a été placé sur une

surface plane d'un autobus et a été fixé pour limiter ses mouvements. Les données acquises étaient l'accélération, la stabilité gyroscopique, l'inclinaison et la position. Ensuite, les usagers à bord du bus enquêté étaient invités à remplir, sur une tablette numérique, le niveau d'inconfort perçu à toutes les cinq secondes. Le niveau d'inconfort était prédéterminé sur une échelle de trois gradations. Pour l'analyse des données, un arbre de régression a été utilisé. À la suite de l'analyse des résultats, l'étude a permis de montrer que les changements de direction, les changements d'élévation et les virages soudains pouvaient influencer la perception du confort à bord des véhicules.

## **2.4 Enquête sur le confort à bord**

Le niveau de confort est un état subjectif variant entre les individus. Obtenir les préférences des usagers du transport collectif implique de faire des enquêtes de préférences. Il y a deux types, les enquêtes de préférences déclarées et les enquêtes de préférences révélées.

### **2.4.1 Enquête de préférences déclarées**

Les enquêtes de préférences déclarées ont pour but de déterminer la préférence d'un usager sur une série de scénarios donnés. Ceci implique de le questionner sur différentes alternatives et de lui demander celle qu'il préfère le plus. Ces enquêtes sont pratiques courantes dans l'étude du confort, car elles permettent de comparer des scénarios hypothétiques et il n'est pas nécessaire de connaître les habitudes du répondant pour poser des questions. Dans la section suivante, les travaux de Li, Gao, & Tu (2017), de Basu & Hunt (2012), de Björklund & Swärdh (2017), de Douglas & Karpouzis (2016), de Whelan & Crockett (2009) et de Haywood & Koning (2015) sont présentés. De plus, une synthèse des différentes méthodes est présentée à la fin de ce chapitre.

Les variables généralement utilisées sont le temps de parcours, le niveau d'entassement dans le véhicule et la position du répondant, s'il est assis ou debout.

Dans l'étude de Li, Gao, & Tu (2017), l'étude du confort est conduite en fonction du mode. Le répondant est enquêté sur quatre choix de modes, soit l'automobile, le métro, le park&ride et l'autobus. Dans le cas de la voiture, les variables prises en compte sont le coût du déplacement, le temps de parcours ainsi que sa variabilité. Dans le cas des trois autres modes, les variables prises en compte sont le temps de parcours, sa variabilité, le coût du déplacement et le niveau

d'entassement dans le véhicule. Chaque variable a trois à quatre niveaux. Pour caractériser le niveau d'entassement, celui-ci a trois niveaux, soit un véhicule où il y a des places assises encore disponibles, un véhicule n'ayant plus de places assises, mais ayant des places debout libres et un véhicule plein où toutes les places assises et debout sont occupées. À partir de ces variables, 18 scénarios ont été générés et une méthode par blocs a été utilisée pour présenter six scénarios à chaque répondant. Les enquêtes ont été faites en personne où l'enquêteur expliquait au répondant l'enquête. Les répondants étaient principalement sollicités dans les stations de métro pendant les périodes de pointe. Pour l'analyse des données, une fonction d'utilité est définie, qui considère l'entassement comme une variable discrète. Le modèle prend en compte le temps de parcours, la fiabilité, le coût et l'entassement. Les coefficients de la fonction d'utilité sont estimés à l'aide d'un modèle logistique mixte et à l'aide d'un modèle logistique multinomial. À partir des coefficients calculés, il est possible de calculer la valeur du temps de transport sauvé (VTTS) pour chaque alternative. Finalement, à partir du VTTS, des multiplicateurs de temps sont déterminés en fonction du véhicule et du niveau d'entassement. Les valeurs trouvées varient entre 1,41 et 2,00. Les facteurs multiplicatifs augmentent lorsque la charge à bord augmente et que la personne est debout. Les facteurs multiplicatifs sont plus élevés pour le bus que pour le métro ou le park&ride. À titre d'exemple, le facteur est de 1,41 lorsque l'utilisateur est en métro debout dans une situation sans entassement alors que le facteur est de 1,94 pour un usager dans un bus debout dans une situation sans entassement.

Dans l'étude de Basu & Hunt (2012), l'étude du confort se fait sur le train uniquement. Les variables prises en compte sont le temps de parcours en véhicule, l'intervalle entre les véhicules, le coût du déplacement et le niveau d'entassement dans le véhicule. Pour l'entassement dans le véhicule, celui-ci est divisé en cinq niveaux différents, soit très faible, faible, modéré, élevé et très élevé. Le niveau très faible implique que personne n'est debout et que quelques places assises sont encore disponibles. Le niveau très élevé est lorsque l'entassement est de 12 personnes par mètre carré. Il y a cinq niveaux pour le prix, soit 5, 8, 10, 14 et 20 Rupee, soit l'équivalent de 9, 14, 18, 25 et 36 sous canadien. Pour l'intervalle entre deux véhicules, il y a cinq niveaux, soit 3, 5, 10, 15 et 30 minutes. Le temps de parcours en train est composé de 5 niveaux, soit 25, 30, 40, 45 et 60 minutes. Avec l'ensemble des variables prises en compte, il faudrait tester plus de 625 scénarios. Cependant, vu qu'il est difficile de tester l'ensemble des scénarios auprès des répondants, il a été décidé de préparer 150 scénarios seulement et de les distribuer également aux enquêteurs. Les

enquêtes ont été faites en personne en interceptant les usagers entrant ou sortant d'une station de train. L'enquêteur présentait une série de 4 scénarios et le répondant devait les classer en fonction de son ordre de préférence. Le répondant pouvait participer à l'enquête jusqu'à 4 fois et, à chaque fois, l'enquêteur lui proposait des scénarios différents à classer. Lors de l'analyse des données, deux modèles sont utilisés, soit un modèle logistique multinomial et un modèle logistique mixte. Pour chaque modèle, un montant prêt à payer est calculé afin d'éviter des situations d'entassement. À partir du modèle développé, il est possible de calculer un coût supplémentaire que l'utilisateur est prêt à payer pour une réduction de l'entassement à bord du train. Le coût supplémentaire varie entre 0.35 et 0.79 Rupee par passage, soit l'équivalent d'entre 0,006 et 0,014\$ CAD. Ce montant est plus petit lorsque l'entassement à bord est faible et augmente lorsque l'entassement augmente. Cela vient montrer que l'augmentation de l'entassement augmente la pénibilité du déplacement, faisant qu'un usager est prêt à payer davantage pour éviter cette situation.

Dans l'étude de Björklund & Swärdh (2017), l'étude du confort se fait en fonction du véhicule, soit l'autobus, le métro, le tramway et le train. En fonction du mode utilisé, l'enquête se fait en le prenant en considération. Par la suite, l'enquête présente huit scénarios ayant chacun deux alternatives. Chaque scénario est présenté individuellement et le répondant doit choisir l'alternative qu'il préfère. Les variables prises en compte dans l'étude sont le tarif, le temps de parcours, la position assise ou debout et le niveau d'entassement. Dans le cas de l'entassement, quatre niveaux ont été déterminés, soit aucune personne debout, une personne debout par mètre carré, quatre personnes debout par mètre carré et huit personnes debout par mètre carré. Dans le cas du tarif et du temps de parcours, trois niveaux sont déterminés. Les répondants ont été approchés à des arrêts de bus, de métro, de tramway et de train. Les répondants étaient invités à remplir un questionnaire disponible en ligne. Pour l'analyse de données, un modèle logit mixte est utilisé et la valeur de temps de parcours sauvé est calculée. En considérant que le temps perçu et le temps en véhicule réel est le même lorsque l'utilisateur est assis et qu'il n'y a pas de personnes debout dans le véhicule, il est possible d'utiliser la valeur de temps de parcours sauvé calculée pour chaque position et entassement et déterminer les multiplicateurs du temps de parcours pour obtenir le temps perçu. Les valeurs trouvées varient entre 1,00 et 2,94. La valeur 1,00 correspond au moment où la densité de personnes debout est nulle et que la personne est assise. La valeur 2,94 correspond au moment où la densité de personnes debout est au maximum et la personne est debout.

Dans l'étude de Douglas & Karpouzis (2016), l'étude du confort ne se fait pas en véhicule, mais en station de train ou de métro. Le but est de déterminer la perception du temps d'accès à une station en prenant en compte la densité de personnes autour. Les paramètres pris en compte sont le temps d'accès à l'entrée de la station, le temps d'accès au quai de la station et le temps d'attente sur le quai. À chaque partie de l'accès à la station, un niveau d'entassement faible, moyen ou élevé est appliqué et un temps d'accès est donné à chaque partie de l'accès. 18 scénarios différents ont été développés et neuf étaient présentés aux répondants. Les répondants étaient ciblés dans les véhicules et remplissaient le questionnaire sur place. Pour l'analyse de données, le but était de déterminer l'importance relative que les répondants accordaient à chaque section de la station en prenant en compte la densité de personnes. Pour ce faire, une équation d'utilité a été développée en prenant en compte le temps d'entrée dans la station, le temps d'accès au quai, le temps d'attente au quai, la densité de personnes à l'entrée de la station, la densité de personnes à l'accès au quai et la densité de personnes au quai. Un modèle logistique simple est ensuite utilisé pour déterminer les coefficients de chaque variable. En somme, il a été remarqué que les usagers trouvaient le temps plus long lorsqu'ils sont sur le quai que lorsqu'ils se déplacent. De plus, il a été remarqué que les usagers percevaient le temps plus long lors de l'attente au quai avec une faible densité de personnes que lorsque la densité de personnes sur le quai était moyenne. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les usagers se sentent davantage en sécurité lorsque plusieurs personnes sont présentes sur le quai.

Dans l'enquête de Whelan & Crockett (2009), les paramètres pris en compte sont le temps de parcours, le tarif, la position assise ou debout du répondant et le taux d'entassement. Encore une fois, il s'agit de comparer deux alternatives entre elles. Cependant, au lieu de choisir entre une ou l'autre des alternatives, une gradation en quatre temps de la préférence est proposée pour le choix entre les deux alternatives. Les quatre gradations étaient de préférer fortement la première alternative, de préférer la première alternative, de préférer la deuxième alternative et de préférer fortement la deuxième alternative. Au niveau de l'entassement, 16 niveaux différents ont été déterminés, afin d'avoir une bonne sensibilité par rapport au niveau de confort dans le véhicule, allant d'un véhicule vide jusqu'à un véhicule plein. De plus, le taux d'occupation des places assises est aussi pris en compte, au lieu de toujours considérer que les places sont pleines. Les questionnaires papier ont été distribués dans les trains pendant les déplacements des usagers et les répondants devaient renvoyer le questionnaire rempli par la poste. Au niveau de l'analyse des

données, un modèle logistique binaire et un modèle logistique mixte sont utilisés. L'équation d'utilité générée considère le coût du déplacement ainsi que la densité de personnes à bord en interaction avec le temps de parcours. Les facteurs multiplicatifs sont estimés de deux façons. La première méthode consiste à considérer le taux de remplissage des places assises tandis que la deuxième méthode consiste à considérer la densité de personnes debout par mètre carré. Pour le calcul des facteurs multiplicatifs du temps de parcours, il est supposé que le temps perçu équivaut au temps de parcours réel lorsque la personne est assise et que la densité de personnes debout est nulle. Les valeurs varient entre 1.08 et 2.37 lorsque la première méthode est utilisée. La valeur de 1,08 est applicable lorsque toutes les places assises sont occupées et que la personne est assise. La valeur de 2,37 est applicable lorsqu'il y a deux fois plus de personnes à bord que de sièges disponibles et que la personne voyage debout. Lorsque la deuxième méthode est utilisée, les facteurs multiplicatifs varient entre 1,11 et 2,04. La valeur de 1,11 est applicable lorsqu'il y a une personne debout par mètre carré et que le voyageur est assis. La valeur de 2,04 est applicable lorsque la personne est debout et que la densité de personnes debout est de 6 personnes par mètre carré.

Dans l'enquête de Haywood & Koning (2015), l'étude a été menée dans 11 stations caractéristiques du métro de Paris en face-à-face. Le questionnaire a été fait de façon à être répondu entre le passage de deux trains. Le répondant devait estimer le niveau d'entassement dans le train dans lequel il allait embarquer selon sept cartes qui illustrent l'entassement. Les gradations du niveau d'entassement allaient d'un train vide à un train plein. Ensuite, il était demandé au répondant s'il serait prêt à changer de ligne pour parcourir quelques minutes de plus pour un niveau d'entassement inférieur. Les temps de parcours supplémentaires étaient des incréments de trois minutes pour l'intervalle entre 3 minutes et 18 minutes. Au niveau de l'analyse de données, un modèle probabiliste bivarié est utilisé. Les multiplicateurs de temps de parcours sont obtenus pour avoir le temps perçu et ceux-ci varient entre 1,0 et 1,57. Ces facteurs multiplicatifs du temps de parcours sont fonction de la densité de personnes debout par mètre carré. Lorsque la densité de personnes debout est très faible, le facteur multiplicatif est égal à 1. Le facteur multiplicatif augmente à mesure que la densité de personnes debout augmente jusqu'à 6 personnes par mètre carré.

## 2.4.2 Enquête de préférence révélée

Une enquête de préférence révélée consiste à observer ou mesurer un phénomène directement sur un lieu. Ce type d'enquête consiste à utiliser les comportements réels des personnes enquêtées et non des scénarios hypothétiques. Les données acquises sont généralement des données sur les déplacements des personnes, obtenus à partir d'enquêtes Origine-Destination ou de transactions de carte à puce. Ces données ont l'avantage d'être des observations réelles, comparé aux enquêtes de préférences déclarées, où le scénario fictif préféré peut ne pas être le véritable comportement fait par le répondant.

Dans l'étude de Raveau, Guo, Muñoz, & Wilson (2014), une base de données contenant 17 073 déplacements effectués entre 1998 et 2005 pour la région de Londres et l'enquête Origine-Destination dans les stations de métro de Santiago contenant 28 961 déplacements sont utilisées. À partir des paires origine-destination et des heures de départ déclarées par le répondant, les auteurs peuvent générer d'autres alternatives de transport que celle déclarée par le répondant. Dans l'analyse, le confort est pris en compte selon le taux d'occupation moyen sur le réseau. Le modèle mathématique utilisé est à la fois un modèle logistique multinomial et un modèle logistique conditionnel. Le modèle permet d'obtenir des temps de parcours équivalents au temps en véhicule en minutes. Les attributs mesurés sont le temps de marche, les correspondances, la possibilité d'avoir une place assise et la possibilité de non-embarquement. Les valeurs de temps peuvent aller de 0,12 minutes à 5,35 minutes. Par exemple, une minute de temps d'attente est perçue comme l'équivalent de 1,93 minutes en véhicule. Lorsque le temps de parcours équivalent est inférieur à 1, cela veut dire qu'il s'agit d'un gain d'utilité, et donc une condition favorable à prendre le trajet.

Dans l'étude de Tirachini, Sun, Erath, & Chakirov (2016), les auteurs ont comme but de déterminer la proportion de personnes qui décident de voyager à contresens de leur destination afin de se sécuriser un siège. Pour ce faire, les données de validations par carte à puce du métro de Singapour pour une semaine typique sont utilisées. Vu qu'une validation est demandée à l'entrée et à la sortie du système, il est possible de reconstruire le point d'embarquement et de débarquement dans le réseau à l'étude. À partir de l'origine, de la destination et du temps de parcours entre chaque station, il est possible de déterminer la différence entre le temps de parcours prévu et le temps de parcours réel par un individu. Il est considéré que le temps de parcours prévu ne comprend pas le temps d'attente. Ainsi, la proportion de personnes qui décident de voyager dans le sens contraire de leur

destination pour se réserver un siège sera connue grâce à un temps de parcours plus élevé. En utilisant les données pour estimer la charge sur le réseau et en utilisant un modèle logit multinomial, il est possible de déterminer des facteurs multiplicatifs, qui prennent en compte la charge, le fait d'être assis ou debout et l'heure du déplacement. Les facteurs obtenus varient entre 0,9 et 1,4 et prennent en compte le taux d'occupation des places assises ainsi que l'heure du déplacement. Par exemple, les facteurs multiplicatifs sont plus élevés pour les gens voyageant entre 8h et 9h. Les facteurs multiplicatifs augmentent à mesure que l'entassement augmente.

### **2.4.3 Synthèse des facteurs multiplicatifs du temps de parcours**

Comme il a été possible de remarquer, plusieurs recherches sur le confort ont développé des facteurs multiplicatifs du temps de parcours. Les valeurs des facteurs multiplicatifs en fonction de l'étude sont présentées au Tableau 2-1.

Tableau 2-1: Valeurs des facteurs multiplicatifs du temps de parcours pour les études présentées

Auteurs de l'étude	Méthode d'enquête	Variables considérées	Résultat
Li, Gao, & Tu (2017)	Préférence déclarée	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mode</li> <li>- Temps de parcours</li> <li>- Fiabilité du temps de parcours</li> <li>- Coût du déplacement</li> <li>- Densité de personnes à bord</li> </ul>	<p>Facteur multiplicatif</p> <p>1,41 à 2,00</p> <p>Plus faible lorsque l'entassement est faible et augmente lorsque l'entassement augmente</p>
Basu & Hunt (2012)	Préférence déclarée	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temps de parcours</li> <li>- Intervalle entre les véhicules</li> <li>- Coût du déplacement</li> <li>- Entassement</li> </ul>	<p>Montant supplémentaire prêt à payer</p> <p>0,006 \$CAD à 0,014 \$CAD</p> <p>Plus faible lorsque l'entassement est faible et augmente lorsque l'entassement augmente</p>
Björklund & Swärdh (2017)	Préférence déclarée	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût du déplacement</li> <li>- Temps de parcours</li> <li>- Entassement</li> <li>- Position assise ou debout</li> </ul>	<p>Facteur multiplicatif</p> <p>1,00 à 2,94</p> <p>Plus faible lorsque l'entassement est faible et augmente lorsque l'entassement augmente</p>
Douglas & Karpouzis (2016)	Préférence déclarée	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temps d'accès à la station</li> <li>- Temps d'accès au quai</li> <li>- Temps d'attente au quai</li> <li>- Entassement</li> </ul>	<p>Facteur multiplicatif</p> <p>1,00 à 1,50</p> <p>Plus faible lorsque l'entassement au quai est moyen, plus élevé lorsque l'entassement au quai est faible</p>
Whelan & Crockett (2009)	Préférence déclarée	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temps de parcours</li> <li>- Tarif</li> <li>- Position assise ou debout</li> <li>- Taux d'occupation des places assises</li> </ul>	<p>Facteur multiplicatif</p> <p>1,08 à 2,37</p> <p>Plus faible lorsque l'entassement est faible et augmente lorsque l'entassement augmente</p>

Tableau 2-1 : Valeurs des facteurs multiplicatifs du temps de parcours pour les études présentées (suite)

Haywood & Koning (2015)	Préférence déclarée	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Niveau d'entassement</li> <li>- Temps de parcours supplémentaire pour un niveau d'entassement inférieur</li> </ul>	<p>Facteur multiplicatif</p> <p>1,00 à 1,57</p> <p>Plus faible lorsque l'entassement est faible et augmente lorsque l'entassement augmente. Un entassement nul a la même valeur de facteur qu'un entassement faible</p>
Raveau, Guo, Muñoz, & Wilson (2014)	Préférence révélée	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Origine et destination</li> <li>- Séquence de déplacement</li> </ul>	<p>Équivalent en temps en véhicule</p> <p>0,12 à 5,35 minutes en véhicule</p> <p>Lorsque le temps est inférieur à 1, c'est une condition favorable à prendre le trajet</p>
Tirachini, Sun, Erath, & Chakirov (2016)	Préférence révélée	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lieu d'embarquement et de débarquement de la carte à puce</li> <li>- Heure de déplacement</li> </ul>	<p>Facteur multiplicatif</p> <p>0,9 à 1,4</p> <p>Augmente lorsque l'heure de départ est plus tard en pointe du matin et lorsque l'entassement augmente</p>

La majorité des enquêtes utilisent des facteurs multiplicatifs du temps de parcours pour prendre en compte la densité de personnes debout par mètre carré. De plus, ces facteurs augmentent à mesure que l'entassement augmente. Pour une même valeur d'entassement, le facteur multiplicatif sera plus élevé pour une personne debout qu'assise. Finalement, la valeur des facteurs multiplicatifs n'augmente pas linéairement; plus l'entassement devient important, plus le facteur multiplicatif augmente de façon plus rapide.

## **CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE**

Ce chapitre présente la partie méthodologique du mémoire. Les méthodes utilisées pour faire le diagnostic du confort sur un réseau de transport collectif ainsi que la conception de l'enquête de préférence sur le confort sont présentées.

### **3.1 Diagnostic du confort sur un réseau de TC**

Cette section présente une méthode de diagnostic du confort à bord d'un réseau de transport en commun. Pour les besoins de l'exercice, le réseau d'autobus de la Société de Transport de Montréal est utilisé. Tout d'abord, des indicateurs de confort à bord sont développés afin de caractériser le confort en prenant en compte l'offre de places à bord des véhicules et la demande de passagers. Ensuite, ces indicateurs sont calculés à l'aide de données de carte à puce dont les entrées et les sorties à bord des véhicules sont déterminées à l'aide de l'affectation des déplacements obtenus à partir de l'enquête Origine-Destination. Cette section détaille les indicateurs, les hypothèses, les ensembles de données et la méthode employée pour arriver aux résultats.

#### **3.1.1 Liste des indicateurs**

Les indicateurs développés pour le diagnostic prennent en compte la charge à bord ainsi que l'offre de places à bord de chaque véhicule. L'indicateur peut se calculer au niveau d'un passage, d'une série de passages, d'une période de la journée ou sur l'ensemble de la journée. La liste des indicateurs est présentée ici-bas.

##### **3.1.1.1 Nombre de places**

Le nombre de places consiste à déterminer le nombre de places assises et debout pour l'ensemble de la flotte de véhicules qui assurent le service sur le réseau étudié. Ce calcul se fait en considérant le nombre de passages prévus à l'aide des données GTFS des opérateurs jumelées avec les données sur la capacité en places assises des véhicules desservant chaque passage étudié. Il s'agit de compter le nombre de places disponibles en fonction de l'agrégation désirée. L'agrégation peut se faire sur un passage, une période ou une journée.

### 3.1.1.2 Nombre de passagers

Le nombre de passagers consiste à déterminer la charge à bord de chaque tronçon d'une ligne. Ces résultats sont obtenus à partir de l'affectation des déplacements enquêtés d'une enquête Origine-Destination ou à l'aide de données de comptage des montants et descendants à chaque arrêt d'une ligne. Le nombre d'usagers sur chaque tronçon étudié peut être agrégé en fonction du passage, de la période ou de la journée.

### 3.1.1.3 Ratio de personnes par siège

Le ratio de personnes par siège (RPS) permet de déterminer le nombre de personnes à bord en fonction du nombre de sièges disponibles. L'indicateur permet de suivre, sur une ligne donnée, les endroits où le nombre de places assises disponibles est le plus bas ou le plus élevé. Le RPS est calculé à chaque tronçon inter-arrêt, la charge à bord pour un segment inter-arrêt donné est calculée à partir de la charge à bord du tronçon inter-arrêt précédent et le nombre de montants et de descendants à l'arrêt en fin de tronçon. Il est possible de schématiser la méthode de calcul à l'aide de la Figure 3-1.

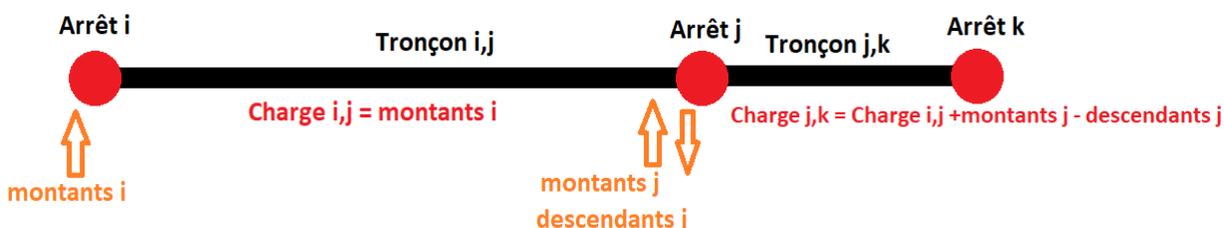


Figure 3-1: Schéma de calcul de la charge à un tronçon inter-arrêt

L'arrêt i représente l'arrêt en amont du tronçon étudié tandis que l'arrêt j représente l'arrêt en aval du tronçon étudié. Le calcul de la charge sur le tronçon étudié se fait systématiquement à partir de la charge au tronçon précédent et la différence entre le nombre de montants et de descendants à l'arrêt en amont du tronçon étudié.

L'Équation 3-1 présente en détail le calcul.

Équation 3-1: Calcul du ratio de personnes par siège pour chaque tronçon inter-arrêt

$$RPS_{j,k} = \frac{Charge_{i,j} + \sum \text{montants stop } (j) - \sum \text{descendants stop } (j)}{\sum \text{Places assises}}$$

Il est considéré que personne n'est debout tant qu'une place assise est disponible. Lorsque le ratio est inférieur à 1, des places assises sont encore disponibles pour la clientèle.

#### 3.1.1.4 Ratio de personnes par place

Le ratio de personnes par place (RPP) permet de déterminer le nombre de personnes à bord en fonction du nombre de places assises et debout disponibles. L'indicateur permet de suivre, sur une ligne donnée, les endroits où le nombre de passagers est élevé au point où la ligne approche de la saturation. Le RPP est calculé à chaque tronçon inter-arrêt, la charge à bord est calculée selon la charge précédente et le nombre de montants et de descendants à l'arrêt étudié. L'Équation 3-2 présente en détail le calcul.

Équation 3-2: Calcul du ratio de personnes par siège

$$RPP_{j,k} = \frac{\text{Charge}_{i,j} + \sum \text{montants stop } (j) - \sum \text{descendants stop } (j)}{\sum \text{Places assises} + \sum \text{Places debout}}$$

Il est considéré que personne n'est debout tant qu'une place assise est disponible. Le ratio devrait être en tout temps inférieur à 1, puisqu'en théorie, il n'est pas possible d'avoir une charge supérieure à la capacité. De plus, lorsque le ratio est équivalent à 1, il est supposé que personne ne peut entrer dans le véhicule.

#### 3.1.1.5 Probabilité d'avoir une place assise

La probabilité d'avoir une place assise consiste à déterminer, à partir du ratio de personnes par siège, la probabilité qu'un usager puisse avoir accès à une place assise en fonction de l'arrêt de montée. Pour ce faire, il est supposé que la fonction de probabilité d'avoir une place assise suive une loi de Poisson dont l'espérance correspond à la charge à bord moyenne de l'ensemble des bus passant à l'arrêt de montée selon la période d'agrégation après l'embarquement des personnes à l'arrêt. La loi de Poisson est utilisée pour calculer cette probabilité, car il s'agit d'un nombre de personnes à bord aléatoire dont la moyenne correspond à la charge à bord moyenne. Il pourrait y avoir plus ou moins de personnes embarquant dans le bus, ce qui pourrait influencer sa charge. La probabilité d'avoir une place assise correspond à la probabilité que la charge soit inférieure à la capacité en places assises du véhicule passant à l'arrêt de montée. La fonction de probabilité est détaillée à l'Équation 3-3.

Équation 3-3: Fonction de probabilité pour calculer la probabilité d'avoir une place assise

$$P(X < C) \sim Poisson(\gamma = V)$$

Où X correspond au nombre de passagers à bord à un arrêt donné, C correspond à la capacité en places assises du véhicule, V correspond à la charge moyenne à l'arrêt donné.

### 3.1.1.6 Probabilité du refus d'embarquement

La probabilité du refus d'embarquement consiste à déterminer la probabilité qu'un usager, à un arrêt donné, soit obligé d'attendre un intervalle de temps supplémentaire pour pouvoir embarquer à l'arrêt de la ligne sur lequel il se trouve. Pour calculer cette probabilité, il est supposé que la fonction de probabilité qu'une place soit disponible suive une loi de Poisson dont l'espérance correspond à la charge à bord moyenne selon la période d'agrégation. L'équation est détaillée à l'Équation 3-4.

Équation 3-4: Fonction de probabilité pour calculer la probabilité d'un refus d'embarquement

$$P(X > C) \sim Poisson(\gamma = V)$$

Où X correspond au nombre de passagers à bord à la suite de l'embarquement des passagers, C correspond à la capacité du véhicule, V correspond à la charge moyenne de l'ensemble des lignes passant à l'arrêt d'embarquement à la suite de l'embarquement des usagers.

### 3.1.1.7 Taux d'occupation moyen d'une ligne

Le taux d'occupation moyen d'une ligne consiste à déterminer le taux d'utilisation moyen de la capacité en places assises ou en places totales pour l'ensemble du tracé de la ligne. Pour ce faire, le RPS et le RPP sont calculés à pour chaque tronçon et sont pondérés en fonction de l'ensemble des distances inter-arrêt. Le taux d'occupation de la ligne est déterminé selon l'Équation 3-5.

Équation 3-5: Calcul du taux d'occupation moyen de l'itinéraire en fonction des tronçons inter-arrêt constituant le tracé complet de la ligne

$$RPS_{moyen} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} RPS_{i,j} * Distance_{i,j}}{\sum_{i=1}^n Distance_{i,j}} \quad \text{OU} \quad RPP_{moyen} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} RPP_{i,j} * Distance_{i,j}}{\sum_{i=1}^n Distance_{i,j}}$$

Le point i représente l'arrêt en amont du tronçon à l'étude et le point j représente l'arrêt en aval du tronçon étudié. La somme pondérée de la distance se fait du premier jusqu'à l'avant-dernier arrêt. Le calcul du taux d'occupation permet de déterminer le taux d'utilisation moyen de l'ensemble de

la ligne. Un RPS moyen approchant de la valeur 1 signifie que les places assises sont fortement utilisées sur la ligne. Un RPP moyen approchant de la valeur 1 signifie que le nombre de personnes à bord approche de la capacité du véhicule.

### **3.1.2 Sources de données pertinentes**

Les sources de données utilisées pour le calcul du confort sont l'Enquête Origine-Destination de 2013, les données GTFS de l'automne 2019 pour le réseau bus de la STM et des données CAP qui recensent le nombre moyen de transactions quotidiennes effectuées sur le réseau bus de la STM en septembre 2017.

#### **3.1.2.1 Enquête Origine-Destination**

L'enquête OD est une enquête téléphonique qui se produit tous les cinq ans dans la grande région de Montréal. Il s'agit d'une enquête ménage qui demande au répondant des informations sur le ménage, sur chaque personne constituant le ménage et les déplacements effectués par chaque personne du ménage. À la suite de l'échantillonnage d'environ 4-5% de la population, il est possible de construire des bases de données regroupant toute l'information sur les ménages, les personnes et les déplacements. Finalement, les résultats de l'échantillon sont pondérés afin de brosser le portrait de comportements de toute la population de la zone d'enquête (Ministère des transports, de la mobilité durable et de l'électrification des transports, 2017). Ainsi, le fichier final de l'enquête OD permet notamment d'avoir les chemins empruntés en transport collectif par chaque individu en fonction de l'heure de départ.

Dans le cadre de ce projet, l'enquête OD est utilisée afin de déterminer les chemins empruntés sur le réseau de bus de la STM. Tout d'abord, lors de la collecte de données, le répondant indique la séquence des lignes empruntées pour effectuer son déplacement. Ensuite, le trajet est reconstruit en affectant le déplacement sur les lignes déclarées. Pour ce faire, il est supposé que le répondant embarque à l'arrêt le plus proche de son lieu d'origine et qu'il embarque à l'arrêt le plus proche entre les deux lignes déclarées lorsque le répondant fait une correspondance. À partir de l'heure de départ, il est supposé que le répondant embarque dans le passage le plus proche après l'heure théorique d'arrivée à l'arrêt. Lorsque le chemin emprunté est déterminé pour l'ensemble des répondants, il est possible de pondérer les résultats pour avoir une représentation de l'ensemble de la population.

### **3.1.2.2 Données GTFS**

Les données GTFS sont un format de données universel permettant de présenter l'offre de transport collectif pour une agence donnée. Les données comprennent minimalement cinq tables, soit une table décrivant l'agence, une table décrivant les lignes disponibles, une table décrivant les arrêts disponibles, une table décrivant l'ensemble des voyages sur les lignes et une table décrivant l'ensemble des heures de passage à un arrêt donné (GTFS.org, 2019).

Dans le cadre de ce projet, les données GTFS sont utilisées afin de construire le réseau de base sur lequel l'étude sur le confort à bord est faite. Les données permettent de déterminer l'emplacement des arrêts, le tracé des lignes ainsi que les heures de départ des différents voyages sur le réseau pour ensuite y affecter la demande avec l'enquête OD.

### **3.1.2.3 Données de cartes à puce (CAP)**

Les données de cartes à puce sont un ensemble de données comprenant l'ensemble des validations effectuées sur le réseau d'une société de transport à l'aide d'une carte à puce. Les transactions par carte à puce permettent d'avoir une trace du voyageur dans le réseau, sur une ligne donnée à une heure donnée. Cependant, vu que la région de Montréal ne demande une validation qu'à l'entrée et non à la sortie et que les données CAP ne contiennent pas une localisation à moins de les croiser avec une autre source de données, il est difficile de reconstruire l'itinéraire d'une personne avec ces données seulement. Ainsi, il devient nécessaire de développer une méthode d'imputation des arrêts de montée et descente.

Dans le cadre de ce projet, il est décidé de lier les données de cartes à puce avec les données de l'enquête OD. Pour ce faire, le calcul se fait en trois étapes. Tout d'abord, au niveau de l'enquête OD, les montants et descendants sont déterminés à partir de l'affectation des déplacements décrite à la section précédente. De plus, le nombre total de montants sur une ligne donnée est calculé pour chaque créneau d'heure.

Ensuite, au niveau des données de carte à puce, le nombre moyen quotidien de transactions pour un jour de septembre est calculé et les résultats sont groupés par ligne et par créneau d'heure. Le nombre de transactions CAP par arrêt est calculé en fonction du prorata du nombre de montants à un arrêt par rapport au nombre total de montants à tous les arrêts sur la ligne pendant un créneau d'heure donné. Il est supposé que les transactions qui se font pendant un créneau d'heure donné se

font sur les passages dont l'heure de départ depuis le premier arrêt se fait pendant le créneau d'heure. Par exemple, un passage dont l'heure de départ planifiée serait à 8 h 59, les transactions effectuées entre 8 h et 8 h 59 sont considérées pour associer un nombre de transactions CAP. Finalement, le nombre total de transactions CAP sur une ligne donnée et pendant un créneau d'heure donné est multiplié par le nombre de montants à l'arrêt obtenu par l'enquête OD divisé par le nombre total de montants pendant le créneau d'heures donné.

### 3.1.3 Hypothèses pertinentes

Afin de calculer convenablement les indicateurs, certaines hypothèses sont considérées sur la charge à bord, sur le jumelage des données OD et CAP et sur les heures de service.

#### 3.1.3.1 Nombre de places à bord

Tout d'abord, le nombre de places à bord des véhicules est uniformisé en fonction du type de véhicule roulant sur tout le territoire de la STM. Le nombre de places assises et debout pour chaque type de véhicule est présenté au Tableau 3-1.

Tableau 3-1: Nombre de places disponibles dans chaque véhicule affecté sur le réseau

Véhicule	Places assises	Places debout	Capacité totale
Bus régulier	30	35	65
Bus articulé	54	51	105
Bus interurbain	60	0	60
Métro MPM10	306	894	1200
Taxi collectif	4	0	4

Selon : Société de Transport de Montréal (2013)

Ces données sont obtenues à l'aide de comptage du nombre de places assises à bord des véhicules ainsi que des fiches techniques disponibles auprès des exploitants et des fabricants. Il est à noter que la valeur de 75 personnes proposée pour un autobus régulier de STM semblait un peu élevée, il a donc été décidé d'utiliser une valeur de 65 personnes comme capacité totale pour un autobus régulier. Le Réseau de Transport de Longueuil (RTL) utilise une capacité de 65 personnes dans ses autobus réguliers, qui sont de même gabarit que ceux de la STM (Réseau de Transport de Longueuil, 2020).

Par la suite, il est possible d'associer un type de véhicule en fonction du secteur et de la ligne exploitée. Ce jumelage est présenté au Tableau 3-2.

Tableau 3-2: Affectation des véhicules en fonction de la ligne et du réseau

<b>Ligne(s)</b>	<b>Véhicule affecté</b>
45, 67, 69, 80, 121, 139, 165, 193, 197, 435, 439, 467, 470	Autobus articulé
Autres lignes de bus régulières	Autobus régulier
Lignes taxi collectif	Taxi collectif

Selon : Société de Transport de Montréal (2019)

Ce jumelage est déterminé à partir des informations disponibles par l'exploitant. Il est à noter que l'affectation des autobus n'est pas disponible publiquement, mais que dans la situation actuelle, les mêmes lignes ont systématiquement le même type de véhicules qui leur sont affectés.

### 3.1.3.2 Heures de service

Au niveau des heures de service, il est considéré que l'heure de pointe du matin comprend tous les départs s'effectuant entre 6 h et 8 h 59. Ensuite, l'heure de pointe du soir est constituée de tous les départs qui s'effectuent entre 15 h et 17 h 59. Finalement, lorsque la journée type est analysée, elle comprend tous les départs, incluant ceux de la période de pointe.

### 3.1.3.3 Charge à bord à l'arrêt

Le calcul des indicateurs prend en compte l'état de la charge à bord à la suite de l'embarquement du dernier passager. Cela permet d'avoir des chiffres plus conservateurs lorsque vient le temps de calculer le RPS, le RPP ou les probabilités de places assises et de refus d'embarquement.

## 3.1.4 Jumelage des données CAP, GTFS et OD

Le jumelage des données CAP et de l'enquête OD se fait en considérant certaines hypothèses. Tout d'abord, il est considéré que le jumelage se fait sur la ligne et sur le créneau d'heure précisé dans les GTFS. Le créneau d'heure considéré pour tous les arrêts d'une ligne donnée avec un voyage donné est dicté par l'heure de départ du voyage d'une ligne au premier arrêt. Finalement, le prorata sur chaque arrêt de l'enquête OD est calculé à partir de la somme de l'ensemble des embarquements sur la ligne donnée pendant le créneau d'heure donné. La démarche complète est illustrée à la Figure 3-2.

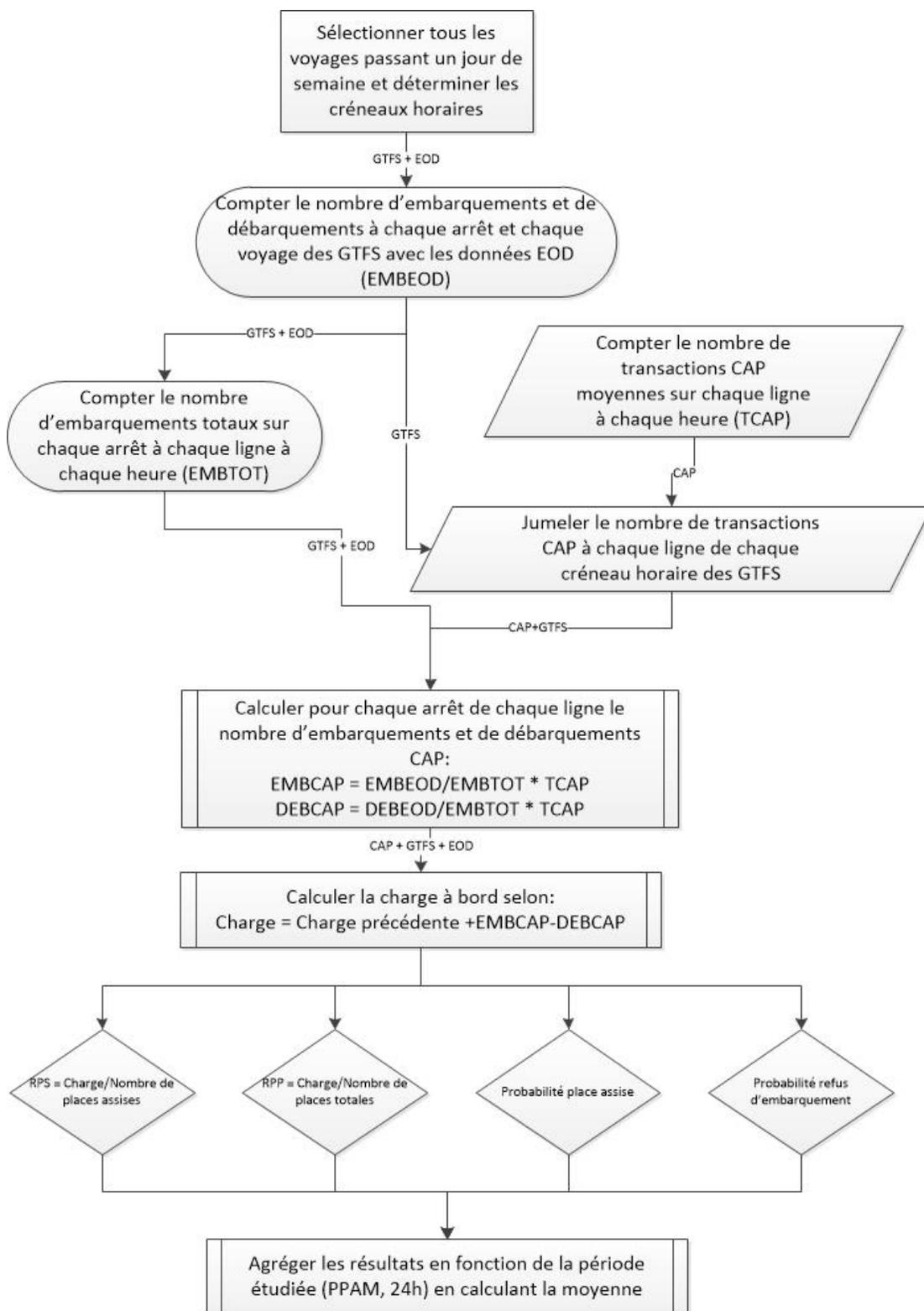


Figure 3-2: Étapes de calcul des indicateurs du confort à bord

Les données CAP fournies contiennent un nombre de transactions horaire pour un jour de semaine typique pour une ligne donnée. La direction n'est pas disponible dans les données fournies. Afin d'assigner le nombre de montants pour chaque direction convenablement, le nombre de montants obtenus depuis l'enquête OD pour l'ensemble des voyages de la ligne enquêtée (EMBTOT) est sommé sans égard à la direction. En faisant la proportion entre le nombre de montants à chaque arrêt de chaque direction, il est ensuite possible de déterminer le nombre de montants par arrêt par direction sur la ligne enquêtée.

Les données de montants de l'enquête OD sont imputées à l'aide de données carte à puce, car les données de l'enquête OD ont des facteurs d'expansion très élevés. En effet, l'enquête OD sonde environ 5% des ménages, faisant que chaque personne sondée en représente 20. Si les facteurs d'expansion de l'enquête OD étaient sommés pour définir la charge à bord, la charge à bord obtenue serait surestimée. Ce faisant, afin d'avoir la meilleure représentation possible de la charge réelle à bord des véhicules, la multiplication du prorata entre le nombre d'embarquements à un arrêt et le nombre d'embarquements totaux sur une ligne pendant un créneau d'heure permet d'ajuster le nombre de montants obtenu depuis l'enquête OD.

### **3.2 Méthodologie pour une enquête sur les préférences**

L'administration d'une enquête auprès d'usagers permet de mieux comprendre leurs habitudes ainsi que les facteurs pouvant influencer leurs choix. Selon Sanko (2001), il existe deux méthodes d'enquête pour étudier les préférences des personnes, les enquêtes de préférences déclarées et les enquêtes de préférences révélées. Une enquête de préférences déclarées consiste à déterminer les préférences des répondants à partir de leur déclaration. Ce type d'enquête permet de comparer des scénarios réels avec des scénarios hypothétiques et de questionner le répondant sur plusieurs scénarios qui sont contrôlés. En revanche, le choix du répondant ne reflète pas toujours le choix qu'il aurait pris dans une situation réelle. Une enquête de préférences révélées consiste à déterminer les préférences des répondants en fonction de leur choix observé. Ce type d'enquête permet d'observer le comportement réel du répondant et de comparer le résultat avec l'ensemble des alternatives existantes possibles. Cependant, il n'est pas possible d'avoir un ensemble de données clair, car il existe un ensemble d'alternatives possibles.

Dans le cadre de ce mémoire, une enquête sur les préférences en deux parties est conçue. La première partie consiste à questionner le répondant sur son choix de trajet et de comparer son choix aux autres options qui s'offrent à lui. La deuxième partie consiste à questionner le répondant sur son trajet fictif préféré en fonction de certains critères, tels que le temps de parcours, la densité de personnes debout par mètre carré et la position assise ou debout. Cette section présente les principales étapes de conception de l'enquête, l'outil d'acquisition de données et une méthode d'analyse des données.

### 3.2.1 Conception de l'enquête

L'enquête a été pensée de façon à non seulement comprendre les préférences des usagers des transports collectifs, mais aussi de comprendre leurs habitudes actuelles et les paramètres pouvant faire varier leurs habitudes. La Figure 3-3 présente un schéma séquentiel des questions à poser au répondant ainsi que les principales données recueillies.

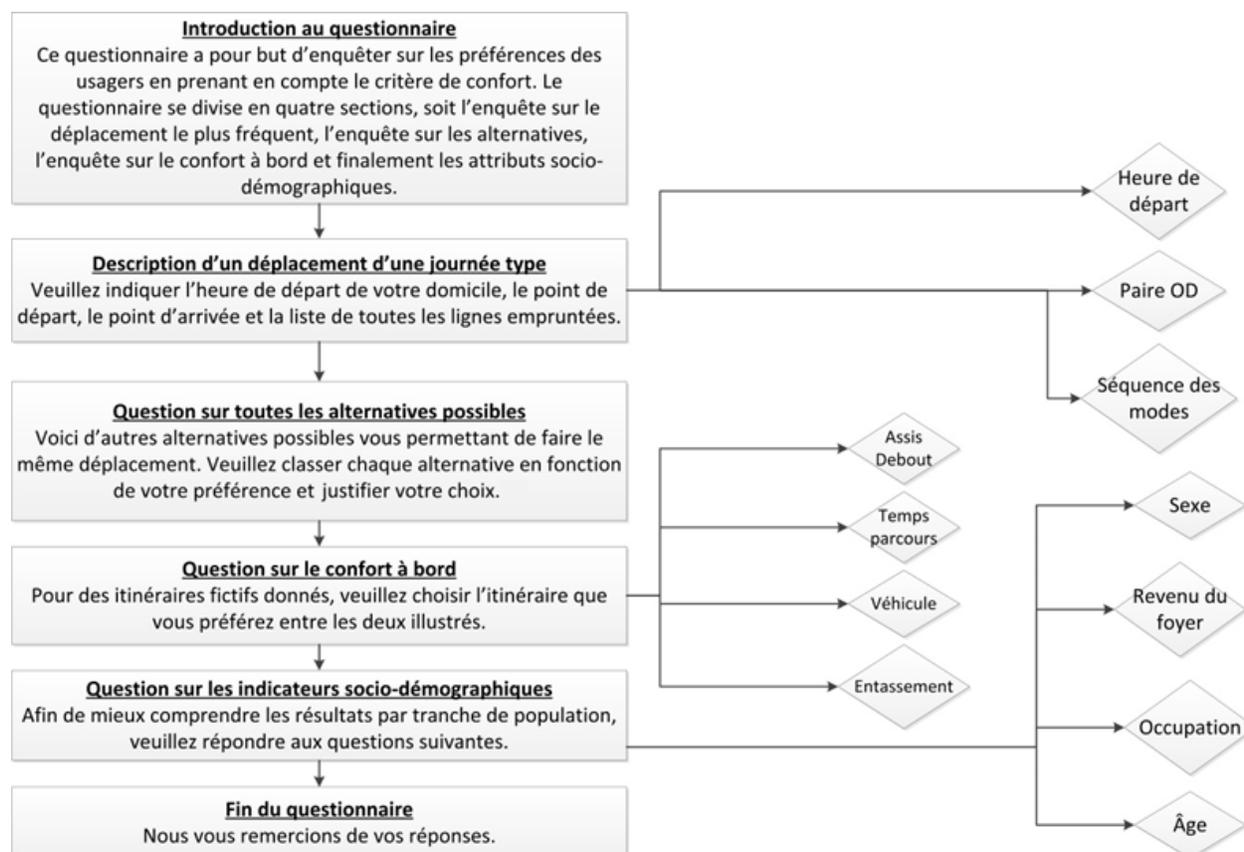


Figure 3-3: Schéma résumé de l'enquête

Tout d'abord, l'enquête questionne le répondant sur son déplacement le plus fréquent afin de comprendre ses choix de mobilité et de pouvoir analyser son chemin typique entre son origine et sa destination. À partir de son itinéraire le plus fréquent, le questionnaire propose au répondant une série de trois alternatives à son chemin habituel et lui demande de classer les alternatives en fonction de ses préférences, tout en justifiant ses choix. En troisième lieu, pour analyser le confort à bord des véhicules, le répondant doit choisir son trajet fictif préféré parmi deux scénarios. Finalement, des attributs socio-démographiques sont demandés afin de classer le répondant et de permettre l'analyse de la variabilité au sein des groupes de population.

### **3.2.1.1 Étude des alternatives du répondant**

La première section du questionnaire vise à comprendre les comportements observés du répondant. Pour ce faire, le déplacement le plus fréquent est d'abord enquêté. Il est demandé au répondant de fournir l'information sur son déplacement le plus fréquent à l'exception du retour au domicile. Une limitation sur le motif permet d'obtenir le motif principal de déplacement des personnes interrogées, permettant de segmenter les résultats en fonction du motif. Les paramètres pris en compte sont le lieu d'origine, le lieu de destination, l'heure de départ, le motif et la séquence des modes empruntés. Cette question permet de déterminer le trajet généralement emprunté par le répondant et de déterminer le type de trajet; s'il s'agit du chemin le plus court, le chemin nécessitant le moins de correspondances ou le chemin qui utilise un mode en particulier, etc.

La deuxième section du questionnaire consiste à déterminer les paramètres pouvant influencer le choix de trajet. À partir de l'origine, de la destination et de l'heure de départ, il est possible de générer de nouvelles alternatives pour effectuer le même déplacement et de comparer les alternatives entre elles. Un exemple des alternatives pouvant être proposées est présenté à la Figure 3-4.

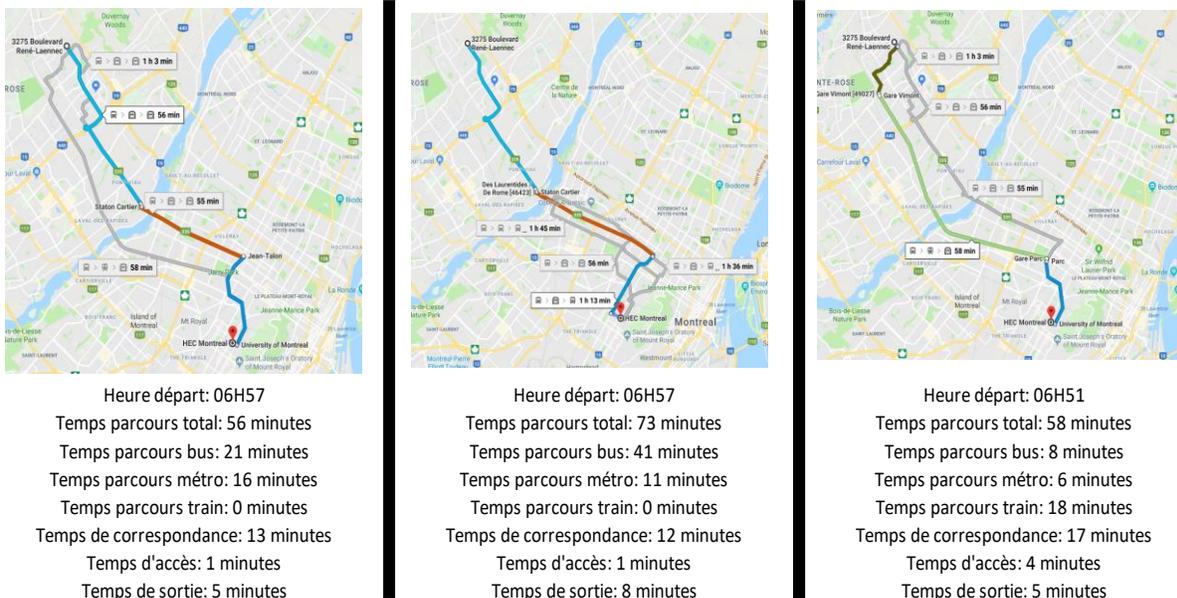


Figure 3-4: Exemple d'alternatives pour un déplacement déclaré par un répondant

Les alternatives sont générées à l'aide d'un calculateur de chemin. Le calculateur génère d'abord le chemin le plus court à partir de l'origine, de la destination et de l'heure de départ déclarée par le répondant. Par la suite, le calculateur de chemin apporte une modification au début ou à la fin du trajet le plus court pour proposer un nouvel itinéraire. Ce changement correspond ainsi à une nouvelle alternative disponible. Environ 4 alternatives différentes sont développées en plus de l'alternative du répondant. Pour chaque alternative, le temps de déplacement, le temps de parcours en métro, le temps de parcours en bus, le temps de parcours en train, le temps de correspondance et le temps d'accès sont calculés et montrés au répondant. Il est ensuite demandé au répondant de classer les itinéraires selon sa préférence et de justifier ses choix. Le but est de pouvoir évaluer quelles sont les alternatives préférées du répondant quand vient le temps de faire son choix d'itinéraire et de connaître les paramètres qui vont influencer son choix. En fonction des réponses des répondants, il sera possible de déterminer la liste complète des déterminants qui auront un impact sur le choix d'itinéraire et la contribution de ces éléments.

### 3.2.1.2 Étude du confort à bord

La deuxième partie du questionnaire consiste à questionner le répondant sur ses préférences de confort. Pour ce faire, deux trajets fictifs sont comparés entre eux. Ces trajets prennent en compte la densité de personnes debout par mètre carré, le temps de parcours, la position assise ou debout et le véhicule. Le répondant est invité à choisir le trajet qu'il préfère. Cette section s'inspire des

travaux faits par Björklund & Swärd (2017), par Whelan & Crockett (2009) et par Márquez, Alfonso A, & Poveda (2019).

Un modèle fractionnel factoriel est utilisé pour générer l'ensemble des scénarios à tester. Cette section présente les étapes de génération de ces scénarios. Un exemple de scénario est illustré à la Figure 3-5.

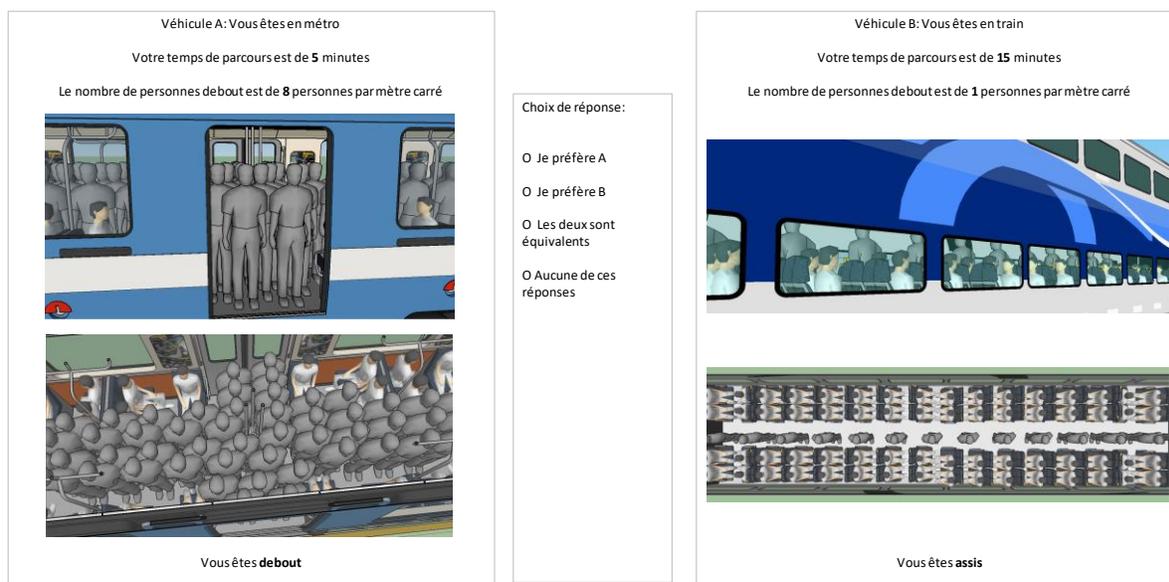


Figure 3-5: Exemple de scénario de l'enquête sur le confort à bord

Les variables choisies pour la modélisation de chaque scénario sont le temps de parcours, la densité de personnes debout par mètre carré, le véhicule et la position assise ou debout. Quatre variables ont été choisies afin de garder le questionnaire le plus simple possible pour le répondant et parce que l'augmentation du nombre de variables vient augmenter le nombre de scénarios à tester. En augmentant le nombre de scénarios à tester, les répondants auraient été confrontés à un nombre énorme de scénarios, augmentant le fardeau du répondant et tous les risques associés, notamment l'abandon.

Pour développer les scénarios, un modèle fractionnel factoriel est utilisé (Kocur, Adler, Hyman, & Aunet, 1982). Il consiste à déterminer, pour une liste de variables données qui ont chacune un nombre de niveaux donnés, le nombre de scénarios et les combinaisons à présenter au répondant pour avoir des résultats représentatifs. En utilisant ce modèle, il est supposé que les variables n'ont pas d'interaction entre elles. L'utilisation d'un modèle fractionnel factoriel permet de diminuer le nombre d'essais nécessaires. Par exemple, considérer trois variables avec trois niveaux différents

implique de faire 81 tests, ce qui est élevé. Le modèle permet donc de diminuer le nombre d'alternatives à 27 dans ce cas-ci.

Il y a deux séries d'alternatives à générer. En effet, chaque question compare deux alternatives entre elles. La première série d'alternatives est générée à partir du modèle fractionnel factoriel. Pour générer la deuxième série d'alternatives, une méthode d'incrémentation des variables est utilisée. La méthode consiste à incrémenter les niveaux de chaque variable constituant le modèle. Par la suite, ces alternatives sont réorganisées de façon à comparer systématiquement une alternative où la personne est debout avec un temps de parcours plus court versus une alternative où la personne est assise avec un temps de parcours plus long. Le but de cette manœuvre est de pouvoir mesurer la valeur associée à une place assise.

#### *3.2.1.2.1 Détermination des niveaux de chaque variable*

Comme énoncé précédemment, il y a quatre variables qui sont utilisées pour concevoir les tests à effectuer, soit le temps de parcours, le type de véhicule, l'entassement et la position assise ou debout. Ces variables comprennent chacune trois niveaux, à l'exception de la position assise ou debout qui n'en contient que deux.

Pour la variable du véhicule, les trois principaux modes de transport en commun de la région de Montréal sont considérés, soit le train, l'autobus et le métro. Généralement, dans les autres enquêtes précédemment citées dans la revue de littérature, chaque enquête se fait en considérant un seul véhicule. En revanche, dans le cas présent, le but est de pouvoir mesurer l'attractivité relative des différents modes de transport. De plus, pour certains modes, tels que le métro et le train, il n'est pas possible d'implanter rapidement un nouveau service, contrairement au service de bus par exemple. Ainsi, il peut être pertinent de se demander si les gens ne seraient pas prêts à faire leur déplacement à bord d'un bus dans le cas où la situation d'entassement vécue dans le train ou le métro serait au-delà de la tolérance de l'utilisateur.

Pour la variable de l'entassement, celle-ci est générée en considérant que les places assises sont toujours prises dans tous les scénarios, afin de ne pas avoir de biais associé à une personne qui resterait debout par choix. Cela permet de supposer, dans les questionnaires, qu'il y aura toujours un certain entassement dans le véhicule lorsque l'utilisateur voyage. Cela vient supposer que lorsque l'utilisateur est assis et que la densité de personnes debout autour de lui est très faible, le temps perçu se rapproche du temps de parcours réel. Les valeurs sont déterminées en fonction de la densité de

personnes par mètre carré. Il est supposé qu'un humain moyen mesure 0,465 mètre de largeur par 0,254 mètre de profondeur, donnant une surface approximative de 0,116 m<sup>2</sup> (First in Architecture, 2019). Ces mesures ne prennent pas en compte le matériel transporté par la clientèle pendant leur déplacement et le matériel transporté par les clients est négligé dans les mesures de l'espace occupé par un voyageur. La première valeur d'entassement correspond à environ une personne par mètre carré. L'entassement maximal correspond à la quantité maximale d'humains pouvant être contenus dans un mètre carré, soit huit personnes. Finalement, l'entassement moyen correspond à la moyenne des deux valeurs, soit quatre personnes par mètre carré.

Au niveau de la variable de position assise ou debout, le but est de déterminer si l'utilisateur va accorder une importance à avoir une place assise et si oui, quel sera le temps supplémentaire qu'il sera prêt à prendre pour faire son déplacement pour pouvoir être assis.

Pour la variable du temps de parcours, celle-ci est déterminée à partir de l'échantillon de l'enquête Origine-Destination. En étudiant chaque segment emprunté par tous les usagers sondés qui prennent les transports collectifs, il est possible de déduire les temps de parcours minimaux, moyens et maximaux. Le temps de parcours minimal correspond au centile 25 de l'ensemble des temps de parcours pour un mode donné, le temps de parcours médian correspond au centile 50 et le temps de parcours maximal correspond au centile 75. Les distributions des temps de parcours pour chaque mode sont présentées à la Figure 3-6.

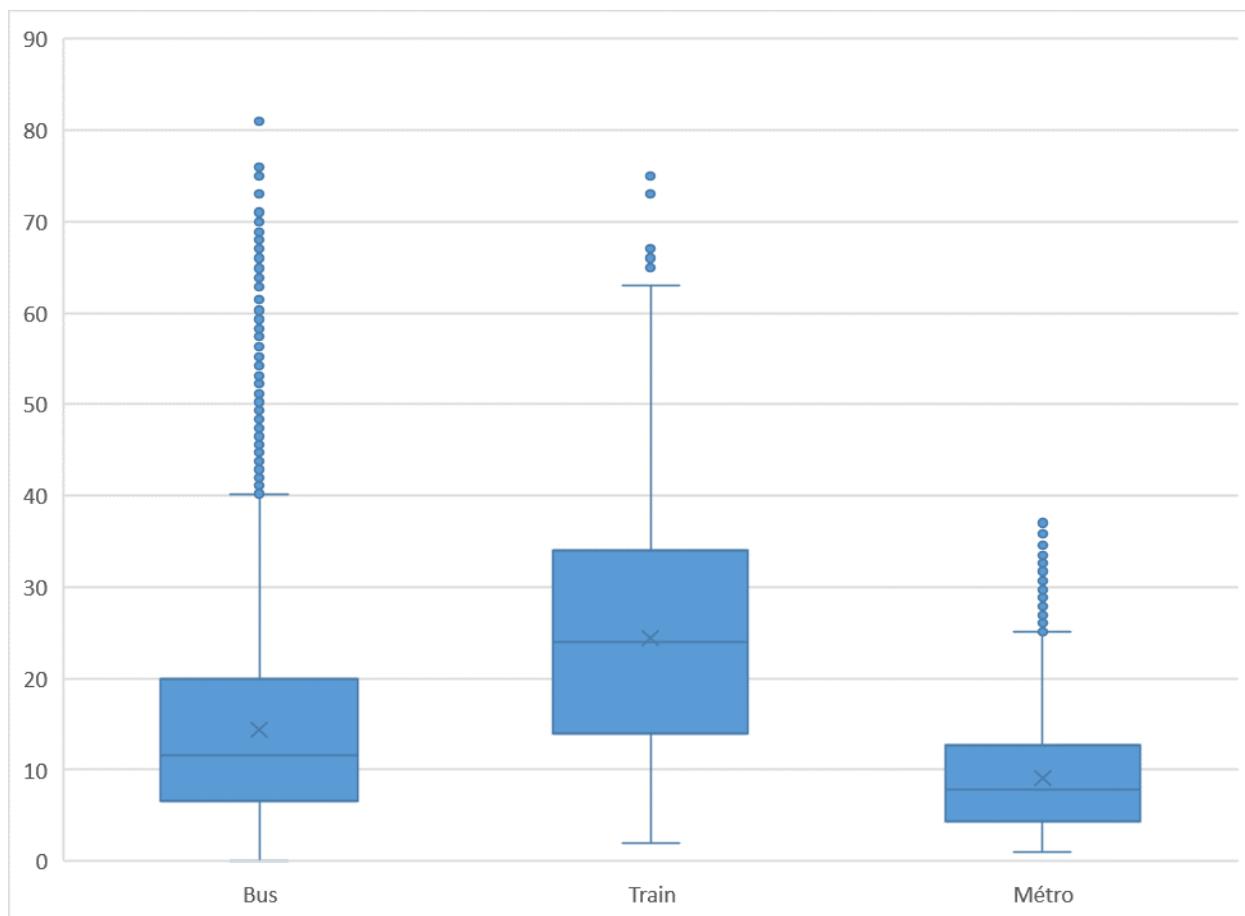


Figure 3-6: Diagramme boîte à moustache illustrant la distribution du temps de parcours pour chaque mode enquêté

Ces résultats démontrent des temps de parcours plus courts pour le métro et plus longs pour les trains. Cela peut s'expliquer par le fait que les trains de banlieue desservent une clientèle qui vit principalement en couronne de Montréal et se rendant au centre-ville, ce qui induit des distances de parcours plus élevées, et donc des temps de parcours plus élevés. Dans le cas du métro, les stations sont sur un territoire plus circonscrit, impliquant des temps de parcours plus courts. Finalement, pour ce qui est du réseau de bus, les temps de parcours sont fonction du lieu de résidence des gens. En effet, le temps de parcours ne sera pas le même pour les gens vivant en couronne que les gens vivant à proximité des stations de métro et dépendra des origines et destinations. Les temps de parcours sont déterminés à partir des centiles 25, 50 et 75, qui représentent respectivement la borne inférieure, médiane et supérieure du temps de parcours dans les scénarios générés. Les valeurs sont arrondies à des valeurs par multiple de 5, parce qu'il est

plus facile pour le répondant de les interpréter. Les temps de parcours utilisés pour l'enquête sont présentés dans le Tableau 3-3.

Tableau 3-3: Temps de parcours minimal, moyen et maximal en fonction du mode

Mode	Temps de parcours		
	Minimal	Moyen	Maximal
Train	15	25	35
Autobus	10	15	25
Métro	5	10	15

Ces valeurs de temps de parcours sont donc utilisées en fonction du véhicule et permettent de générer l'ensemble des alternatives.

#### 3.2.1.2.2 Regroupement des scénarios ensemble

Une fois toutes les variables et les niveaux déterminés, il est maintenant possible de faire le jumelage des alternatives. Les deux scénarios comparatifs sont groupés ensemble de façon à avoir un premier scénario où la personne est debout et un deuxième scénario où la personne est assise, mais dans lequel le temps de parcours est plus élevé. Pour certains scénarios, il n'a pas été possible de procéder de cette façon, faisant que certains scénarios servent de variables de contrôle afin de monitorer si le répondant répond correctement aux questions ou s'il se dépêche à répondre. Les alternatives générées sont présentées au Tableau 3-4.

Tableau 3-4: Liste des scénarios à tester

Scénario	Véhicule	Temps de parcours	Entassement	Position	Véhicule	Temps de parcours	Entassement	Position
1	Bus	10	1	Debout	Métro	15	4	Assis
2	Bus	10	4	Debout	Métro	15	8	Assis
3	Bus	10	8	Assis	Métro	5	1	Debout
4	Bus	15	1	Debout	Métro	10	4	Debout
5	Bus	15	4	Assis	Métro	10	8	Debout
6	Bus	15	8	Debout	Métro	5	1	Debout
7	Bus	20	1	Assis	Métro	15	4	Debout
8	Bus	20	4	Debout	Métro	5	8	Assis
9	Bus	20	8	Debout	Métro	10	1	Assis
10	Métro	5	1	Assis	Train	15	4	Debout
11	Métro	5	4	Debout	Train	25	8	Assis
12	Métro	5	8	Debout	Train	15	1	Assis
13	Métro	10	1	Debout	Train	25	4	Assis
14	Métro	10	4	Debout	Train	25	8	Assis
15	Métro	10	8	Assis	Train	15	1	Debout
16	Métro	15	1	Debout	Train	35	4	Assis
17	Métro	15	4	Assis	Train	15	8	Debout
18	Métro	15	8	Debout	Train	35	1	Assis
19	Train	15	1	Debout	Bus	20	4	Assis
20	Train	15	4	Assis	Bus	10	8	Debout
21	Train	15	8	Debout	Bus	20	1	Assis
22	Train	25	1	Assis	Bus	15	4	Debout
23	Train	25	4	Debout	Bus	15	8	Debout
24	Train	25	8	Debout	Bus	15	1	Debout
25	Train	35	1	Debout	Bus	10	4	Debout
26	Train	35	4	Debout	Bus	20	8	Debout
27	Train	35	8	Assis	Bus	20	1	Debout

Tester 27 alternatives différentes pour un répondant peut se traduire par un trop grand fardeau du répondant. En telle situation, il est possible que ceux-ci abandonnent le questionnaire ou répondent aléatoirement, pouvant compromettre la qualité des données recueillies. Réduire le fardeau du répondant implique de réduire le nombre de questions tout en gardant les 27 alternatives à poser. Pour ce faire, il est proposé d'utiliser la méthode par blocs. La méthode consiste à séparer l'ensemble des questions en trois blocs contenant le même nombre de questions. Un bloc est attribué aléatoirement au répondant. Ces blocs comprennent 9 questions et permettent de réduire le fardeau du répondant. L'attribution des scénarios se fait dans chaque bloc de façon à avoir des scénarios comparatifs entre le bus et le métro, le train et le métro ainsi que le métro et le bus.

Ensuite, des scénarios extrêmes et des scénarios moyens sont intégrés dans chaque bloc afin de mesurer la variabilité dans les réponses des répondants. Les blocs sont présentés dans le Tableau 3-5.

Tableau 3-5: Liste des scénarios utilisés pour chaque bloc de questions

Id Bloc	Id du scénario								
1	1	3	8	10	11	18	19	20	26
2	2	5	6	13	14	15	21	22	24
3	4	7	9	12	16	17	23	25	27

Ces blocs sont présentés aux différents répondants de façon aléatoire et le nombre élevé de questionnaires remplis devrait amener à avoir un nombre égal de questionnaires remplis pour chaque bloc. Dans le cas d'un nombre inégal de questionnaires remplis pour chaque bloc, il s'agira soit d'éliminer certains questionnaires afin d'avoir un nombre de questionnaires remplis égal pour chaque bloc, ou de tenter d'obtenir d'autres répondants pour avoir un nombre égal de questionnaires pour chaque bloc. Comme les différents scénarios doivent tous être remplis par la même personne, chaque bloc doit pouvoir avoir le même nombre de questionnaires valides afin de ne pas affecter la représentativité des résultats par la suite.

### 3.2.1.3 Attributs socio-démographiques

Afin de pouvoir mesurer la variabilité des résultats en fonction des différentes strates de population, il est demandé aux répondants de répondre à certaines questions socio-démographiques afin de les classer. Ces questions comprennent le sexe, l'âge, le revenu du foyer, la présence d'une limitation fonctionnelle et l'occupation. En regardant la littérature, les femmes seraient plus soucieuses du confort que les hommes pour des questions de sécurité, les personnes plus jeunes seraient prêtes à vivre des situations d'entassement plus élevées que les plus âgées et les gens plus aisés cherchent davantage de confort. En questionnant les répondants sur ces attributs, il sera par la suite possible de segmenter les résultats en fonction de chaque strate de la population.

### 3.2.2 Outil d'acquisition de données

Afin de trouver des candidats aptes à répondre à l'enquête, l'idéal serait de cibler des usagers des transports collectifs. Ceux-ci pourraient être sollicités directement dans les stations de métro, les gares de train et les terminus d'autobus. Dans l'enquête de Haywood et Koning (2015), les usagers étaient invités à répondre directement au quai de la station en face des intervenants. D'un autre côté, dans l'enquête de Björklund et Swärdh (2017), les usagers étaient invités à remplir un questionnaire disponible en ligne. Les deux méthodes ont leurs avantages et leurs inconvénients. Tout d'abord, une enquête menée en face-à-face permet de réduire le taux d'erreurs lorsque les répondants répondent aux questions. En effet, la présence d'un enquêteur permet de répondre aux questions ou aux incompréhensions. Cependant, cette méthode nécessite une plus grande mobilisation de ressources humaines. Chaque enquêteur serait obligé de passer une quinzaine de minutes avec chaque répondant, ce qui donnerait un faible nombre de questionnaires complétés par enquêteur à la fin de la collecte de données. Finalement, enquêter les personnes pendant leurs déplacements peut être un fardeau pour le répondant, car il sera retardé dans son déplacement.

De l'autre côté, mettre en place un questionnaire en ligne et solliciter les usagers permet de joindre un plus grand nombre de personnes par la distribution de cartes d'invitation. De plus, le répondant pourrait prendre le temps de faire le questionnaire au moment où il est disposé pour le faire. Cependant, le répondant peut oublier de faire l'enquête et il n'y a pas d'enquêteur présent avec lui pour répondre à ses interrogations. Ceci implique que l'analyste devra porter une attention particulière à la qualité des données transmises et le questionnaire devra être conçu de façon à limiter les erreurs, par exemple en posant des questions avec choix de réponse et en assurant une validation dynamique.

Pour les besoins de ce mémoire, les personnes sont recrutées en publiant l'enquête sur les réseaux sociaux et en procédant à des envois ciblés. Cette méthode ne garantit certes pas que les répondants seront des usagers réguliers des transports collectifs ou qu'ils seront représentatifs de la population d'usagers du transport en commun, mais c'est la méthode qui nécessite le moins de ressources humaines et financières tout en permettant de mettre à l'épreuve à la fois le concept d'enquête et la modélisation de l'impact du confort. En effet, le but de ce mémoire est de tester la méthode de collecte de données : un pilote auprès d'un échantillon restreint de personnes permet donc de répondre à cet objectif.

### **3.2.3 Conception du questionnaire**

Après avoir analysé les méthodes d'enquête disponibles, il a été décidé d'enquêter les usagers des transports collectifs à l'aide d'un questionnaire disponible sur le web en raison de ressources limitées et parce que la collecte ne nécessite pas par la suite d'entrer les données sur un support informatique. Dans l'éventualité où un opérateur souhaiterait mobiliser des escouades sur le terrain, les escouades pourraient facilement reprendre le questionnaire web et l'utiliser pour que les répondants puissent répondre aux questions en face à face.

Le questionnaire est divisé en quatre sections. Les quatre sections portent respectivement sur le déplacement le plus fréquent, les alternatives favorites, le confort et les attributs socio-démographiques.

#### **3.2.3.1 Enquête sur le dernier déplacement effectué**

La première page sert à demander le lieu de départ et d'arrivée du dernier déplacement du répondant. Il est possible de voir l'interface à la Figure 3-7.

Lieu de départ

Nom ou description du lieu

Positionner le lieu sur la carte  
*Naviguez, zoomez, puis cliquez à l'endroit du lieu sur la carte. Vous pourrez ensuite déplacer l'icône pour préciser la localisation du lieu.*

[? Pourquoi ne peut-on pas chercher le lieu et le localiser automatiquement?](#)



Quelle est en général votre heure de départ?

Figure 3-7: Module demandant le lieu de départ et d'arrivée du dernier déplacement fait par le répondant

Il est demandé au répondant d'inscrire un titre à son lieu de départ, qui peut être un identifiant, une adresse ou le nom d'un lieu commun. Par la suite, le répondant est invité à naviguer sur la carte et à cliquer sur son lieu de départ. La carte permet d'aider le répondant à identifier son lieu de départ et d'arrivée plus facilement peu importe le moyen utilisé, que ce soit sur un ordinateur, une tablette numérique ou un téléphone intelligent. Ensuite, la position sur la carte permet d'éviter les erreurs issues d'une adresse invalide. Finalement, l'heure de départ est demandée à l'aide d'un menu déroulant. L'heure de départ est présentée par incréments de 5 minutes.

La deuxième page demande au répondant d'indiquer sa séquence de modes pour la paire OD déclarée à la page précédente. Le module est présenté à la Figure 3-8.

Mode de transport 1

Quel mode de transport a été utilisé en premier? ✓

<input type="radio"/> Marche	<input type="radio"/> Train interurbain (VIA Rail)
<input type="radio"/> Auto conducteur	<input type="radio"/> Moto ou scooter
<input type="radio"/> Auto passager	<input type="radio"/> Traversier
<input type="radio"/> Vélo	<input type="radio"/> Taxi
<input checked="" type="radio"/> Transport en commun (bus, métro, train)	<input type="radio"/> Uber
<input type="radio"/> Taxi collectif	<input type="radio"/> Autre
<input type="radio"/> Transport adapté	<input type="radio"/> ? Je ne sais pas
<input type="radio"/> Bus interurbain	

Quelle(s) ligne(s) avez-vous utilisée(s) (dans l'ordre chronologique)?  
*Pour chaque ligne utilisée, inscrivez son numéro ou son nom puis sélectionnez-la dans la liste des résultats.*

Avez-vous utilisé un autre mode de transport pour compléter ce déplacement?

Oui
  Non

Figure 3-8: Module demandant la séquence de modes empruntés

Le répondant sélectionne par une puce chaque mode qu'il a emprunté. Il est important de préciser que le répondant doit donner sa séquence dans le bon ordre afin que l'itinéraire puisse être reconstruit ultérieurement par l'analyste. Dans le cas de l'option « Transport en commun », le répondant doit donner la liste des lignes qu'il a prises, que ce soit une ligne de bus, une ligne de métro ou une ligne de train. Il lui est possible de mettre une autre ligne ou une ligne inconnue s'il ne trouve pas sa ligne dans la liste. Lorsque le répondant a terminé avec une séquence, il lui est demandé s'il désire ajouter une nouvelle séquence. S'il coche oui, la même fenêtre s'ouvre et le répondant complète la séquence des modes empruntés. Sinon, il est invité à passer à l'étape suivante.

### 3.2.3.2 Enquête sur la préférence de différentes alternatives pour le même déplacement

Ce module a pour but de présenter les différentes alternatives possibles pour effectuer le même déplacement. Le module est présenté à la Figure 3-9.

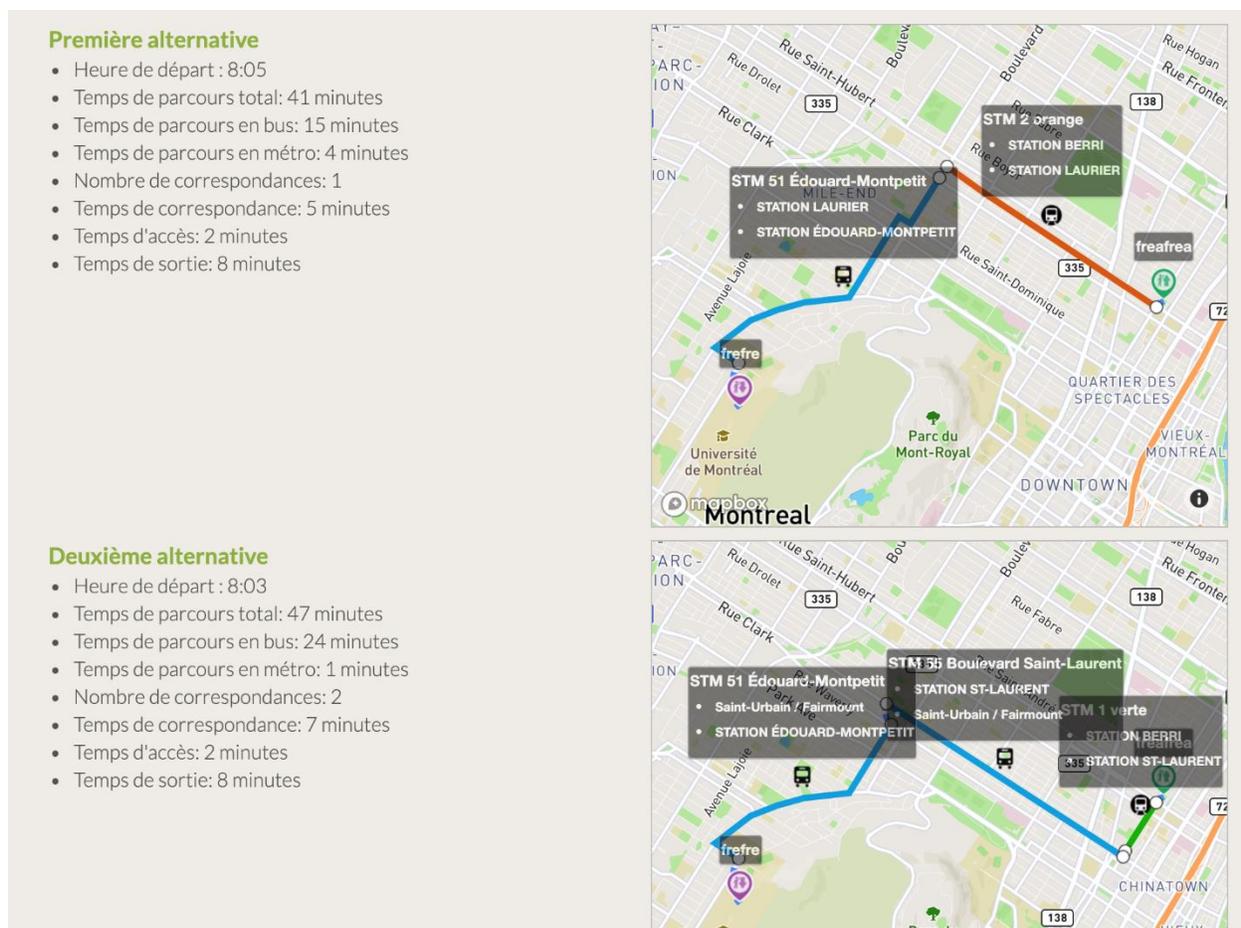


Figure 3-9: Module présentant les différentes alternatives

Chaque alternative est présentée sur une carte et reprend l'origine, la destination et l'heure déclarées par le répondant à la section précédente. Les informations comprennent la ligne empruntée, l'heure de départ, le temps de parcours par mode, le nombre de correspondances, le temps d'accès, le temps de sortie et le temps d'attente. De plus, ces alternatives sont comparées avec l'alternative déclarée par le répondant. Le répondant doit choisir son alternative préférée et justifier son choix en écrivant dans une case sa justification en texte. Ensuite, le répondant doit choisir sa deuxième alternative préférée et la justifier. La troisième alternative devient donc l'alternative qu'il préfère le moins.

Comme expliqué précédemment, l'algorithme de calcul d'itinéraire calcule d'abord le chemin le plus court pour ensuite appliquer des changements sur le déplacement et ainsi obtenir un nouvel itinéraire.

### 3.2.3.3 Présentation graphique des différents scénarios

Cette partie est le corps principal de l'enquête. C'est la section qui permet de déterminer les facteurs multiplicatifs par la suite. Le module est présenté à la Figure 3-10.

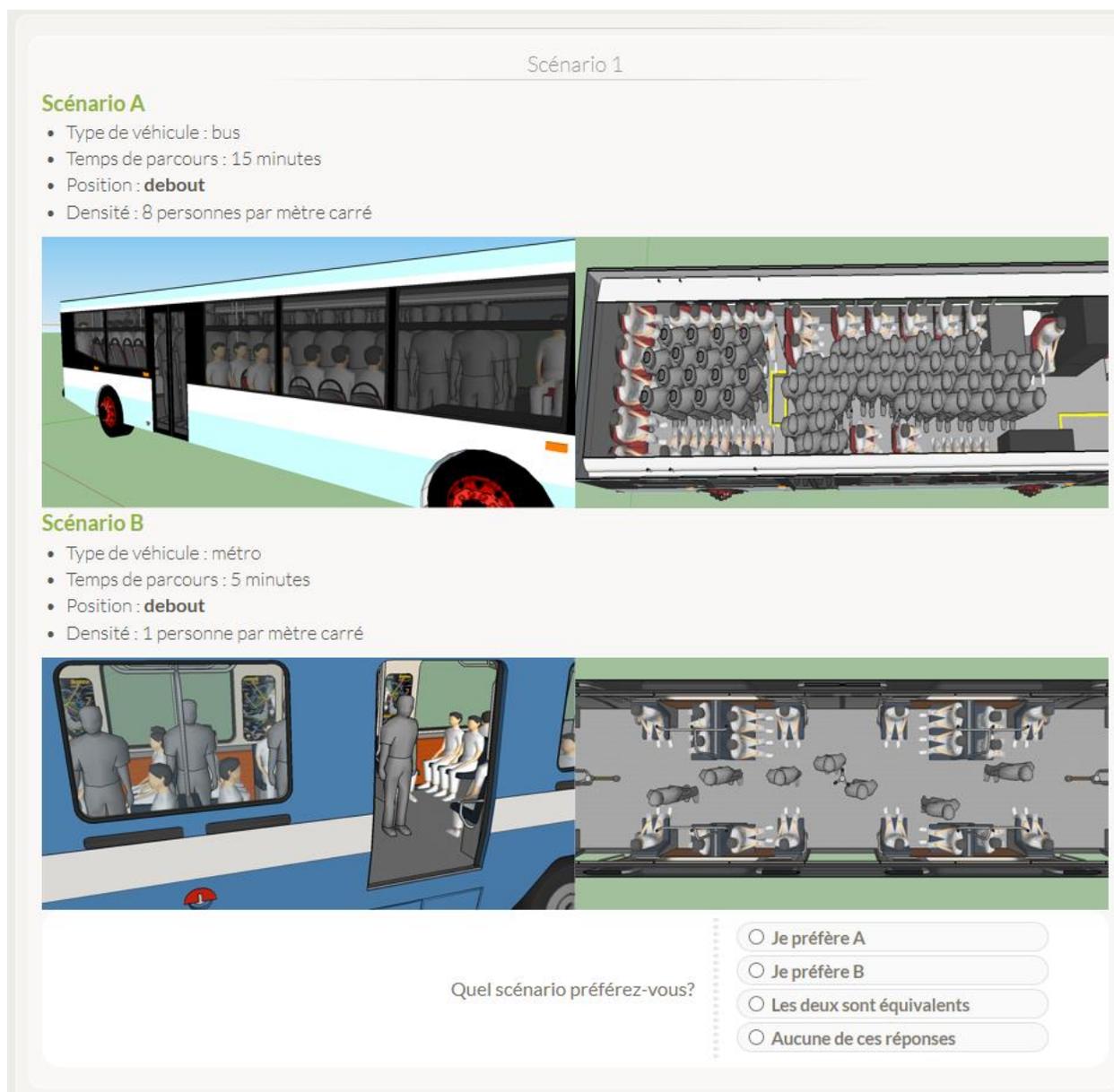


Figure 3-10: Module présentant les différents scénarios incluant une composante de confort

La densité de personnes debout par mètre carré est schématisée à chaque question afin que le répondant puisse visualiser la situation d'entassement à bord. De plus, il peut être difficile pour le répondant d'imaginer une densité de personnes debout à partir d'un chiffre pour lequel il ne connaît pas les équivalences associées à un nombre de personnes sur une surface donnée. Certains

chercheurs vont proposer des images neutres d'entassement tandis que d'autres vont proposer des schémas qui se rapprochent de la réalité. Afin de se rapprocher davantage de la réalité vécue par le répondant, il a été décidé de lui présenter des images qui représentent chaque véhicule. Pour ce faire, chaque scénario d'entassement dans chaque véhicule a été schématisé à l'aide d'images en trois dimensions réalisées à l'aide d'une banque de dessins disponibles sur le logiciel SketchUp 2017. Cela permet au répondant de mieux se situer par rapport à la situation qu'il vit à intervalle régulier dans les véhicules qu'il utilise. Les rendus de chaque situation d'entassement dans chaque véhicule sont présentés aux images suivantes.

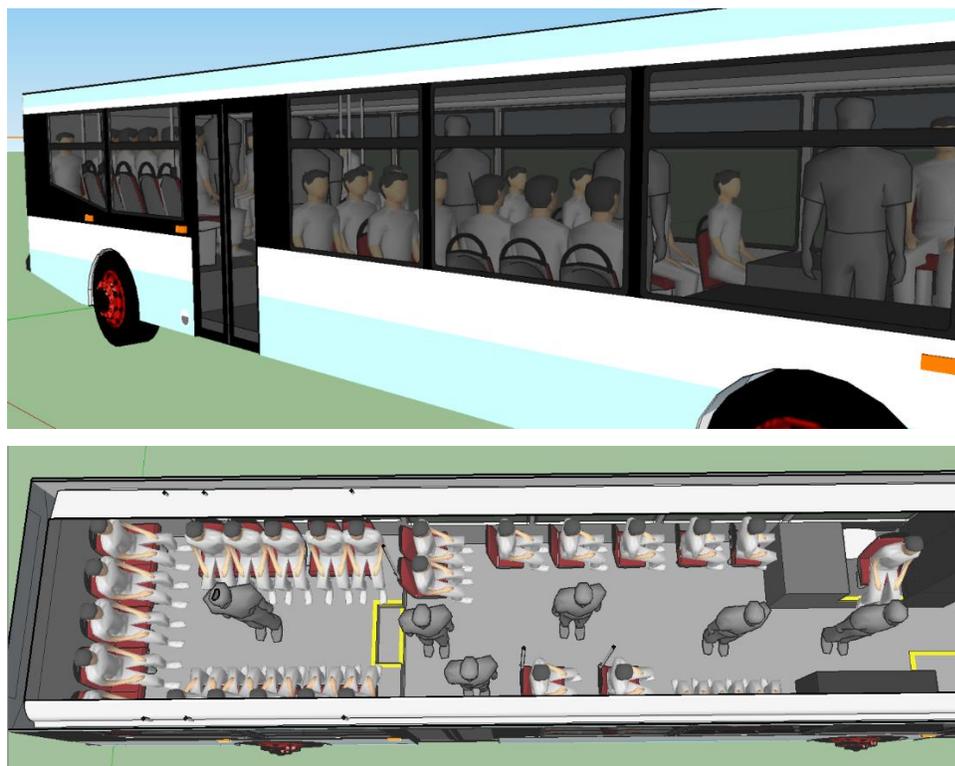


Figure 3-11: Visualisation de la densité d'une personne debout par mètre carré dans un autobus standard

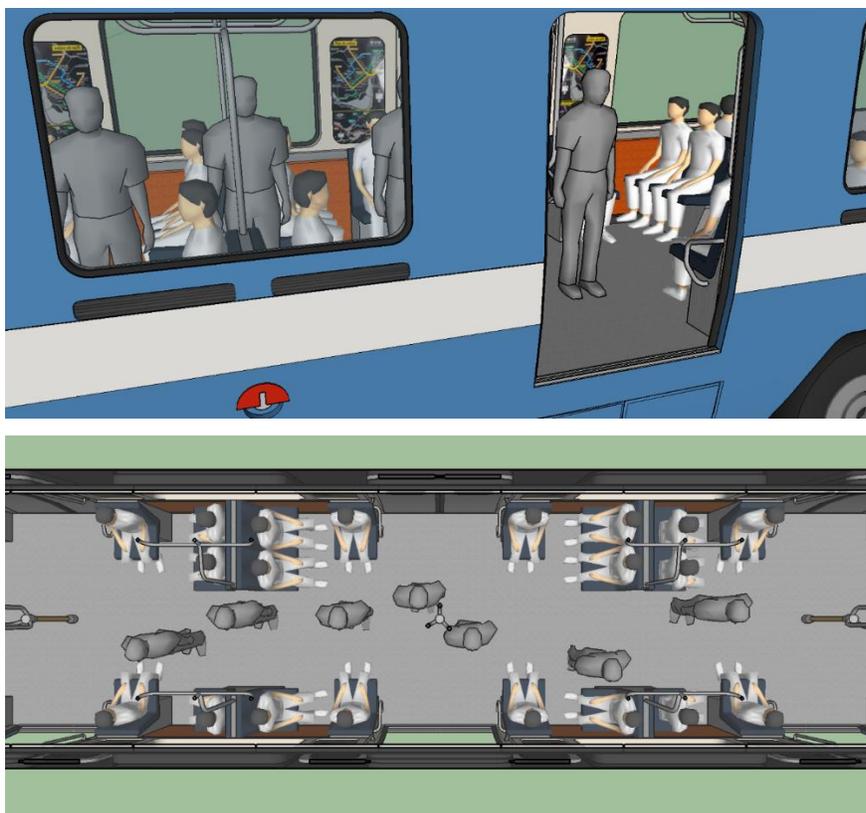


Figure 3-12: Visualisation de la densité d'une personne debout par mètre carré dans une voiture de métro

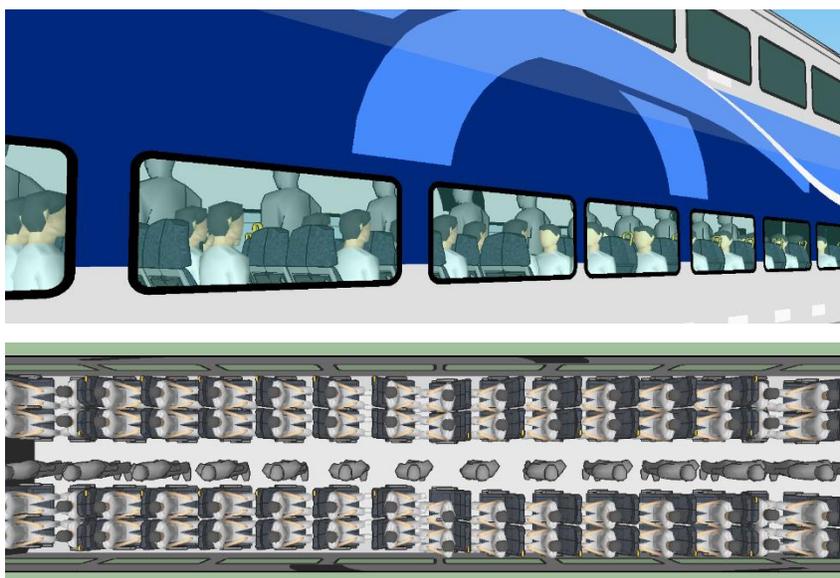


Figure 3-13: Visualisation de la densité d'une personne debout par mètre carré dans une voiture de train



Figure 3-14: Visualisation de la densité de quatre personnes debout par mètre carré dans un autobus standard

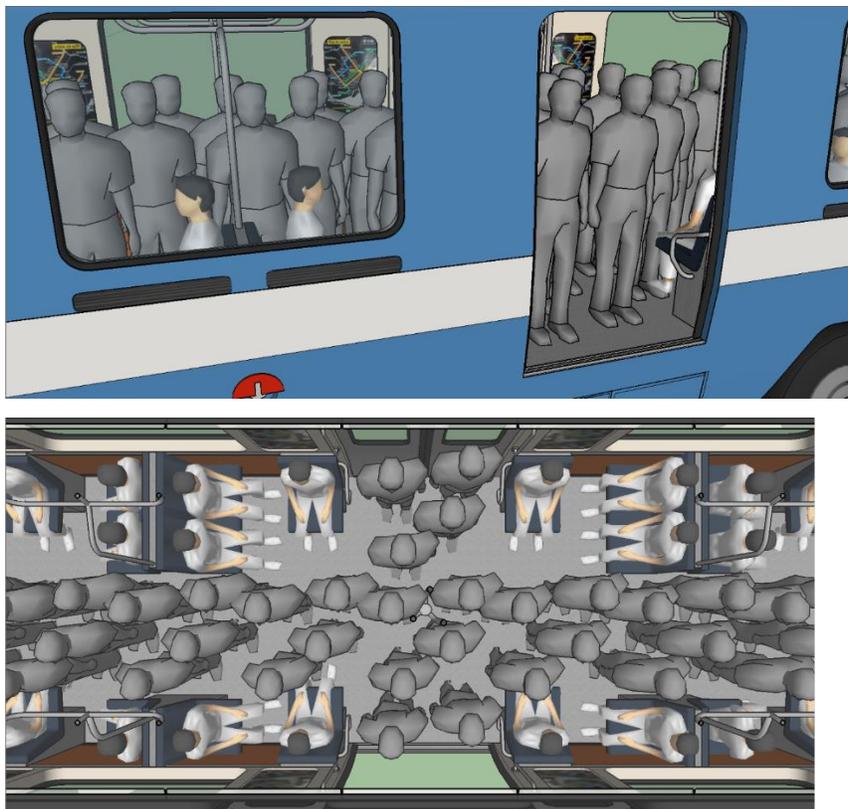


Figure 3-15: Visualisation de la densité de quatre personnes debout par mètre carré dans un métro

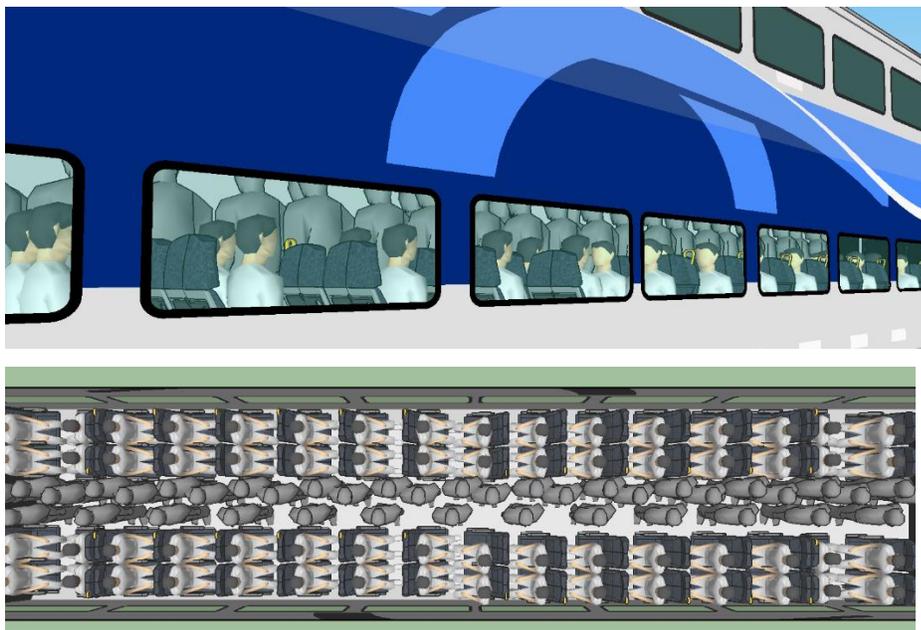


Figure 3-16: Visualisation de la densité de quatre personnes debout par mètre carré dans un train

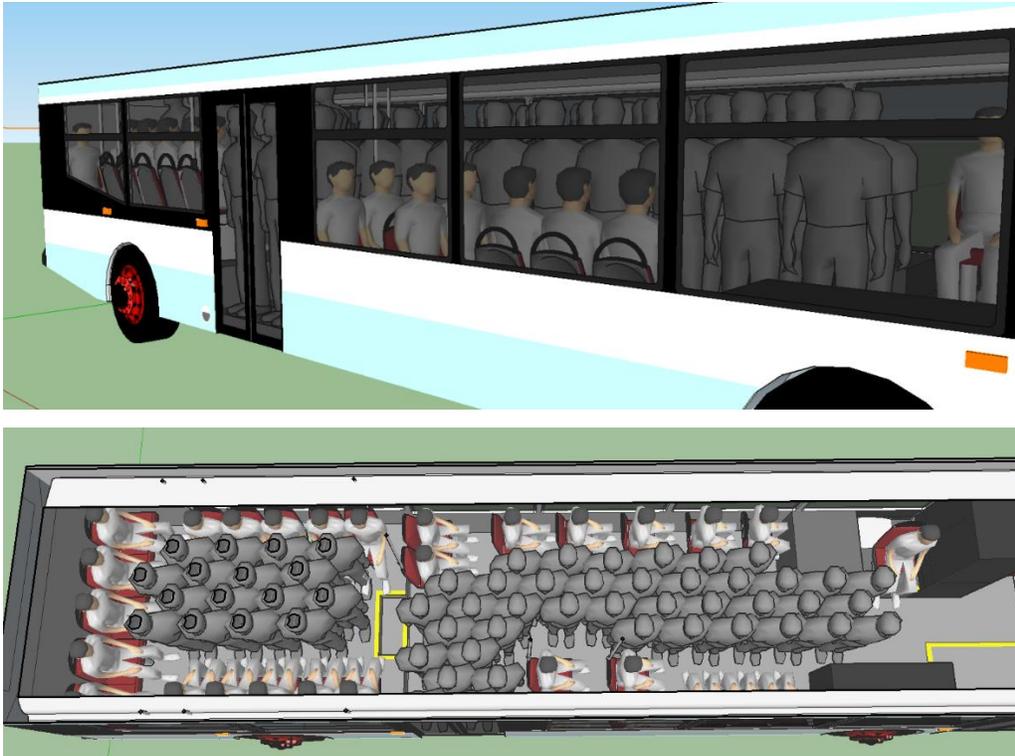


Figure 3-17: Visualisation de la densité de huit personnes debout par mètre carré dans un autobus standard

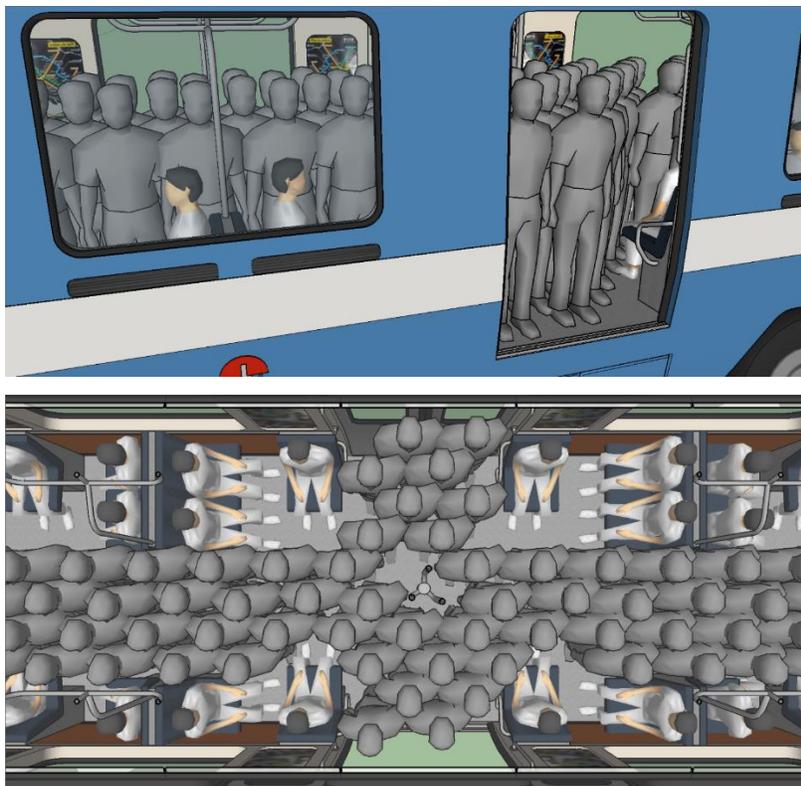


Figure 3-18: Visualisation de la densité de huit personnes debout par mètre carré dans un métro

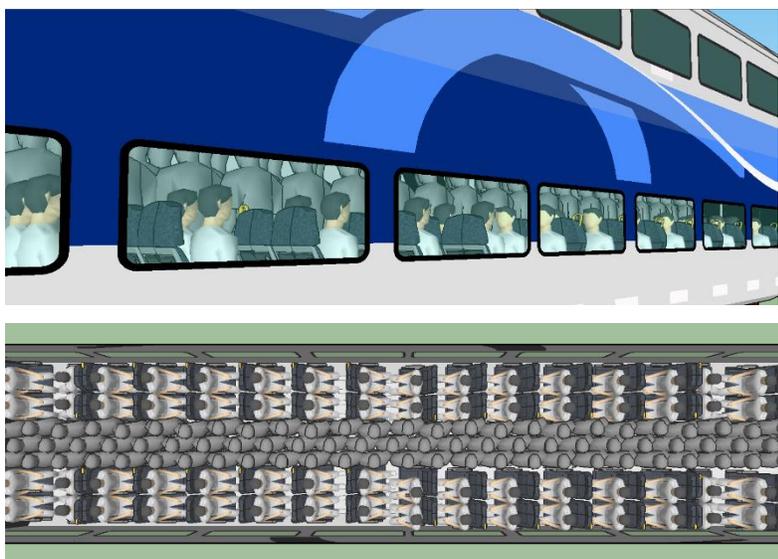


Figure 3-19: Visualisation de la densité de huit personnes debout par mètre carré dans un train

Chaque situation est modélisée à l'aide d'une vue de face et d'une vue de côté. Cela est fait ainsi afin que le répondant puisse s'imaginer la situation lorsqu'il voit le véhicule arriver à son arrêt d'embarquement et afin de se représenter correctement la situation dans le véhicule. La photo à

l'intérieur du véhicule n'est pas prise au niveau des yeux du répondant, car cela apporterait un biais sur la position du répondant et le répondant serait caché par les autres personnes autour de lui; ceci ne lui permettrait pas de voir correctement la situation d'entassement. Pour corriger ce problème, une vue de haut est prise afin de montrer correctement la situation d'entassement.

### 3.2.3.4 Module des attributs socio-démographiques

Le module des attributs socio-démographiques a pour but de prendre de l'information sur les caractéristiques de la personne, soit son âge, son sexe, son occupation, son revenu et si elle présente une limitation fonctionnelle. Le module est montré à la Figure 3-20.

The image shows a questionnaire form with the following sections:

- Quel âge avez-vous?**: A text input field.
- Sexe**: Radio buttons for **Femme**, **Homme**, and **Je m'identifie comme**, followed by a text input field.
- Occupation principale**: A dropdown menu.
- Avez-vous une incapacité physique ou intellectuelle permanente qui influence ou limite vos déplacements quotidiens?**: Radio buttons for **Oui**, **Non**, and **Je ne sais pas**.
- Seriez-vous intéressé(e) à participer à d'autres études sur la mobilité menées par des partenaires de l'enquête (Chaire Mobilité de Polytechnique Montréal, ARTM, STM, RTL, STL, Exo, Ville de Montréal et ministère des Transports)?**: Radio buttons for **Oui** and **Non**.
- Quelle était la tranche de revenu de votre ménage avant impôt (brut), en 2018? (facultatif)**: A dropdown menu.
- Vos commentaires et suggestions sur le questionnaire**: A large text area for comments.

Figure 3-20: Module questionnant sur les attributs socio-démographiques

Comme il est possible de le remarquer, le module a été créé afin que le répondant ne puisse entrer de l'information erronée. L'âge est contrôlé pour qu'il soit entre 0 et 100 ans, le sexe est une puce unique, l'occupation est un menu déroulant, le revenu est un menu déroulant et la limitation fonctionnelle est une puce unique. Cela permet de diminuer les risques d'erreurs associées aux

réponses des répondants. De plus, cela permet de faciliter la tâche de saisie des réponses par le répondant, rendant le questionnaire plus agréable à remplir.

### 3.3 Élaboration du modèle pour l'analyse des données

Cette section a pour but de présenter les principes qui guident l'analyse des données. À partir des résultats issus de l'enquête sur les préférences de confort, il est possible de générer un temps perçu à partir de l'utilité de chaque combinaison. Pour ce faire, une fonction d'utilité est calculée à partir d'un modèle logistique multinomial. La structure de l'équation utilisée est présentée à l'Équation 3-6.

Équation 3-6: Structure de l'équation d'utilité pour décrire chaque alternative possible

$$Utilité_{xy} = \beta_{TP} * TP_{xy} + \beta_{Densité} * Densité_{xy} + \beta_{Véhicule} * Véhicule_{xy} + \beta_{Position} * Position_{xy} + \varepsilon$$

L'utilité correspond à l'attractivité d'une alternative étudiée. X représente le scénario sur lequel l'étude du choix est faite, sur une possibilité de 27 scénarios possibles, et Y représente l'alternative 1 ou 2 pour un scénario donné. TP représente le temps de parcours, Densité représente la densité de personnes debout à bord, Véhicule représente le mode, soit bus, train et métro et Position représente la position assise ou debout. L'équation prend en compte le temps de parcours, la densité de personnes debout par mètre carré, la position et le véhicule. Il s'agit d'un modèle simple qui ne prend en compte aucune variable d'interaction. Les coefficients pour chaque variable sont calculés afin d'obtenir les facteurs décrivant chaque variable. Une fois l'utilité calculée pour chaque alternative, il est possible de retrouver le temps de parcours équivalent dans une situation où l'entassement est plus élevé que la référence. La référence correspond à une densité d'une personne par mètre carré et la position assise.

#### 3.3.1 Type des variables

Afin de modéliser chaque variable dans l'équation, il faut choisir le bon type de variable. Pour la position, la variable est binaire, car le choix est soit d'être debout ou assis. Pour la variable du véhicule, il s'agit d'une variable catégorielle de trois valeurs, soit le bus, le métro ou le train. Dans le cas du temps de parcours, il s'agit d'une variable continue. Dans les résultats, les valeurs

possibles du temps de parcours sont 5, 10, 15, 20, 25 et 35 minutes puisque ce sont les seules valeurs possibles dans les scénarios étudiés.

Dans le cas de la densité de personnes debout par mètre carré, il y a trois valeurs possibles, soit 1, 4 et 8 personnes par mètre carré. Il est possible de considérer la variable comme une variable catégorielle ou comme une variable continue. Dans le cadre de l'analyse des données, les deux possibilités sont analysées et évaluées.

### 3.3.2 Équations d'utilité

Deux équations d'utilité sont développées pour la suite de l'analyse des données. Tout d'abord, la première équation d'utilité prend en compte la densité de personnes debout par mètre carré comme une variable catégorielle. L'équation est présentée à l'Équation 3-7.

Équation 3-7: Équation d'utilité en considérant la densité de personnes debout par mètre carré comme une variable catégorielle

$$Utilité_{xy} = \beta_{TP} * TP_{xy} + \beta_{C4} * C4_{xy} + \beta_{C8} * C8_{xy} + \beta_{Bus} * Bus_{xy} + \beta_{Train} * Train_{xy} + \beta_{Debout} * Debout_{xy} + \varepsilon$$

Vu que la densité est considérée comme une variable catégorielle, la variable est divisée par valeur possible. Deux variables sont utilisées dans l'équation, soit 4 personnes par mètre carré (C4) et 8 personnes par mètre carré (C8) et prennent la valeur 0 ou 1. Il est possible à partir de C4 et C8 de déduire la valeur d'une personne par mètre carré, faisant qu'il n'est pas nécessaire de l'ajouter dans l'équation. Le même raisonnement est utilisé pour la variable du véhicule, où le bus et le train sont utilisés dans l'équation, faisant qu'il est possible de déduire le métro. Finalement, la position debout est considérée dans l'équation, ce qui permet de déduire la position assise.

La deuxième équation de choix consiste à utiliser la densité de personnes debout par mètre carré comme une variable continue. L'équation associée est présentée à l'Équation 3-8.

Équation 3-8: Équation d'utilité en considérant la densité de personnes debout par mètre carré comme une variable continue

$$Utilité_{xy} = \beta_{TP} * TP_{xy} + \beta_{Densité} * Densité_{xy} + \beta_{Bus} * Bus_{xy} + \beta_{Train} * Train_{xy} + \beta_{Debout} * Debout_{xy} + \varepsilon$$

En considérant la variable de densité comme une variable continue, il est possible d'utiliser une seule variable pour décrire l'ensemble des valeurs de densité possibles. Les autres variables ont le même comportement que précédemment.

Les deux fonctions d'utilité n'ont pas de termes d'interaction, faisant que qu'elle est seulement additive. Cela veut dire que la position et la densité viennent ajouter une quantité de minutes sans considération aux autres variables possibles.

### 3.3.3 Valeur du temps de parcours

Après avoir déterminé les équations d'utilité à tester, il est possible de générer les coefficients pour chaque variable explicative. Les coefficients sont ensuite utilisés pour calculer l'utilité pour chaque alternative développée.

À partir de l'utilité calculée pour chaque alternative, il est possible de calculer le temps équivalent en comparant avec une situation de référence. La situation de référence considérée sera lorsque la densité est d'une personne par mètre carré et que la personne est assise lors de son déplacement. Il est donc possible de calculer le temps équivalent en utilisant l'utilité de référence et en calculant le temps de la situation étudiée pour avoir la même utilité que celle de référence.

Il est possible de faire le calcul lorsque la densité est une variable catégorielle ou lorsque la densité est une valeur numérique. La méthode de calcul lorsque la densité est une valeur catégorielle est illustrée à l'Équation 3-9.

Équation 3-9: Méthode de calcul du temps équivalent pour une situation de densité et de position par rapport à l'utilité de la situation de référence lorsque la densité est catégorielle

*Temps équivalent*<sub>x,y</sub> =

$$\frac{\text{Utilité}_{\text{référence}} - (\beta_{C4} * C4_{xy} + \beta_{C8} * C8_{xy} + \beta_{Bus} * Bus_{xy} + \beta_{Train} * Train_{xy} + \beta_{Debout} * Debout_{xy} + \varepsilon)}{\beta_{TP}}$$

Les valeurs de  $\beta$  n'ont qu'une seule valeur. Selon le scénario étudié, les valeurs des variables prennent zéro ou un. Ainsi, le scénario bus, 1 personne par mètre carré assis donne zéro pour l'ensemble des variables et donne un facteur multiplicatif de 1.

La deuxième méthode consiste à considérer la densité comme une variable numérique. L'équation du facteur multiplicatif du temps de parcours est présentée à l'Équation 3-10.

Équation 3-10: Méthode de calcul des facteurs multiplicatifs en considérant la densité comme une variable catégorielle

*Temps équivalent*<sub>x,y</sub> =

$$\frac{Utilité_{référence} - (\beta_{Densité} * Densité_{xy} + \beta_{Bus} * Bus_{xy} + \beta_{Train} * Train_{xy} + \beta_{Debout} * Debout_{xy} + \varepsilon)}{\beta_{TP}}$$

Les valeurs des coefficients  $\beta$  sont les mêmes peu importe les valeurs de densité utilisées. De plus, afin de prendre en compte l'impact d'être debout, le coefficient debout est aussi ajouté. Si le fait d'être debout est étudié, la valeur de la variable Debout est 1, 0 sinon. La même logique est appliquée pour la variable du train et du bus.

## CHAPITRE 4 DIAGNOSTIC DU CONFORT À MONTRÉAL

Cette section présente les résultats issus du diagnostic du confort à bord du réseau d'autobus de la STM. Pour effectuer les calculs, les données GTFS pour l'automne 2017 ont été utilisées afin de déterminer l'offre de service sur le réseau bus de la STM. Pour déterminer les arrêts d'embarquement et de débarquement, les données de l'Enquête OD 2013 ont été utilisées et ont été jumelées avec le nombre de transactions CAP pour le mois de septembre 2017.

### 4.1 Offre de transport

L'offre de transport est calculée à partir des données GTFS d'automne 2017. Le nombre de places disponibles est compté à chaque tronçon inter-arrêt et prend en compte le type de véhicule qui dessert la ligne ainsi que le nombre de véhicules passant sur le tronçon pour chaque créneau d'heure donné. Tout d'abord, le nombre de places assises par tronçon inter-arrêt pour un jour de semaine est présenté à la Figure 4-1.



Figure 4-1: Offre en places assises pour chaque tronçon inter-arrêt sur le réseau bus de la STM

Le nombre de places assises varie en fonction du nombre de bus et du nombre de places assignées pour chaque bus. Dans le cas suivant, il est possible de remarquer que le nombre de places offertes est plus élevé sur les grandes artères, que ce soit Pie-IX, Côte-des-Neiges ou St-Michel. La grande fréquence de certaines lignes ainsi que l'utilisation de bus articulés contribuent à augmenter l'offre de places sur ces tronçons. Il est pertinent de remarquer que l'offre est plus importante dans les quartiers centraux qu'en périphérie.

Vu que les situations de saturation arrivent principalement pendant les heures de pointe, il est pertinent de visualiser l'offre de service pendant la période de pointe du matin. Pour ce faire, il est considéré que la période de pointe du matin s'étend sur tous les départs effectués entre 6h et 8h59. La Figure 4-2 présente les résultats.

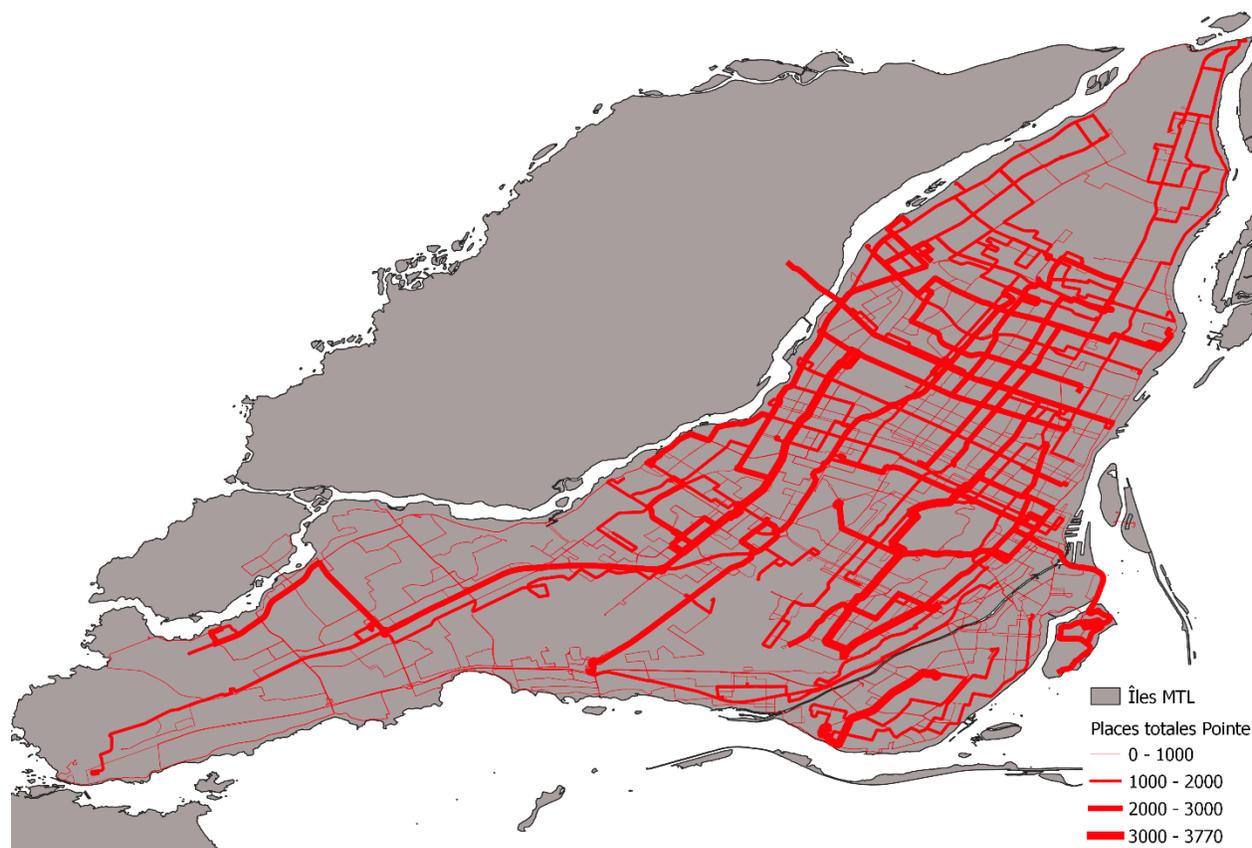


Figure 4-2: Nombre de places assises disponibles lors de la pointe du matin pour le réseau de bus. La répartition de l'offre en transport sur les lignes d'autobus est semblable qu'en période 24h. Cela veut dire que les lignes centrales ont une offre plus élevée que les lignes plus excentrées. Certaines lignes vont avoir une offre bonifiée en période de pointe du matin par rapport à la période 24h. Il

est possible de voir ces bonifications sur l'axe Pie-IX à Laval, sur le chemin de la Côte-de-Liesse, le long de l'autoroute 40 dans l'ouest de Montréal et la rue Sherbrooke dans l'est de Montréal. Les lignes locales ont une offre de service qui reste limitée par rapport à l'offre sur les grands axes de la municipalité.

## **4.2 Demande de transport**

La demande en transport est calculée à partir du jumelage entre l'enquête OD ainsi que des données CAP. L'enquête OD permet de déterminer la proportion d'embarquements et de débarquements à chaque arrêt-ligne et les transactions mensuelles CAP moyennes par lignes permettent d'estimer la charge réelle à bord des véhicules. Dans cette section, la demande est calculée afin de visualiser les lieux d'embarquement et de débarquement importants sur le réseau de bus de la STM. Les données CAP utilisées datent de septembre 2017.

### **4.2.1 Nombre moyen d'embarquements**

Tout d'abord, il est possible de visualiser le nombre moyen d'embarquements pour une période de 24 heures sur le réseau bus de la STM. Le nombre d'embarquements par arrêt est illustré à la Figure 4-3.

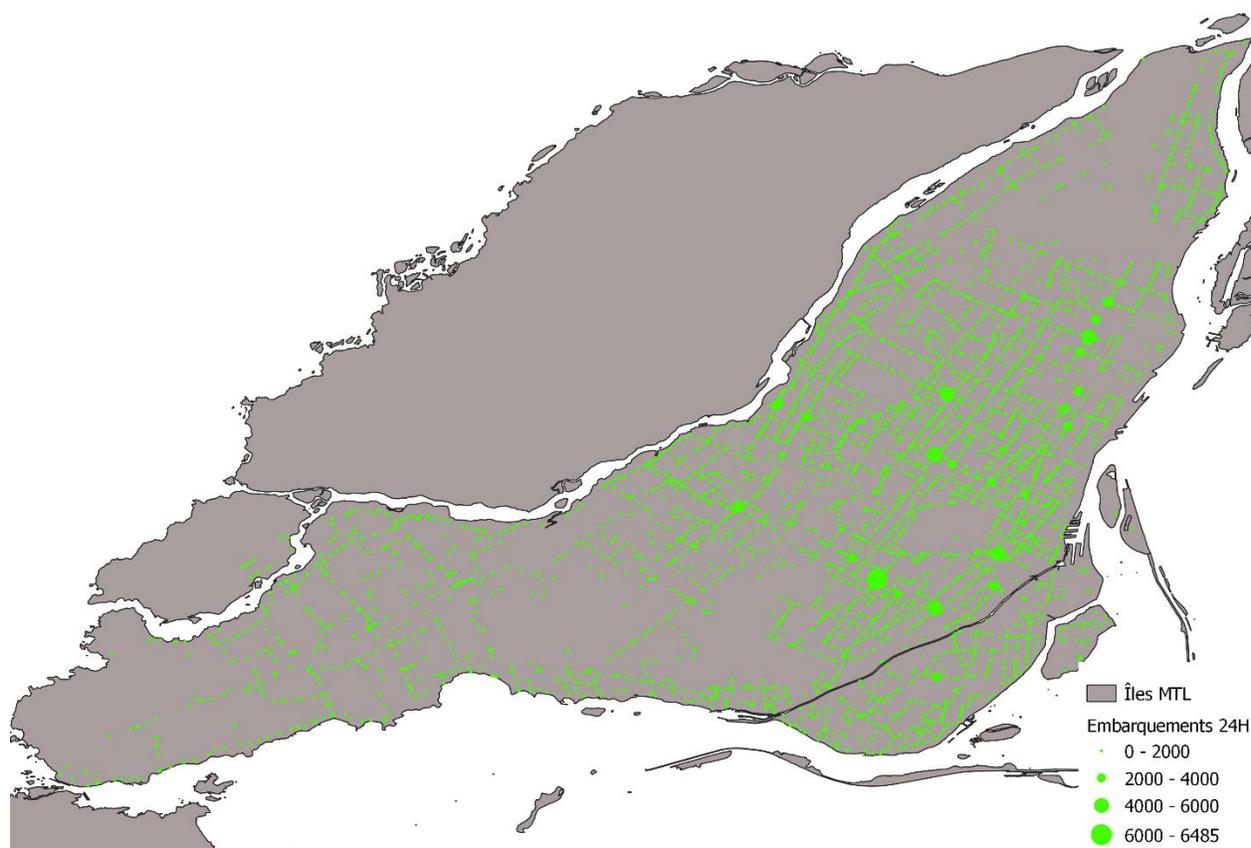


Figure 4-3: Nombre de montants par arrêt pour un jour de semaine sur le réseau bus de la STM

Le nombre d'embarquements semble distribué à l'ensemble des arrêts et avec certains arrêts plus achalandés près de certains points. Les stations de métro semblent être les lieux où le taux d'embarquement est le plus élevé sur l'ensemble du territoire. Cela peut s'expliquer par le fait que des voyageurs vont sortir du métro pour ensuite faire une correspondance avec un bus qui va les amener plus près de leur destination. Les stations de métro où les nombres d'embarquements sont les plus élevés semblent être Côte-Vertu, Snowdon, Vendôme, St-Michel et Henri-Bourassa. Par la suite, le nombre d'embarquements semble plus élevé sur certains grands axes, tels que le Boulevard Pie-IX et le Boulevard Henri-Bourassa et semble plus faible dans les quartiers résidentiels de basse densité.

## 4.2.2 Nombre moyen de débarquements

En appliquant la même méthodologie que le nombre d'embarquements pour le réseau de bus, il est possible de déterminer le nombre de débarquements sur l'ensemble de la journée pour le réseau de bus. Celui-ci est illustré à la Figure 4-4.

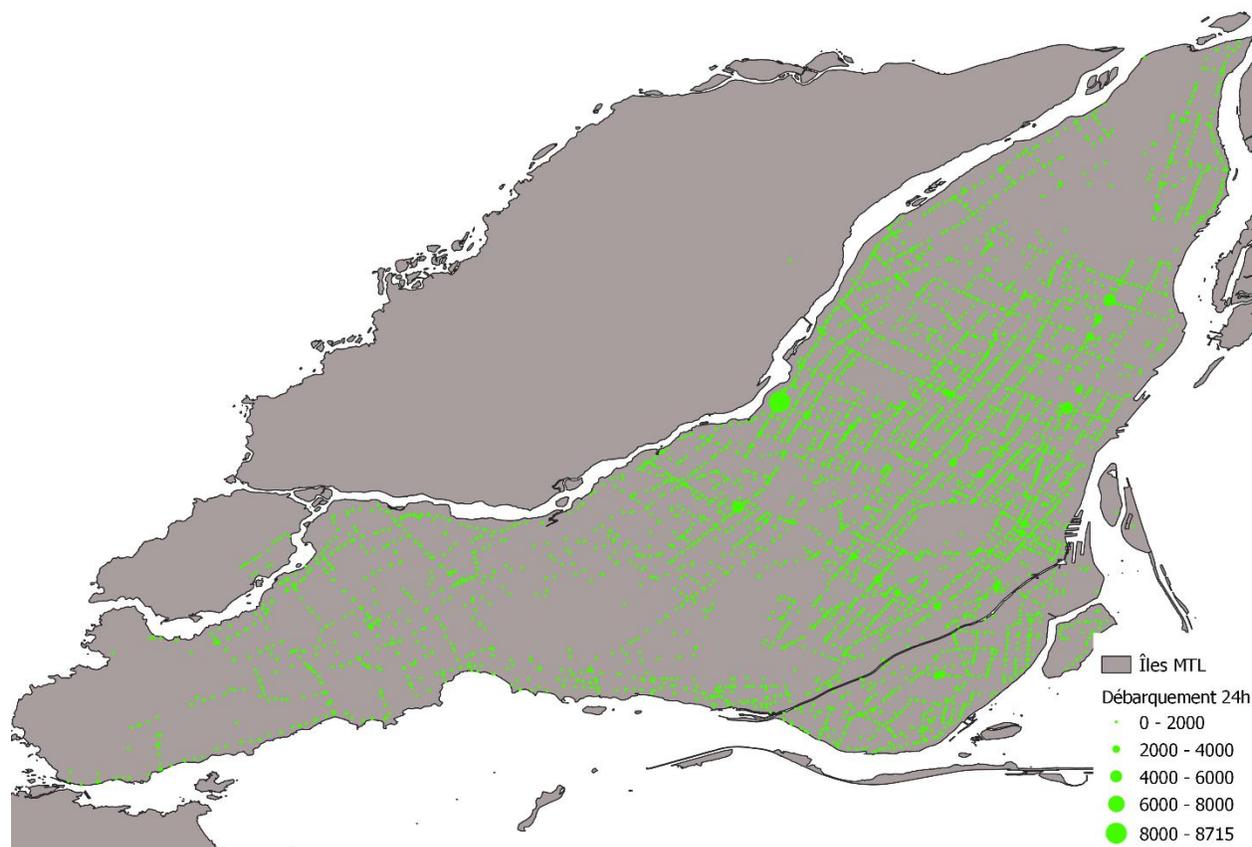


Figure 4-4: Nombre de descendants pour une journée moyenne pour les arrêts de bus de Montréal

Le nombre de débarquements est encore une fois distribué sur l'ensemble du territoire. Certains arrêts ont un plus grand nombre de débarquements et ces arrêts sont généralement à proximité de stations de métro ou de grands générateurs de déplacements. Il est possible de remarquer une plus grande proportion de débarquements encore une fois à proximité des stations de métro et aux gares de trains. Les endroits où les usagers des bus débarquent le plus souvent semblent être aux stations Côte-Vertu, Snowdon, Pie-IX, St-Michel et Henri-Bourassa, ce qui représente encore une fois la tendance des embarquements.

### 4.3 Ratio de personnes par siège

Le ratio de personnes par siège permet de déterminer la proportion entre le nombre de personnes à bord à chaque tronçon inter-arrêt et le nombre de sièges disponibles dans le véhicule. Le RPS est calculé pour chaque tronçon inter-arrêt pour une ligne donnée. Chaque ligne est affichée individuellement, donc lorsque plusieurs lignes passent sur un même tronçon, seule la ligne la plus achalandée est affichée. De plus, les lignes sont aussi segmentées par direction. Pour la visualisation des résultats, les codes de couleur suivants sont proposés. Le tronçon est vert lorsque le RPS est inférieur à 0,5. Le tronçon est jaune lorsque le RPS est entre 0,5 et 1,0. Le tronçon est rouge lorsque le RPS est supérieur à 1. La couleur verte est choisie afin de montrer que plus de la moitié des sièges sont inoccupés, faisant que les voyageurs ont accès à plusieurs places assises. La couleur jaune est utilisée pour illustrer que plus de la moitié des places assises sont occupées, faisant qu'il s'agit d'un tronçon à surveiller. La couleur rouge est utilisée afin de montrer les endroits où toutes les places assises sont utilisées et où il pourrait être bénéfique d'ajouter des véhicules pour offrir plus de places assises. Tout d'abord, la Figure 4-5 illustre le RPS pour une période de 24h sur une journée de semaine pour l'année 2017.

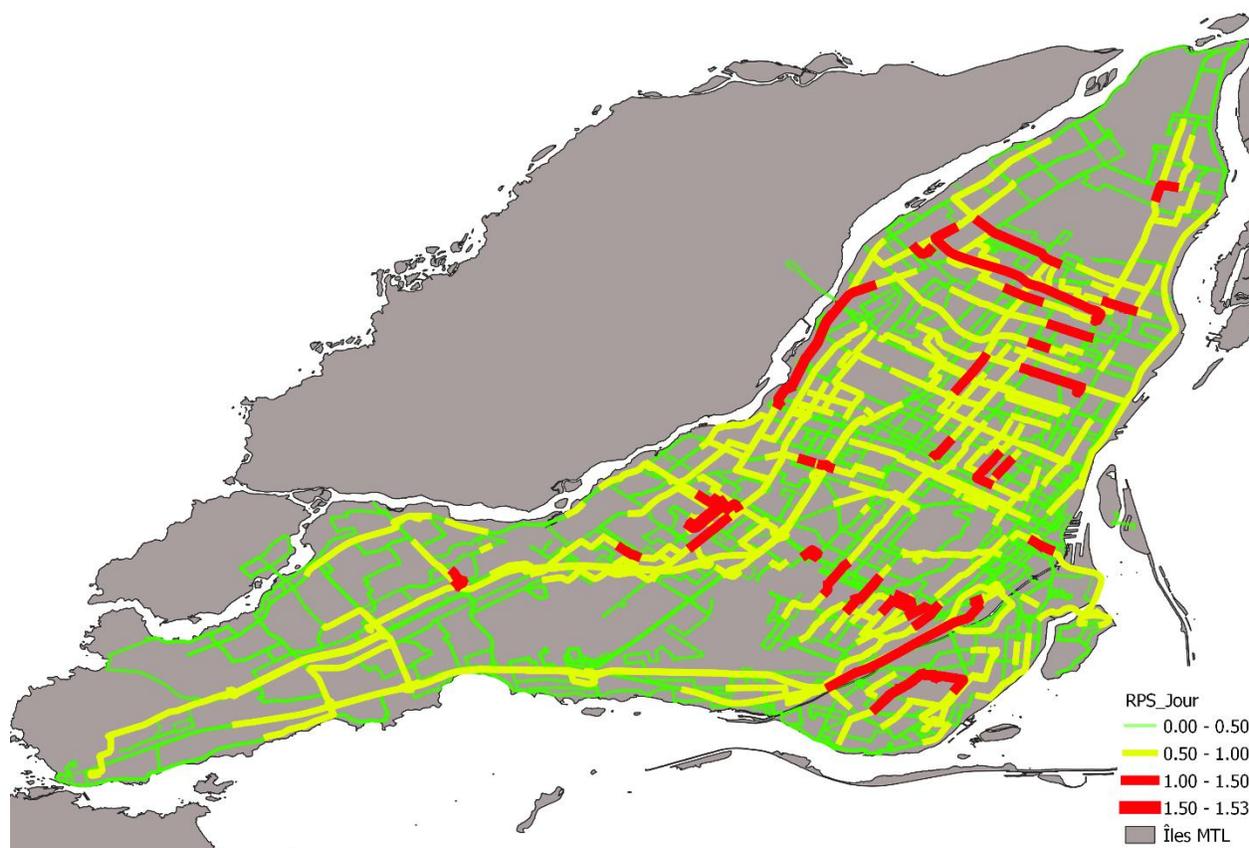


Figure 4-5: Ratio de personnes par siège moyen pour un jour de semaine sur une période de 24h

Il est possible de remarquer qu'en général, le RPS est plus faible dans les secteurs éloignés du centre de Montréal et tend à être plus élevé en se rapprochant des quartiers centraux. Le RPS varie à l'échelle du territoire entre 0 et 1,53. De plus, les grands boulevards sont plus utilisés que les rues locales. Les secteurs où le nombre de personnes à bord dépasse le nombre de places disponibles se situent le long du Boulevard Notre-Dame, sur le chemin Queen-Mary en direction du métro Snowdon et certains boulevards dans l'est de Montréal en direction d'une station de métro de la ligne verte. Il est important de souligner le fait que sur certains tronçons, où il y a plusieurs lignes qui passent, certaines ayant des taux d'occupation plus élevés que d'autres. Il pourrait être pertinent d'étudier les lignes moins achalandées pour comprendre les habitudes de déplacement des usagers de ces lignes et potentiellement redistribuer la demande des lignes plus achalandées vers ces lignes moins achalandées.

Le même exercice est fait pour la période de pointe du matin. La Figure 4-6 présente le RPS pour chaque tronçon inter-arrêt.

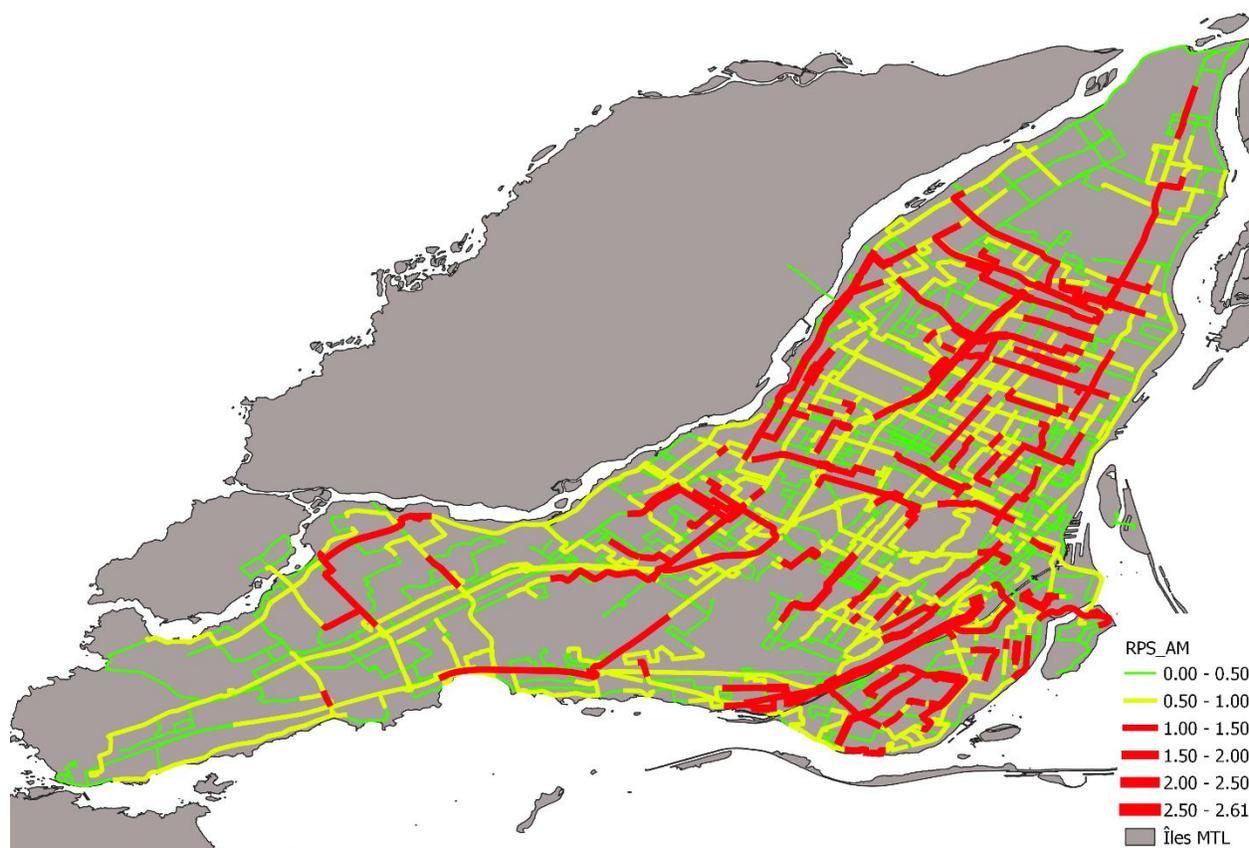


Figure 4-6: Ratio de personnes assises pour une heure de pointe du matin moyenne

Il est possible de remarquer que le RPS varie entre 0 et 2,61. Cela veut dire qu'à plusieurs endroits il y a plus de personnes que de places assises disponibles à bord. Cela est très fréquent pour les quartiers centraux de Montréal et moins fréquent pour l'extrémité ouest de l'île. Ce sont les grandes lignes qui sont les plus achalandées par rapport aux lignes locales. Cela semble être lié au fait que la densité est plus élevée dans les quartiers centraux et que les voyageurs transitent par les stations métro pour arriver à leur destination. Cela implique que la charge s'accumule au point d'avoir un nombre de personnes plus élevé que le nombre de sièges. De plus, il est possible de remarquer que le RPS est plus élevé sur les lignes passant sur de grandes artères et plus faibles pour les lignes passant sur des rues résidentielles.

#### 4.4 Ratio de personnes par place

Le ratio de personnes par place permet de déterminer les endroits où le nombre moyen de personnes à bord pour une période donnée approche de la saturation. Pour ce faire, la charge à bord du

véhicule est calculée pour chaque tronçon inter-arrêt. Ensuite, le rapport entre le nombre de personnes à bord et le nombre de places assises et debout est calculé pour estimer le RPP. Le calcul est fait pour chaque départ. Pour avoir la représentation pour une période de la journée, la moyenne est calculée à partir de l'ensemble des départs dans la période visée. Au niveau des couleurs, il est décidé d'utiliser le vert lorsque le RPP est inférieur à 0,4, qui correspond à la proportion de places assises par rapport à la proportion de places totales dans un véhicule. Ensuite, il est décidé d'utiliser le jaune lorsque le RPP se situe entre 0,4 et 1,0 pour illustrer les endroits où les voyageurs sont confrontés à un manque de places assises. Finalement, le rouge indique les endroits où le RPP est plus grand que 1, voulant dire qu'il y a plus de personnes à bord que la capacité du véhicule, ce qui peut mener à des enjeux de sécurité pour les voyageurs et les chauffeurs.

Tout d'abord, la Figure 4-7 présente le RPP moyen pour une journée type.

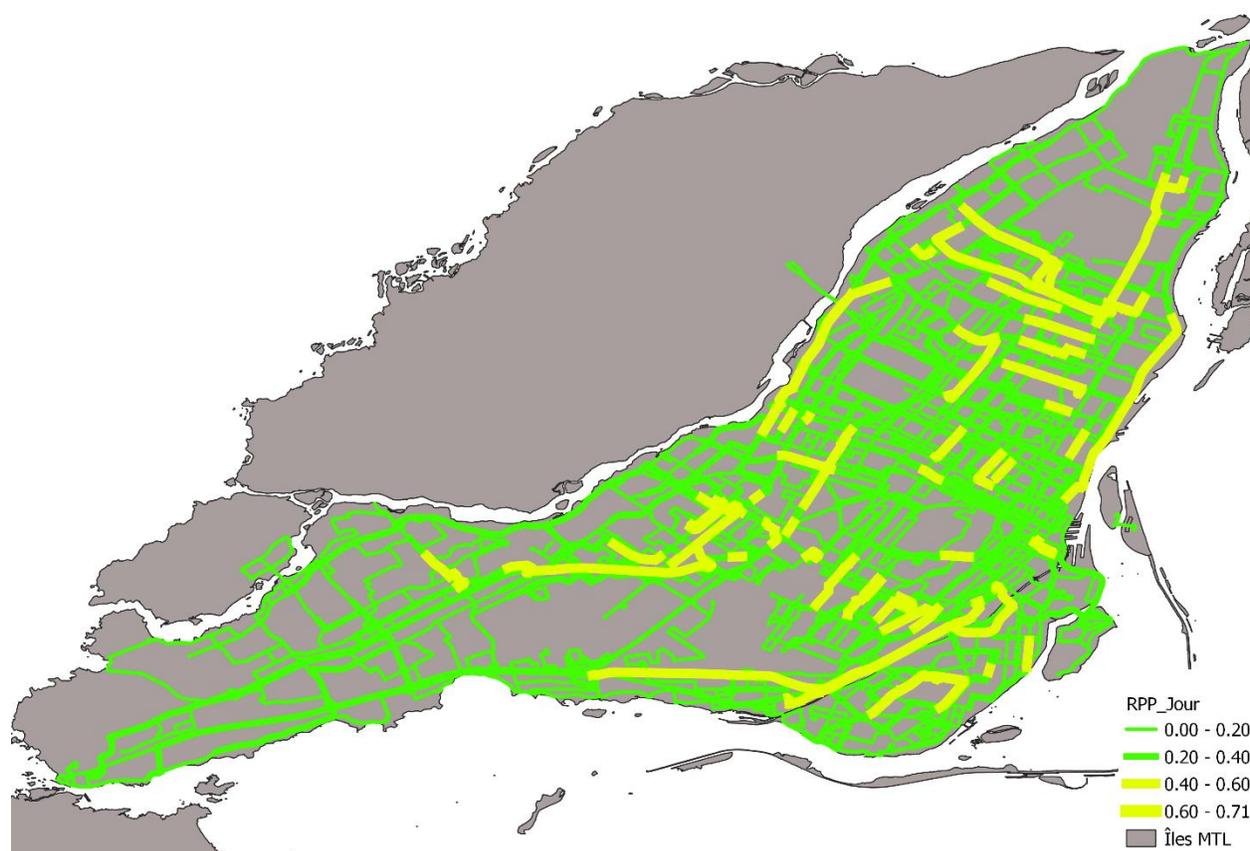


Figure 4-7: RPP pour une journée type

Il est possible de remarquer que le RPP pour l'ensemble des arrêts de Montréal est inférieur à 0,67, impliquant que pour l'ensemble d'une journée le nombre moyen de personnes à bord des bus

n'atteint pas la saturation sur une ligne donnée. Le RPP est plus élevé dans les quartiers centraux et est plus faible pour les quartiers de basse densité de part et d'autre de l'Île.

Par la suite, il est possible de voir les tendances en heure de pointe du matin. La Figure 4-8 illustre les résultats.

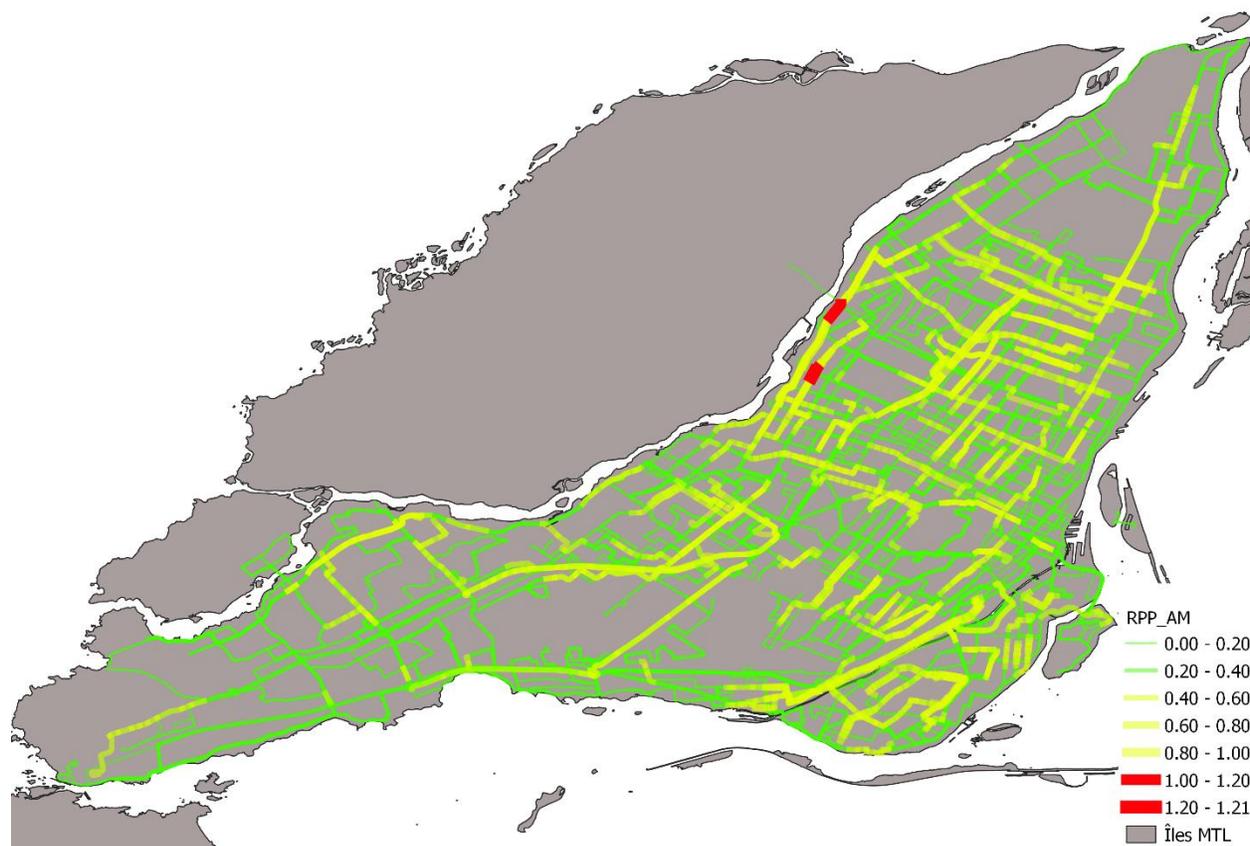


Figure 4-8: RPP moyen pour l'heure de pointe du matin

Le RPP moyen dépasse 1 pour certains tronçons, en particulier sur le Boulevard Henri-Bourassa et la rue Sauvé. Ces tronçons où la charge est plus grande que la capacité sont courts. Cela veut dire que les voyageurs sont entassés pour une courte distance et qu'une forte proportion de personnes débarquent à un arrêt attracteur. Il pourrait être pertinent d'étudier les lignes où le RPP est au-delà de la valeur 1, car un RPP plus grand que 1 veut dire qu'il y a plus de personnes à bord que la capacité du véhicule, faisant qu'il peut y avoir des enjeux de sécurité à bord. Dans l'ensemble, les mêmes tendances que pour le RPS sont observées : le RPP est plus élevé dans les quartiers centraux de Montréal et tend à diminuer à mesure que l'arrêt se trouve éloigné du centre et dans des secteurs peu denses. La tendance se voit surtout dans les quartiers situés à l'ouest de l'Île de Montréal.

## 4.5 Probabilité d'avoir une place assise

La probabilité d'avoir une place assise se calcule en fonction de la charge moyenne d'un véhicule partant de l'arrêt étudié. L'ensemble des lignes passant à l'arrêt sont considérées. La charge considérée correspond à la charge moyenne de l'ensemble des véhicules passant à l'arrêt après l'embarquement et le débarquement des passagers. Dans les GTFS, chaque ligne-direction a sa propre série d'arrêts codés. Cela veut dire que les calculs sont effectués pour chaque arrêt de chaque ligne-direction. Par la suite, la probabilité est calculée en considérant une loi de Poisson pour laquelle l'espérance correspond à la charge moyenne de l'ensemble des lignes passant à l'arrêt enquêté. La probabilité d'avoir une place assise consiste à calculer la probabilité que la charge à bord du bus soit inférieure au nombre de places assises disponibles à bord du véhicule.

La probabilité d'avoir une place assise pour l'ensemble de la journée est illustrée à la Figure 4-9.

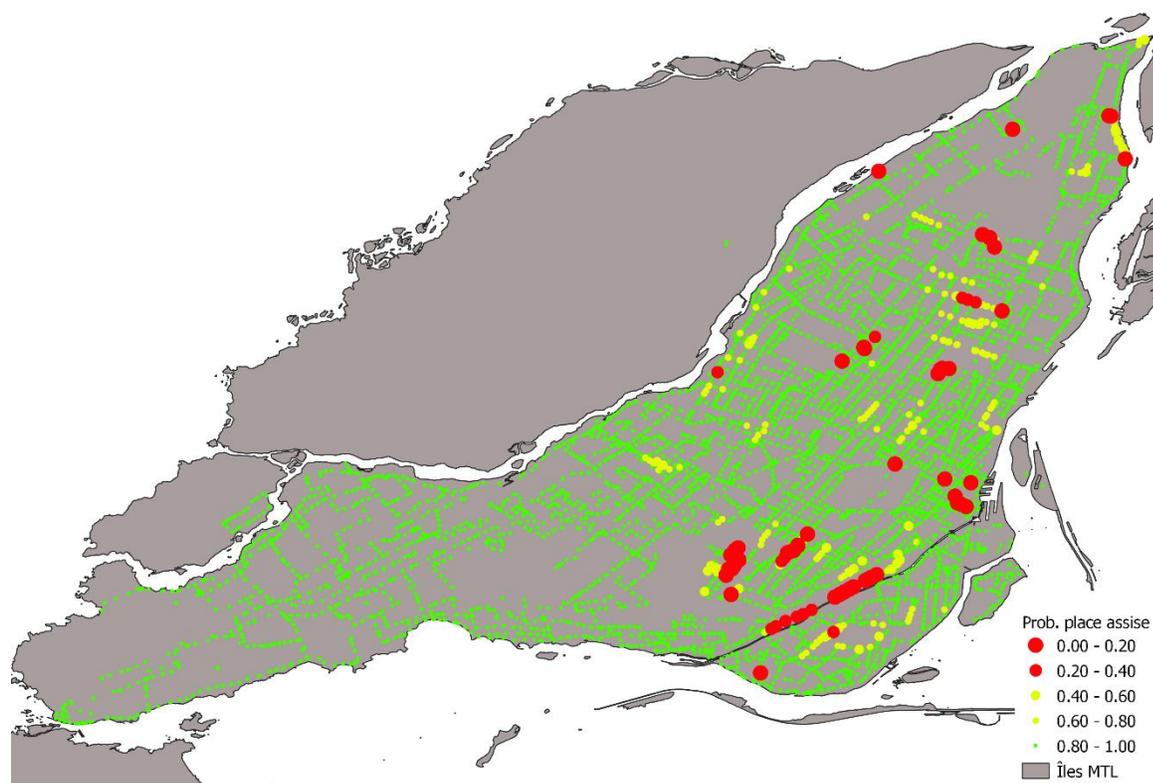


Figure 4-9: Probabilité d'une place assise pour une journée type

La probabilité d'avoir une place assise pendant la journée semble être élevée pour l'ensemble du territoire à l'exception de certains endroits. Les principaux tronçons où la probabilité d'avoir une

place assise est plus faible semblent être à proximité du centre-ville, le long de l'autoroute 20 ainsi que sur le Boulevard Notre-Dame dans l'est de Montréal. Il y a quelques arrêts qui semblent avoir une probabilité plus faible, mais cela semble s'expliquer par le fait que l'autobus s'approche d'une station de métro et donc se remplit et ensuite se vide à l'arrivée à la station, permettant de libérer des places assises et d'augmenter la probabilité d'obtenir une place assise à bord par la suite.

La probabilité d'avoir une place assise pendant l'heure de pointe du matin est illustrée à la Figure 4-10.

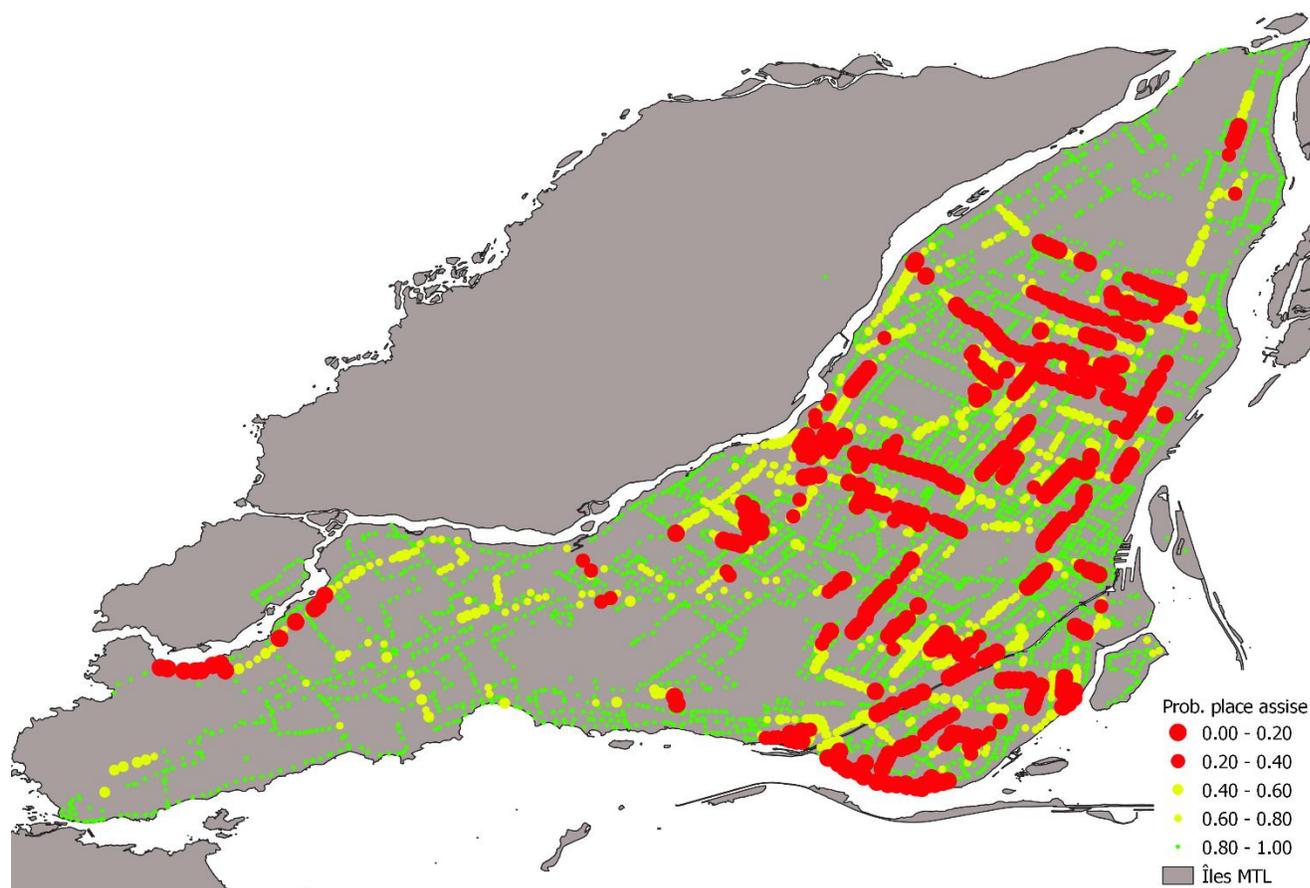


Figure 4-10: Probabilité d'une place assise pour la période de pointe du matin

Il est possible de remarquer que la probabilité d'avoir une place assise est plus faible en période de pointe que sur 24h. Comme il a été remarqué précédemment, le nombre de personnes à bord est supérieur au nombre de sièges disponibles, faisant que la probabilité d'avoir une place assise diminue à mesure que le nombre de personnes à bord s'approche du nombre de places assises. Cependant, cette probabilité semble surtout affecter les arrêts qui se situent sur de grands axes, tels

que le Boulevard Gouin dans l'ouest, le Boulevard Lasalle, le boulevard Henri-Bourassa et la rue Sherbrooke sur certains tronçons. Il est aussi possible de remarquer que la probabilité d'avoir une place assise diminue à mesure que le bus s'approche d'une station de métro, et la probabilité se remet à augmenter par la suite, voulant dire que plusieurs personnes sont descendues à la station de métro.

## **4.6 Probabilité du refus d'embarquement**

La probabilité du refus d'embarquement se calcule de la même façon que la probabilité d'avoir une place assise. Cependant, au lieu de calculer la probabilité que la charge à bord soit inférieure au nombre de places assises, la probabilité du refus d'embarquement consiste à calculer la probabilité que la charge à bord soit supérieure à la capacité du véhicule. En effet, lorsque la charge à bord atteint la capacité, le chauffeur ne peut plus admettre de passagers, faisant que ceux-ci doivent embarquer dans le prochain véhicule. La capacité du véhicule inclut le nombre de places assises et debout.

Pour l'heure de pointe du matin, la probabilité de refus d'embarquement est illustrée à la Figure 4-11.

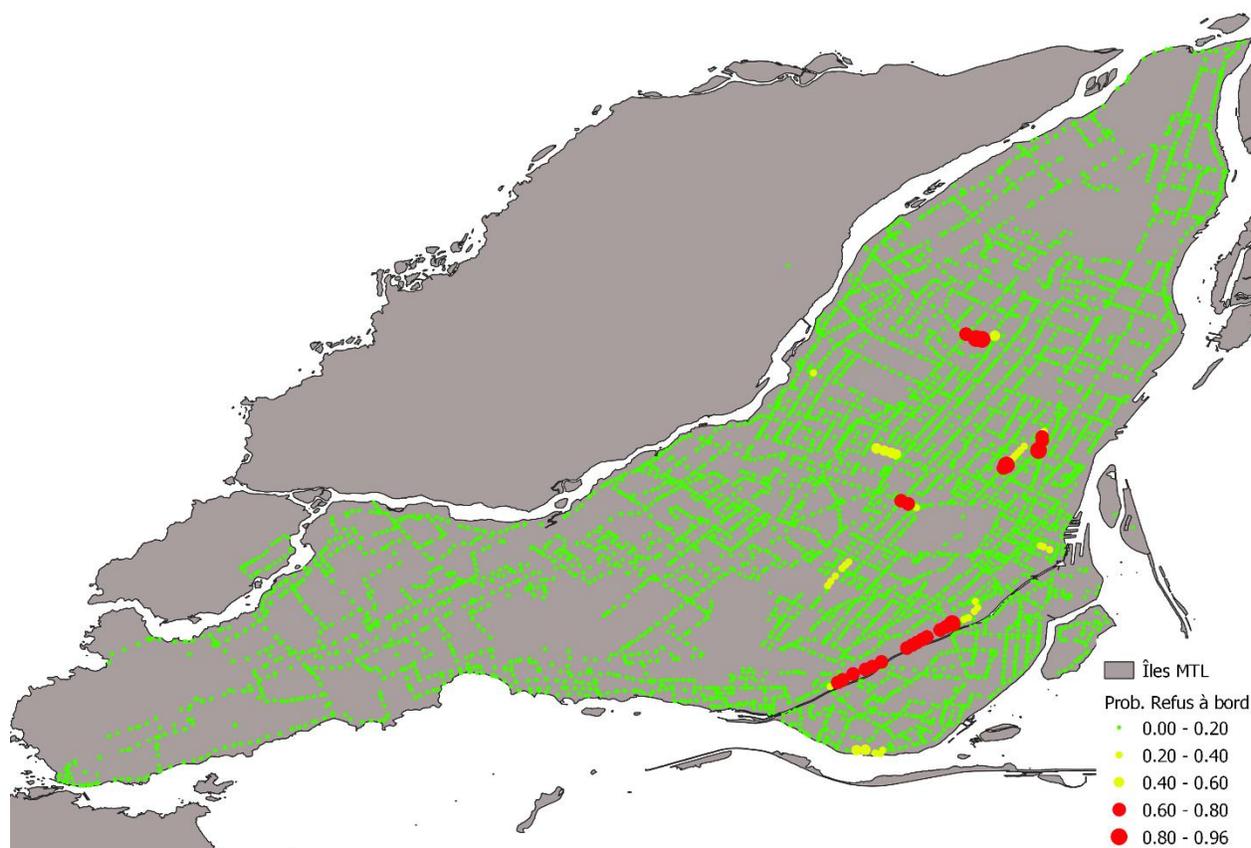


Figure 4-11: Probabilité de refus d'embarquement pour la pointe du matin

La probabilité de refus d'embarquement est plus élevée pour certains endroits en période de pointe du matin, en particulier sur le Boulevard Notre-Dame et sur le Boulevard Lacordaire. Pour le reste du territoire, la probabilité de refus d'embarquement est plus faible pour les secteurs à l'extérieur du centre de l'Île de Montréal. En somme, les refus d'embarquement semblent localisés sur certains tronçons particuliers.

Lorsque la probabilité du refus d'embarquement est calculée sur une période de 24h, il est possible de remarquer que la probabilité est très faible. Comme il a été remarqué au calcul du RPP sur une période de 24h, le RPP est inférieur à 0,7. Cela veut dire que le nombre de personnes à bord n'approche pas de la capacité, faisant qu'il reste toujours des places disponibles à bord. Ainsi, il faudrait que le nombre de personnes à bord approche de la capacité du véhicule pour que la probabilité de refus d'embarquement soit plus élevée.

## 4.7 Taux d'occupation moyen des lignes d'autobus

Le taux d'occupation moyen des lignes d'autobus permet de déterminer le taux d'utilisation des places et des sièges en fonction de la journée sur l'ensemble d'une ligne-direction. Le taux d'occupation peut se calculer en fonction du RPS ou du RPP. À partir du RPS ou du RPP pour chaque tronçon inter-arrêt et de la distance inter-arrêt, il est possible de calculer le RPS ou le RPP moyen pour l'ensemble de la ligne-direction, pondéré en fonction de la distance, ce qui donne le taux d'occupation. Dans les figures suivantes, il n'y a pas de segmentation des résultats en fonction des lignes en direction de la pointe. Cela amène donc une distorsion dans les données qui peuvent se traduire par une surreprésentation du nombre de lignes avec un taux d'occupation faible.

Tout d'abord, il est possible de faire le compte du nombre de lignes présentant certains intervalles d'occupation. La Figure 4-12 permet de visualiser le taux d'occupation en fonction du RPS pour la journée complète et la période de pointe du matin.

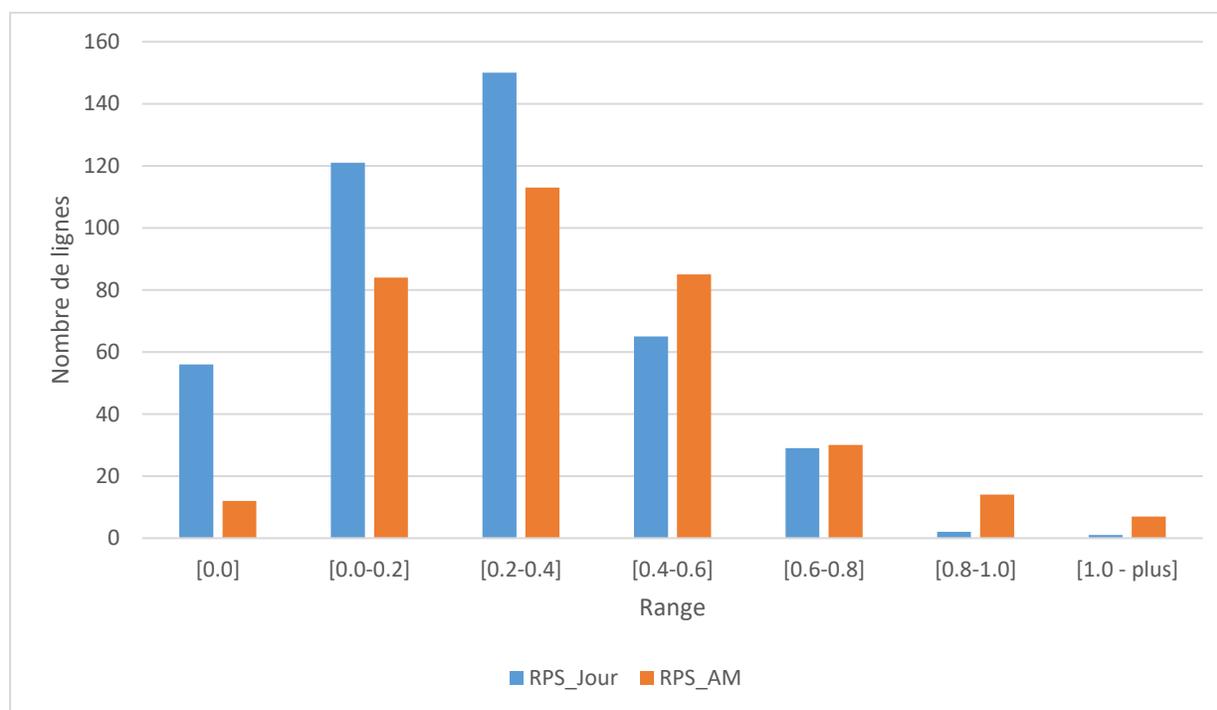


Figure 4-12: Distribution des lignes selon le RPS moyen pour une journée et l'heure de pointe du matin

Le taux d'occupation moyen en fonction du RPS se situe entre 0.2 et 0.4 pour les deux périodes à l'étude pour la majorité des lignes. Cela peut être dû à deux phénomènes : soit que le nombre de

personnes à bord est inférieur au nombre de sièges disponibles pour l'ensemble de la ligne ou soit que le nombre de personnes à bord est supérieur au nombre de places assises pour une courte partie de la ligne étudiée. En revanche, le RPS moyen est supérieur pour la période de pointe du matin. Il est pertinent de remarquer un nombre important de lignes pour lesquelles le RPS moyen est de 0. Cela peut s'expliquer par le fait que l'Enquête Origine-Destination de 2013 ne permet pas de capter ces lignes. Cela peut s'expliquer par le fait que l'année de référence des transactions CAP est 2017 et non 2013. De plus, cela peut s'expliquer par le fait que le taux d'échantillonnage de l'enquête OD est d'environ 3% de la population, faisant que certaines lignes de bus peuvent être sous-représentées par rapport à leur achalandage réel. Pour pallier cet enjeu, il pourrait être pertinent d'utiliser des données de comptage à bord en fonction de l'arrêt d'embarquement, ce qui permettrait d'avoir un taux d'échantillonnage des voyageurs sur la ligne plus élevé.

Par la suite, il est possible de présenter les résultats pour le taux d'occupation moyen en fonction du RPP. Les résultats sont présentés à la Figure 4-13.

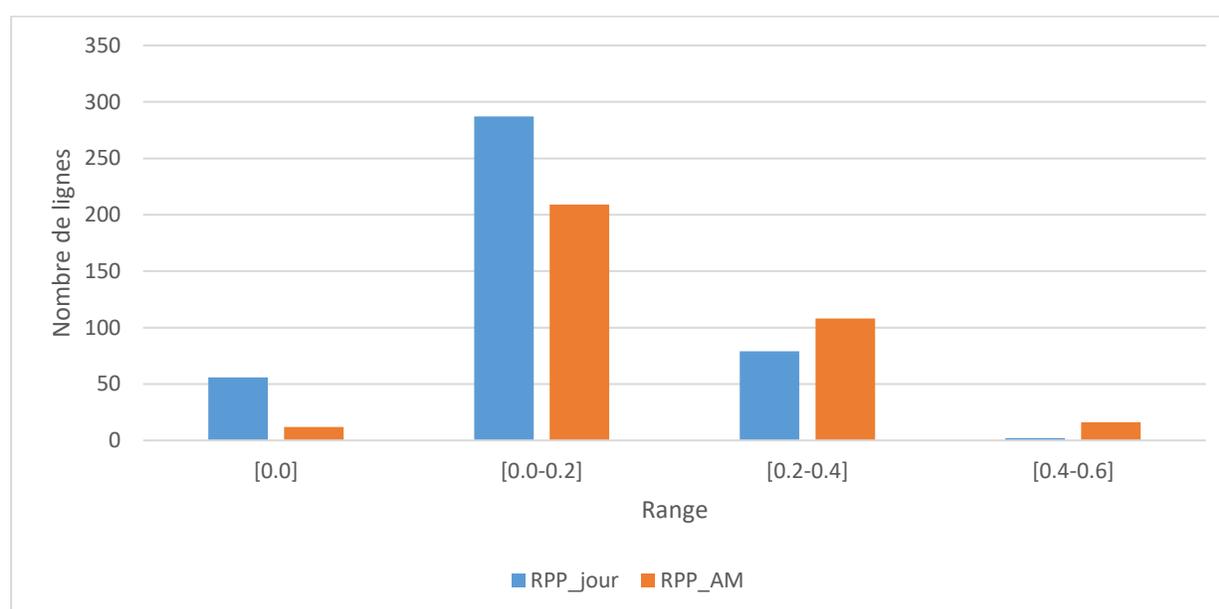


Figure 4-13: Distribution des lignes selon le RPP moyen pour une journée et l'heure de pointe du matin

Le RPP moyen est plus élevé en période de pointe du matin que pendant la journée. Il est possible de remarquer que la plus grande proportion de lignes affiche un RPP moyen variant entre 0 et 0.2. Il est aussi pertinent de souligner qu'aucune ligne n'a de RPP qui approche de 1, faisant qu'aucune ligne n'est saturée sur toute sa longueur.

## 4.8 Étude de cas et jumelage des indicateurs

Les indicateurs développés ont le potentiel d'être jumelés ensemble afin de pouvoir être utilisés pour étudier l'état du confort sur une ligne de bus donnée. Il pourrait être pertinent de développer un tableau de bord qui permettrait de visualiser les lignes sur une carte avec les différents indicateurs calculés.

Afin d'illustrer le propos, la ligne 496 en direction aller est utilisée. Il s'agit d'une ligne pour laquelle le taux d'occupation moyen en fonction du RPS est supérieur à 1, faisant que sur l'ensemble du tracé de la ligne, il n'y aurait pas beaucoup de places disponibles. En jumelant la probabilité d'avoir une place assise et le RPS pour chaque tronçon, il est possible d'obtenir les résultats suivants, présentés à la Figure 4-14.

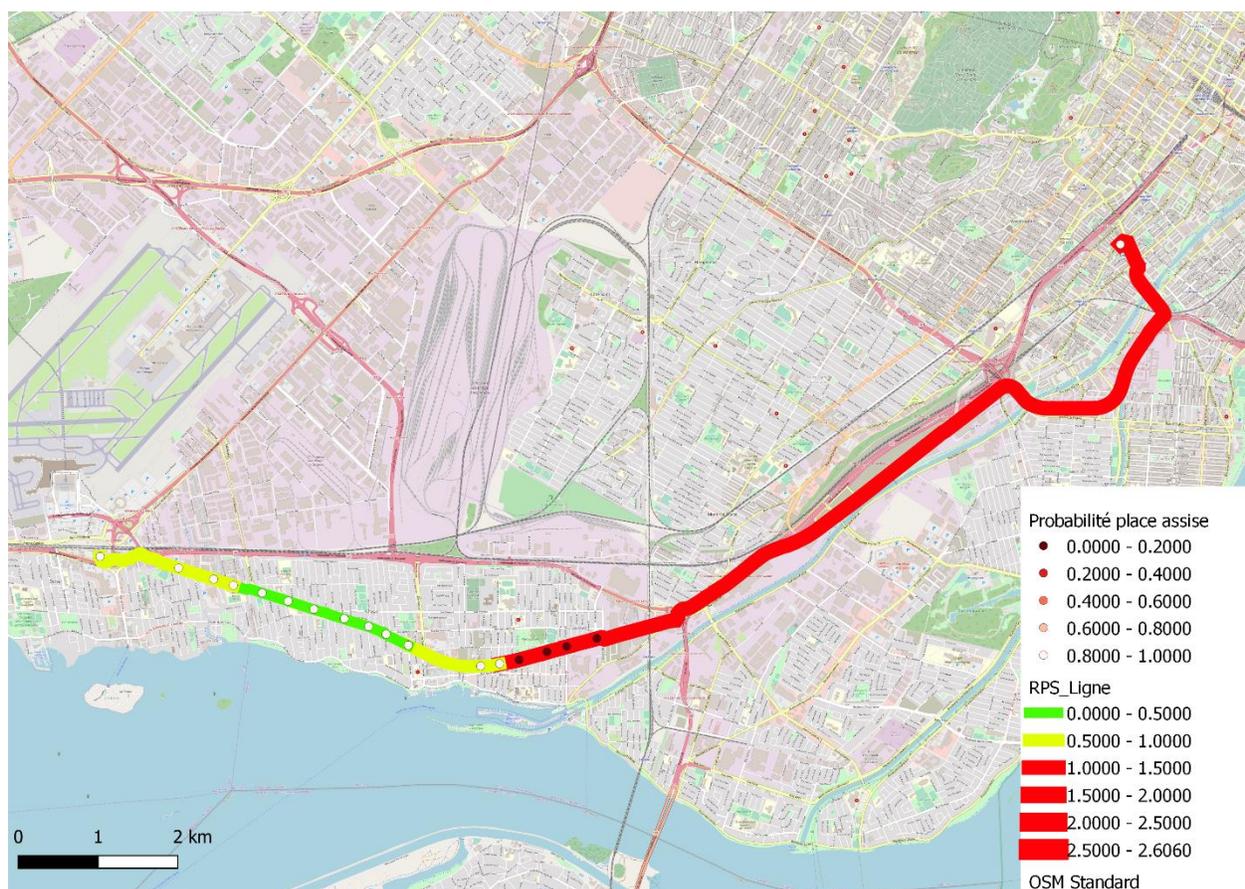


Figure 4-14: Jumelage du RPS et de la probabilité d'une place assise pour la ligne 496 en direction Aller en pointe du matin

La ligne 496 est une ligne express entre l'arrondissement de Lachine et la station Lionel-Groulx. Il est possible de remarquer que la ligne est très chargée pendant une grande partie de son trajet, mais que cette partie ne dessert aucun arrêt, car il s'agit d'un chemin express vers la station de métro. Le RPS augmente progressivement jusqu'aux derniers arrêts, où la charge est plus grande que le nombre de places assises. Dans la partie où la ligne embarque les personnes, il est possible de remarquer qu'il y a des débarquements en milieu de ligne et une nouvelle entrée importante de voyageurs avant d'aller à la station Lionel-Groulx. Il est possible de remarquer que la probabilité d'avoir accès à une place assise est très faible dans la partie très congestionnée de la ligne et plus élevée dans la partie moins congestionnée. La probabilité d'avoir une place assise est déterminée pour un arrêt en considérant toutes les lignes passant à cet arrêt ce qui implique qu'en comparant avec la charge de la ligne, il serait possible de voir si les autres lignes sont moins congestionnées. Potentiellement, regrouper ces indicateurs sous la forme d'un tableau de bord permettrait de mieux visualiser les indicateurs.

Il est aussi possible de faire le même exercice pour le RPP. Pour le RPP, le même exemple est utilisé, mais la probabilité du refus d'embarquement est utilisée. Les résultats sont présentés à la Figure 4-15.

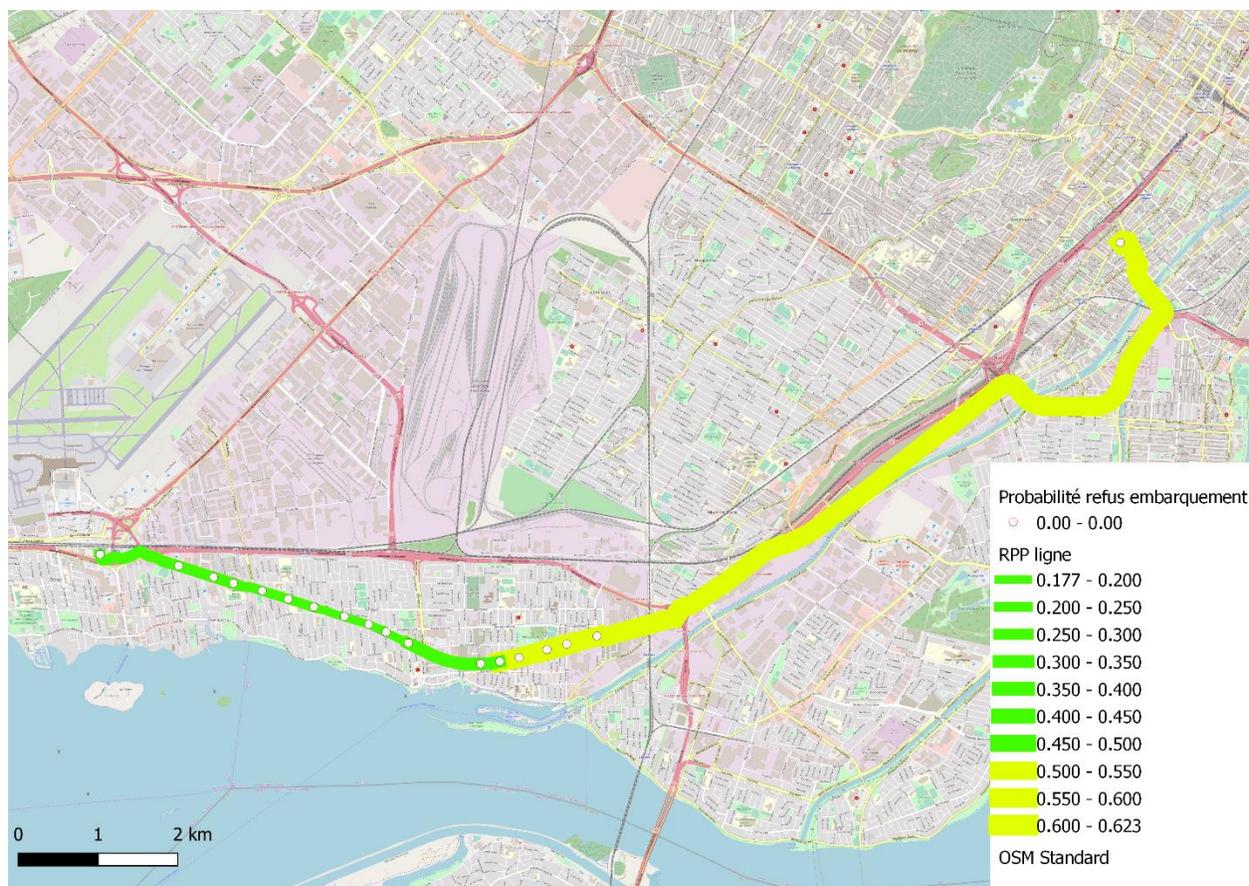


Figure 4-15: Exemple de visualisation du RPP et de la probabilité de refus d'embarquement pour la ligne 496 en direction Aller en pointe du matin

Dans le cas du RPP, il est possible de remarquer que la ligne n'a pas d'enjeux de capacité. En effet, le RPP est inférieur à 1 sur toute la ligne. De plus, il est possible de remarquer que la probabilité de refus d'embarquement est environ 0, impliquant qu'il reste encore de la place dans l'ensemble des autobus passant à ces arrêts pendant la pointe du matin. Comme il avait été montré précédemment, la probabilité de refus d'embarquement est très faible pour le réseau de bus selon la méthode utilisée.

En outre, pour faciliter la visualisation des résultats, il est pertinent d'utiliser des codes de couleurs. Par exemple, dans le cas du RPS, lorsque la valeur est supérieure à 1, la couleur de la ligne est rouge pour indiquer qu'il n'y a plus de places assises. Ensuite, les arrêts sont aussi colorés en fonction de leur probabilité, faisant qu'il est possible de faire ressortir les points chauds relatifs à la probabilité d'avoir une place assise à un arrêt.

Somme toute, le diagnostic du confort permet de déterminer les axes où une intervention semble nécessaire pour améliorer le confort des voyageurs à bord. À partir d'une enquête de préférence déclarée, il est possible de déterminer l'importance qu'accordent les usagers au confort et d'ajouter des véhicules là où les gains de confort seraient les plus bénéfiques. Dans une optique d'expérience client, cette méthode de diagnostic permet de cibler les endroits qui pourraient bénéficier d'un ajout de service pour contribuer à donner une meilleure perception de confort à bord.

## CHAPITRE 5    RÉSULTATS DESCRIPTIFS DE L'ENQUÊTE SUR LE CONFORT

Cette section présente les principaux constats issus de l'enquête sur le confort, réalisée sous forme de pilote entre le vendredi 7 février 2020 et le 15 mars 2020. L'enquête fut distribuée sur LinkedIn ainsi que sur Facebook. Les gens étaient invités de façon volontaire à participer à l'enquête. Tout d'abord, le profil des répondants est présenté, une étude des parts modales est effectuée, les constats sur le choix d'itinéraire sont tirés et les résultats des choix d'alternatives de trajets en prenant en compte le confort sont présentés.

### 5.1 Considérations importantes

En raison de la COVID-19, l'acquisition de données n'a pas pu être complétée convenablement. En effet, présenter une enquête sur le confort en considérant les critères de distanciation physique émis par le gouvernement aurait mené à un biais dans les réponses des répondants. Ce faisant, les sections qui suivent proposent une méthodologie qui devra être validée à l'aide d'un plus grand échantillon lorsque la situation reviendra à la normale.

### 5.2 Taux de réponse

Entre le 7 février 2020 et le 15 mars 2020, 93 questionnaires ont été commencés. Sur ces 93 questionnaires, 47 ont été complétés, donnant un taux de complétion des questionnaires de 50,5%. Les taux d'abandon sont tout de même assez élevés dans l'ensemble, considérant qu'à peine la moitié des questionnaires sont complétés. Le Tableau 5-1 permet de voir les sections d'abandon par les répondants.

Tableau 5-1: Nombre d'abandons en fonction de la dernière section remplie dans le questionnaire

Section	Nombre d'abandons	Proportion d'abandons
Alternatives	2	4.35%
Scénarios de confort	6	13.04%
Route	27	58.70%
Segments	11	23.91%

Il est possible de remarquer que les répondants arrêtent de répondre au début du questionnaire. En effet, ceux-ci arrêtent soit au moment de fournir leur déplacement le plus fréquent ou soit au moment de fournir leur chaîne de déplacement. Les raisons qui peuvent expliquer ces moments d'abandon semblent reliées à la sensibilité de l'information demandée: ce ne sont pas tous les répondants qui sont confortables de donner leur lieu de domicile, leur lieu de travail ainsi que leur heure de départ. Ensuite, il pourrait être pertinent de se demander si la déclaration des lignes empruntées se faisait aisément. En effet, il semble qu'il y ait eu quelques difficultés quand venait le temps de donner les lignes qui composaient le déplacement. Il aurait dû être plus clairement indiqué que les répondants pouvaient chercher leur ligne de transport en commun en indiquant dans la barre de recherche un mot-clé permettant d'identifier la bonne ligne.

### **5.3 Profil des répondants**

Cette section a pour but de présenter le profil général des répondants et de les comparer avec le profil général de la population. Cette section brosse le portrait général des attributs socio-démographiques des répondants. Les attributs considérés étaient le revenu, le sexe, l'occupation, l'âge et la présence d'une limitation fonctionnelle.

Tout d'abord, il est pertinent de souligner qu'aucun répondant ne présentait de limitation fonctionnelle, impliquant qu'il n'est pas possible d'étudier les préférences de confort en fonction de la limitation fonctionnelle. Ensuite, environ 61% des personnes sont de sexe masculin et 39% des personnes de sexe féminin. Cela montre une surreprésentation des hommes dans l'échantillon de répondants, alors que les clients des transports collectifs ont une légère surreprésentation de femmes par rapport aux hommes.

La Figure 5-1 illustre le nombre de répondants en fonction de l'âge.

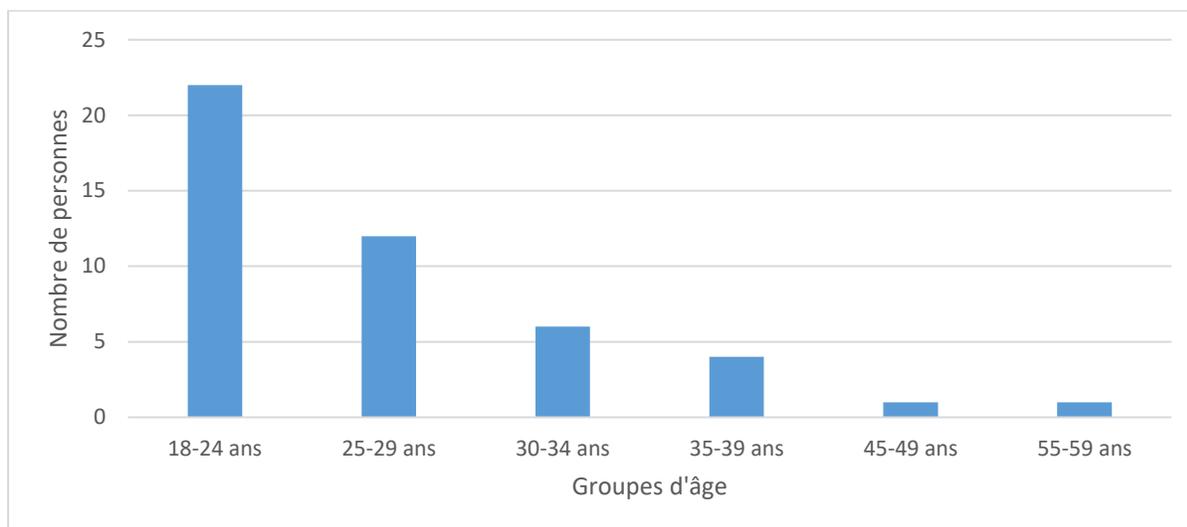


Figure 5-1: Nombre de répondants en fonction de leur âge

Il est possible de remarquer que les répondants plus jeunes sont surreprésentés dans l'échantillon. Bien que les gens plus jeunes représentent une bonne partie de la clientèle des transports collectifs, les moins de 30 ans représentent près de 75% de l'échantillon total. Compte tenu que le questionnaire a été principalement distribué par des envois ciblés, il est normal de voir une surreprésentation de ces groupes dans le profil des répondants.

L'occupation principale des répondants est présentée à la Figure 5-2.

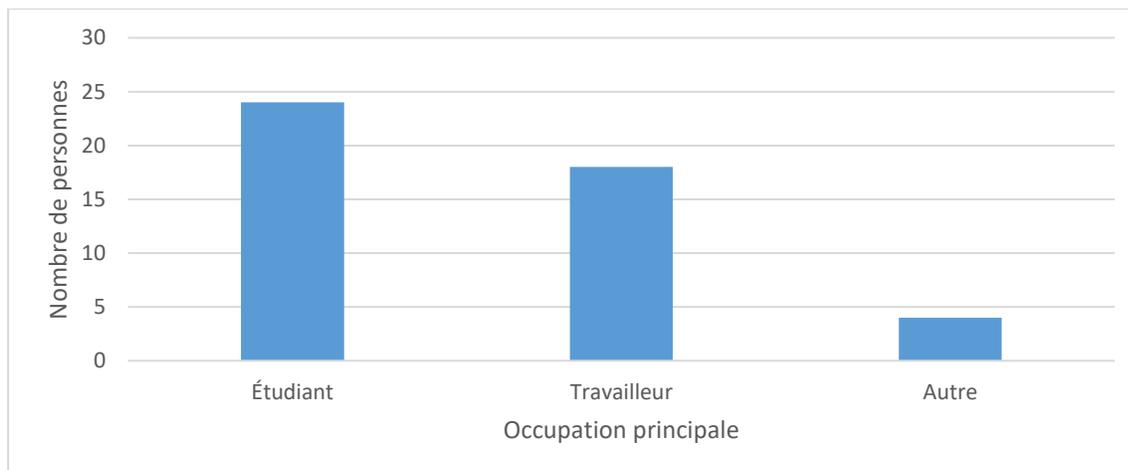


Figure 5-2: Occupation principale des répondants

Lorsque l'âge des répondants est considéré dans l'étude de l'occupation des personnes, il est possible d'associer la grande part d'étudiants à la grande part de personnes âgées entre 18 et 24 ans. Il est possible de remarquer que la majorité des personnes sont soit des étudiants ou des travailleurs, impliquant qu'ils vont faire principalement des déplacements contraints par rapport à d'autres groupes de personnes.

Finalement, la Figure 5-3 présente le nombre de répondants en fonction de la fourchette de revenus.

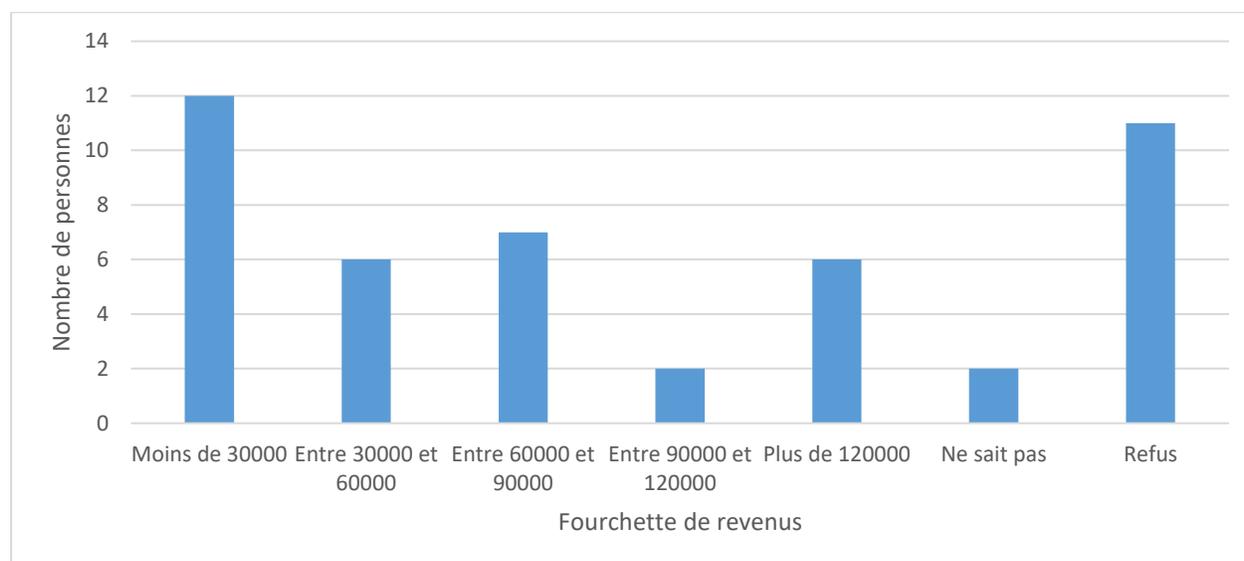


Figure 5-3: Distribution des répondants selon la fourchette de revenus des ménages

Environ 24% des répondants ont refusé de répondre à la question. Environ 26% des répondants ont déclaré que leur ménage avait un revenu brut de moins de 30 000\$ par année. Cela peut être s'expliquer par le fait que la majorité des répondants sont des étudiants et vivent seul, impliquant que leur salaire est dans la fourchette inférieure.

## 5.4 L'étude des déplacements des répondants

Étant donné la faible taille de l'échantillon, ces analyses sont faites dans une perspective de démonstration, mais ne permettent pas de tirer des conclusions. Elles pourront être refaites lorsqu'il sera possible de reprendre la collecte de données.

Cette section présente une analyse des déplacements déclarés par les répondants dans l'enquête. Tout d'abord, les domiciles et les lieux de destination sont situés, la part modale est calculée et l'analyse des alternatives préférées déclarées est faite.

Tout d’abord, il est pertinent de positionner les domiciles des répondants. La Figure 5-4 montre la distribution des domiciles des répondants.

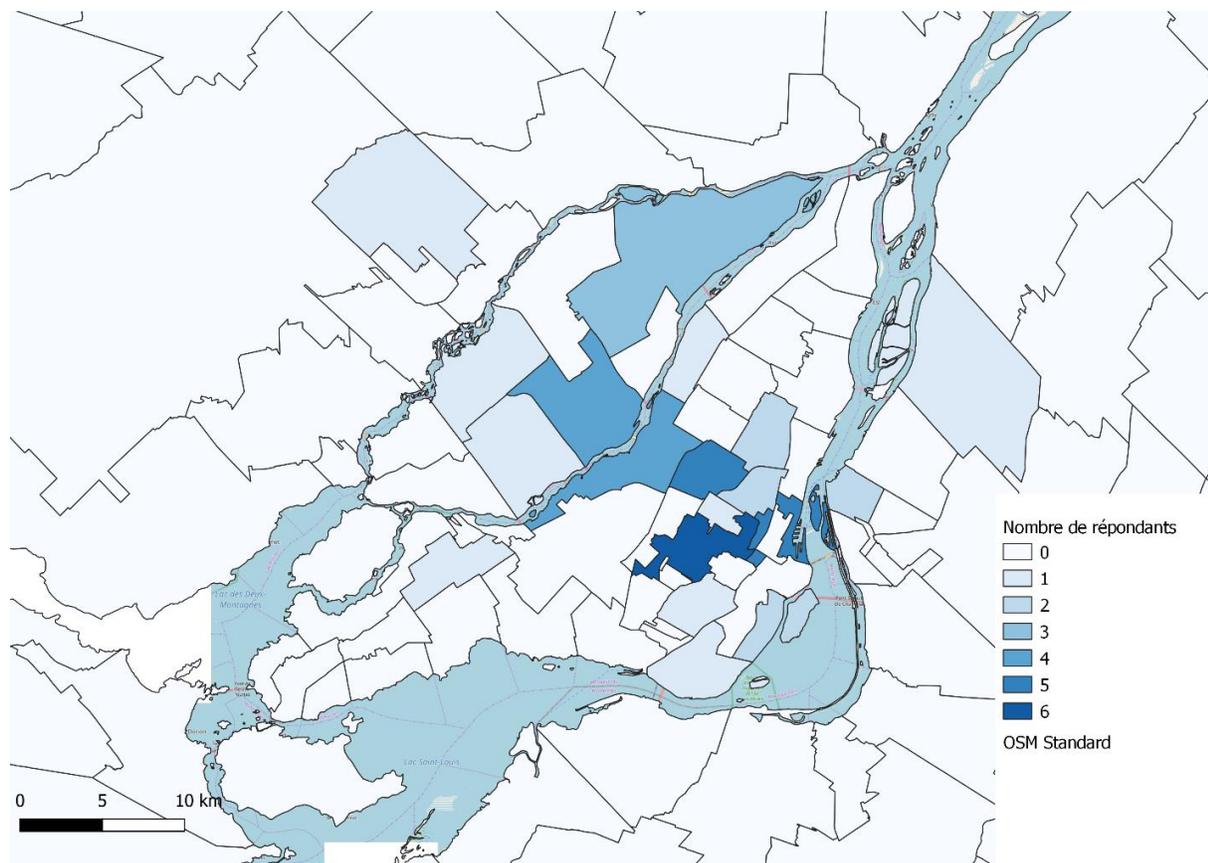


Figure 5-4: Lieux de domicile des répondants

Les répondants semblent centralisés dans les quartiers centraux de Montréal et certains quartiers de Laval. En raison du faible nombre de répondants, la couverture géographique de l’enquête est très mauvaise. En effet, les répondants viennent en majorité des quartiers centraux de Montréal ou de Laval, il n’y a que trois répondants vivant sur la couronne nord et la couronne sud.

Au niveau des lieux de destination, ceux-ci sont présentés à la Figure 5-5.

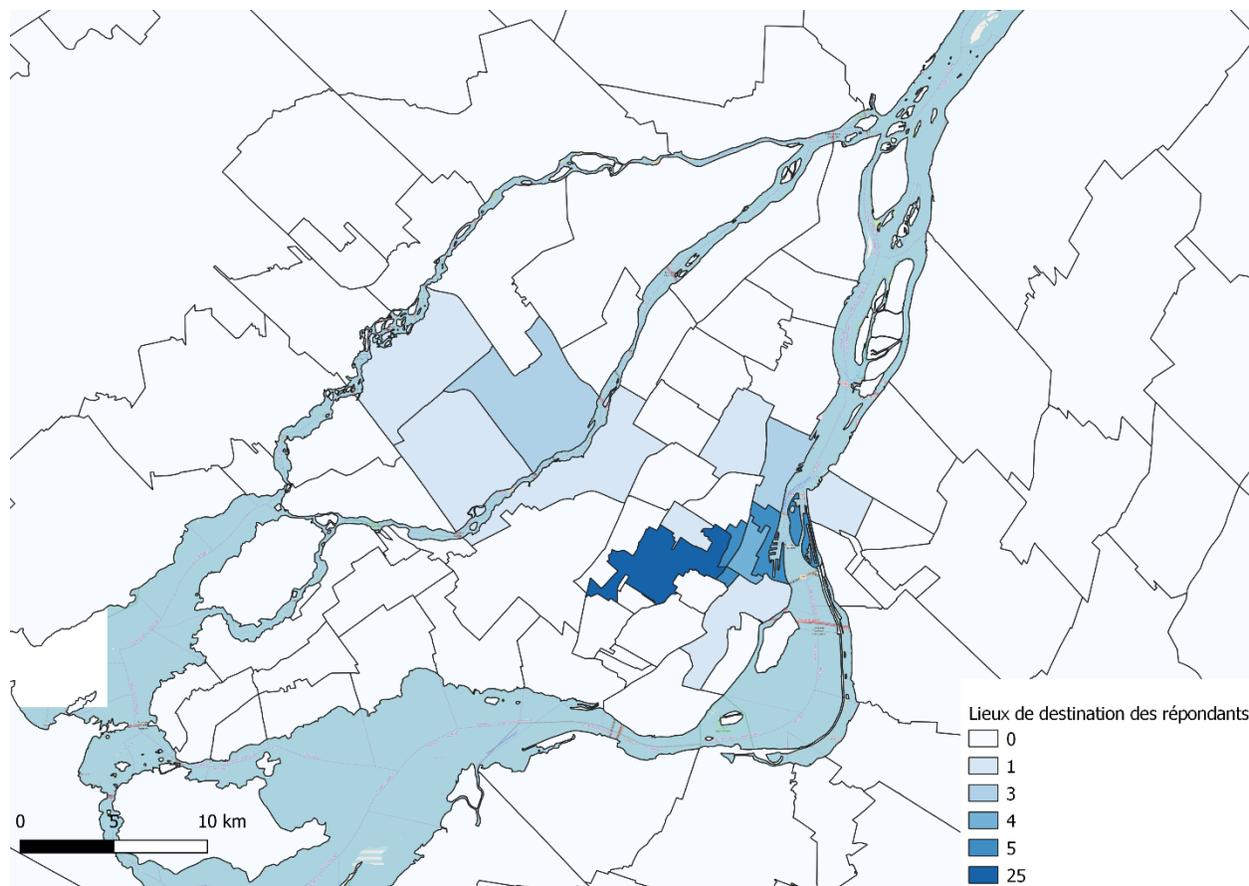


Figure 5-5: Principaux lieux de destination des répondants

Il y a quatre lieux de destination qui sont pour motif loisirs. Les autres lieux de destination sont pour motif école ou travail. Les lieux d'étude sont tous positionnés dans le quartier Côte-des-Neiges – Notre-Dame-de-Grâce, tandis que les lieux de travail sont distribués dans les quartiers centraux de Montréal et certains quartiers de Laval. Il y aurait un lieu de loisir à Laval et trois lieux de loisirs dans les quartiers centraux de Montréal. Il est possible de voir la surreprésentation du quartier Côte-des-Neiges – Notre-Dame-de-Grâce. Cela peut s'expliquer par le fait qu'une grande part des répondants sont des étudiants et que leur lieu d'étude soit dans ce secteur.

Au niveau des modes utilisés pour faire leurs déplacements, environ 67% des répondants ont utilisé le transport collectif pour faire leurs déplacements, que ce soit en mode transport collectif pur ou en bi-mode. Il est important de souligner qu'environ 20% des déplacements sont faits en modes actifs, que ce soit la marche ou le vélo et qu'environ 13% des déplacements déclarés sont faits en auto. Il serait important de porter une attention particulière aux répondants ayant déclaré un

déplacement auto ou mode actif puisque leur perception pourrait différer de ceux qui utilisent effectivement le transport en commun.

#### **5.4.1 Étude du choix d'itinéraire selon les alternatives**

Dans l'étude des préférences d'alternatives, les répondants étaient invités à classer les alternatives présentées selon leurs préférences et à expliquer leurs choix. Ces alternatives étaient présentées seulement pour les répondants qui avaient déclaré un itinéraire en transport collectif. Lorsque vient le temps d'étudier leurs choix d'alternatives, 90% des répondants affirment que leur itinéraire déclaré est leur itinéraire préféré. La principale raison pour laquelle les répondants préfèrent leur alternative est parce qu'elle est la plus rapide en termes de temps. Ensuite, les correspondances et la fréquence jouent un rôle dans leur choix d'itinéraire. Par la suite, les alternatives qui sont classées en dernier sont celles qui proposent des trajets plus longs, un nombre de correspondances plus élevé ou un temps de marche plus élevé. De plus, il a été remarqué que les répondants préfèrent prendre le métro que le bus. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les temps de parcours du métro ne sont pas influencés par les conditions extérieures, faisant que leurs temps de parcours sont plus courts. De plus, les répondants préfèrent utiliser un bus express lorsque cette option s'offre à eux parce que le bus fait moins d'arrêts. Finalement, les répondants vont préférer rester dans le métro que de débarquer et prendre un autre bus, principalement dû à la pénalité de correspondance induite par ce changement.

### **5.5 Étude du choix dans les scénarios de confort**

Pour bien comprendre les choix des personnes, il est pertinent d'étudier les choix qu'ils ont faits pour chaque alternative qui a été proposée. Pour ce faire, le nombre de réponses récoltées pour chaque alternative a été compilé en 4 catégories, soit le choix du premier scénario, le choix du deuxième scénario, les deux scénarios sont équivalents et aucun scénario. Les résultats sont présentés au Tableau 5-2.

Tableau 5-2: Nombre de réponses pour chaque scénario de confort étudié

Scénario	Option A					Option B					Équivalents	Aucun
	Véhicule	Temps parcours	Densité	Position	Réponses	Véhicule	Temps parcours	Densité	Position	Réponses		
1	Bus	10	1	Debout	13	Métro	15	4	Assis	7	0	0
2	Bus	10	4	Debout	7	Métro	15	8	Assis	4	0	0
3	Bus	10	8	Assis	3	Métro	5	1	Debout	17	1	0
4	Bus	15	1	Debout	6	Métro	10	4	Debout	9	1	2
5	Bus	15	4	Assis	7	Métro	10	8	Debout	3	0	0
6	Bus	15	8	Debout	0	Métro	5	1	Debout	10	0	0
7	Bus	20	1	Assis	11	Métro	15	4	Debout	5	1	1
8	Bus	20	4	Debout	4	Métro	5	8	Assis	16	0	0
9	Bus	20	8	Debout	2	Métro	10	1	Assis	15	0	1
10	Métro	5	1	Assis	19	Train	15	4	Debout	0	0	0
11	Métro	5	4	Debout	20	Train	25	8	Assis	0	0	1
12	Métro	5	8	Debout	8	Train	15	1	Assis	8	1	1
13	Métro	10	1	Debout	9	Train	25	4	Assis	1	0	0
14	Métro	10	4	Debout	11	Train	25	8	Assis	0	0	0
15	Métro	10	8	Assis	8	Train	15	1	Debout	0	2	0
16	Métro	15	1	Debout	16	Train	35	4	Assis	1	0	1
17	Métro	15	4	Assis	14	Train	15	8	Debout	1	2	1
18	Métro	15	8	Debout	14	Train	35	1	Assis	4	1	0
19	Train	15	1	Debout	10	Bus	20	4	Assis	9	1	0
20	Train	15	4	Assis	17	Bus	10	8	Debout	3	1	0
21	Train	15	8	Debout	0	Bus	20	1	Assis	10	0	1
22	Train	25	1	Assis	2	Bus	15	4	Debout	8	0	0
23	Train	25	4	Debout	5	Bus	15	8	Debout	9	2	2
24	Train	25	8	Debout	0	Bus	15	1	Debout	9	0	1
25	Train	35	1	Debout	2	Bus	10	4	Debout	15	0	1
26	Train	35	4	Debout	3	Bus	20	8	Debout	14	3	0
27	Train	35	8	Assis	1	Bus	20	1	Debout	16	0	1
Total					212					194	16	14

Dans 93% des cas, les répondants ont su choisir une seule option. Cela permet de conclure que les répondants ont vu des différences notables entre les deux options qui leur étaient présentées, leur permettant de faire le choix d'une seule option. Il est possible de remarquer que dans 52% des cas, les répondants ont choisi l'option A, qui constitue majoritairement des options dans lesquelles le temps de parcours est plus court, mais le niveau de confort est moindre.

Lorsque les résultats sont comparés au niveau du temps de parcours, il est possible de remarquer que dans 73% des cas, les répondants ont sélectionné le temps de parcours le plus court et ce, peu importe le véhicule, la densité ou la position. Les répondants ont choisi une alternative avec une place assise dans 39% des cas. Les répondants choisissaient davantage une place assise pour une alternative où le temps de parcours par rapport à l'autre alternative était plus court (voir scénario 8 et 9) ou lorsque la densité de personnes à bord d'une alternative était très élevée par rapport à l'autre alternative disponible et que la personne était debout (voir scénario 12 et 21).

Au niveau des alternatives qui ont été jugées équivalentes ou non satisfaisantes, il est possible de remarquer que leur nombre est très faible. Dans le cas d'une alternative équivalente, il y a 3 répondants qui considéraient les deux alternatives du scénario 26 équivalentes.

En examinant au niveau des choix effectués par les répondants, il est possible d'étudier le choix pour chaque variable importante, soit le véhicule, la position, la densité et le temps de parcours. Afin d'avoir une bonne représentation du choix des alternatives et du nombre de fois où l'alternative est apparue lors de l'acquisition de données, les résultats sont présentés en faisant le nombre de fois où l'alternative a été choisie divisée par le nombre de fois où l'alternative a été présentée à un répondant. Pour la suite de cette section, ce calcul se nomme la proportion de choix.

Tout d'abord, le choix de véhicule est présenté à la Figure 5-6.

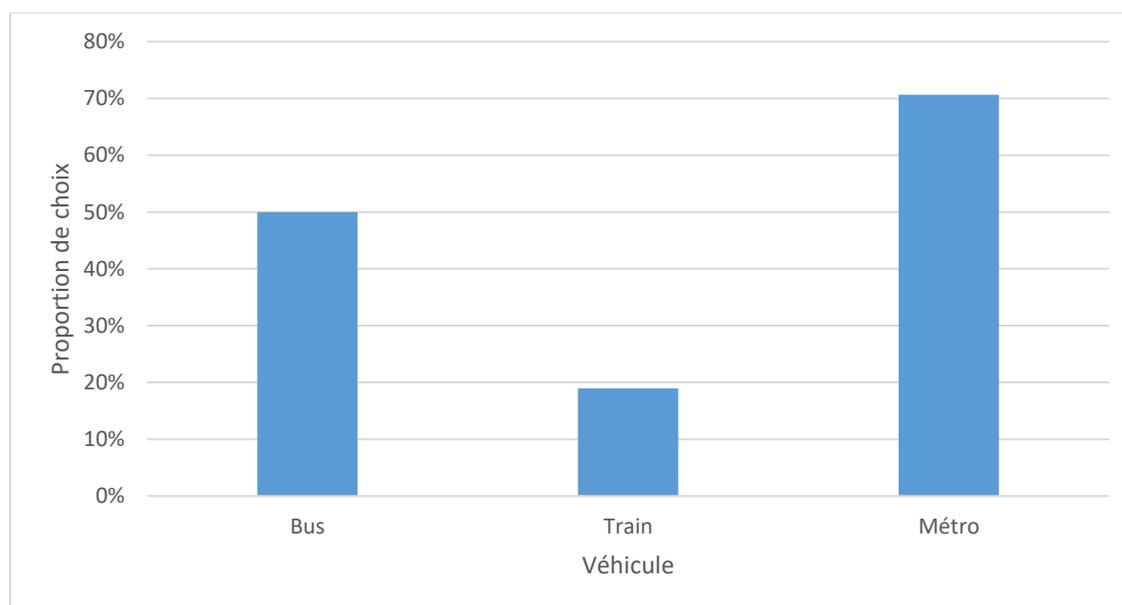


Figure 5-6: Rapport entre le choix et le nombre de possibilités en fonction du véhicule

La proportion obtenue représente le rapport entre le nombre de fois où un répondant a choisi une alternative et le nombre de fois où l'alternative a été présentée. Dans plus de 70% des cas possibles, les répondants ont décidé de prendre le métro et dans 50% des cas possibles, les répondants ont décidé de prendre le bus. Il est possible de remarquer que le métro est un choix très populaire pour les répondants. En effet, lorsque le choix est comparé entre les modes, il est possible de remarquer que le métro a été favorisé 89% du temps par rapport au train, soit 119 fois sur une possibilité de 134. Cela peut être applicable au fait que le métro a des temps de parcours systématiquement plus

courts ou égaux au train. Il est possible de remarquer que les répondants choisissaient le train seulement lorsque le métro est à capacité et que la personne est debout, versus le train où la densité de personnes debout était très petite et la personne assise. Au niveau du bus et du métro, les répondants ont choisi le métro dans 62% des cas par rapport au bus. Les répondants vont préférer le métro lorsque les temps de parcours sont très courts, malgré une situation moins confortable.

Lorsque le train est considéré, il est possible de remarquer qu'il a été choisi très rarement, soit dans moins de 20% des cas. Cela peut être explicable par le fait que les temps de parcours pour le train étaient très longs par rapport au métro, faisant qu'il était rarement sélectionné. En comparant avec le bus, les temps de parcours entre les deux étaient semblables, faisant que le train pouvait être plus compétitif. Compte tenu du faible nombre de réponses pour le train, cela pourrait se refléter dans le modèle développé.

Ensuite, le choix de la position est présenté à la Figure 5-7.

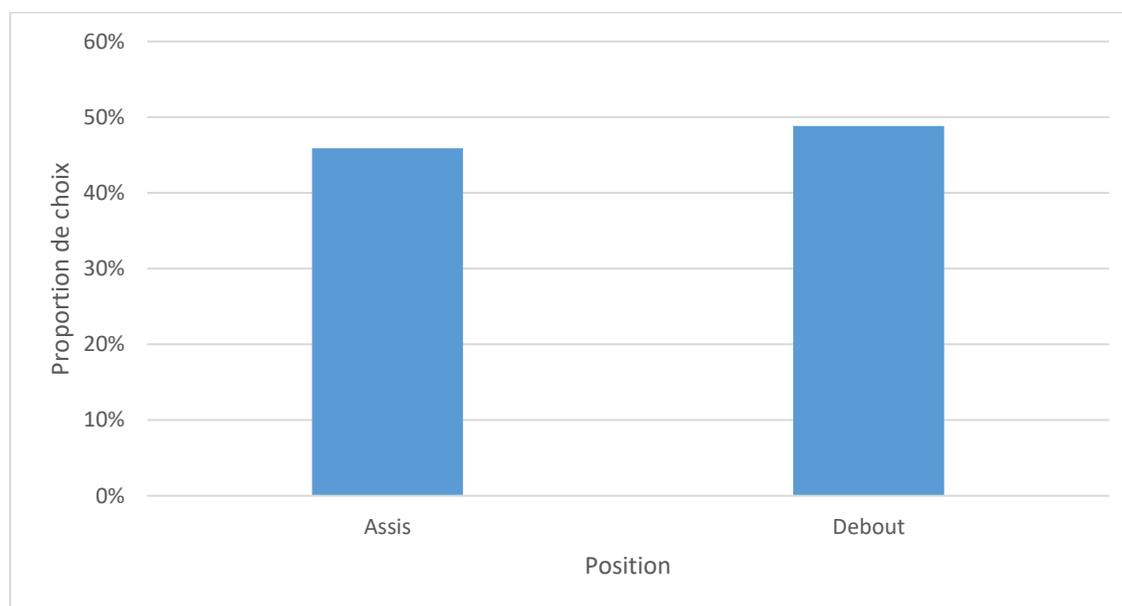


Figure 5-7: Rapport entre le choix et le nombre de possibilités en fonction de la position

Lorsqu'il était possible de faire un choix entre la position assise et debout, il est remarqué que dans 45% des cas, le répondant choisit la position assise, alors que dans 48% des cas, les répondants vont choisir la position debout. Le 7% représente les cas d'indécision entre les deux possibilités. Il est possible de remarquer que la proportion de choix entre la position assise ou debout dans l'une et l'autre des deux possibilités est fort semblable. Il est possible de remarquer que la place assise

et debout n'est pas la seule variable pouvant influencer le choix d'une personne. En effet, même si le répondant pouvait avoir accès à une place assise, il choisissait quand même l'option où il restait debout. Le temps de parcours peut potentiellement expliquer ce choix. Par exemple, dans environ 49% des cas, les répondants ont choisi une alternative où ils étaient debout et où le temps de parcours était plus court.

Par après, il est possible d'observer les résultats pour la densité, qui sont illustrés à la Figure 5-8.

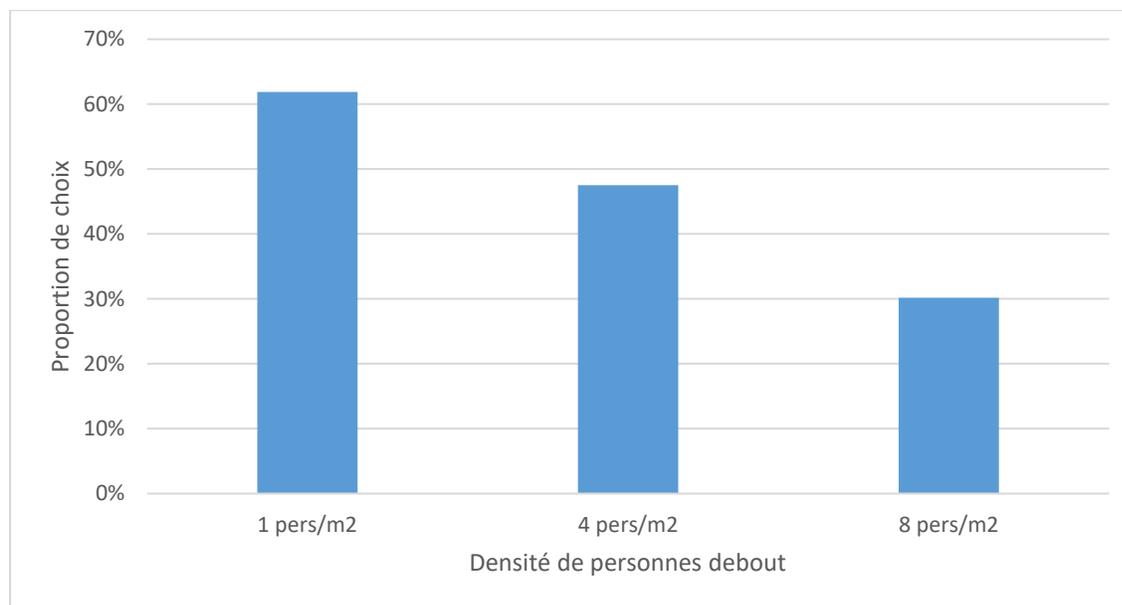


Figure 5-8: Rapport entre le choix et le nombre de possibilités en fonction de la densité

Il est possible de remarquer que les répondants ont préféré choisir une plus faible densité qu'une densité plus élevée. Il est possible de voir que la proportion de choix par rapport au nombre de possibilités diminue à mesure que la densité augmente. Cela illustre un comportement qui était attendu, car il est supposé que les répondants vont tenter dans la mesure du possible de maximiser leur confort lorsque c'est possible. Dans 60% des cas, les répondants choisissaient une densité de personnes debout faible lorsqu'il était possible de le faire. La proportion diminue à moins de 50% pour la densité de 4 personnes par mètre carré et se situe à 30% pour une densité de 8 personnes par mètre carré.

Finalement, le choix en fonction du temps de parcours est présenté à la Figure 5-9.

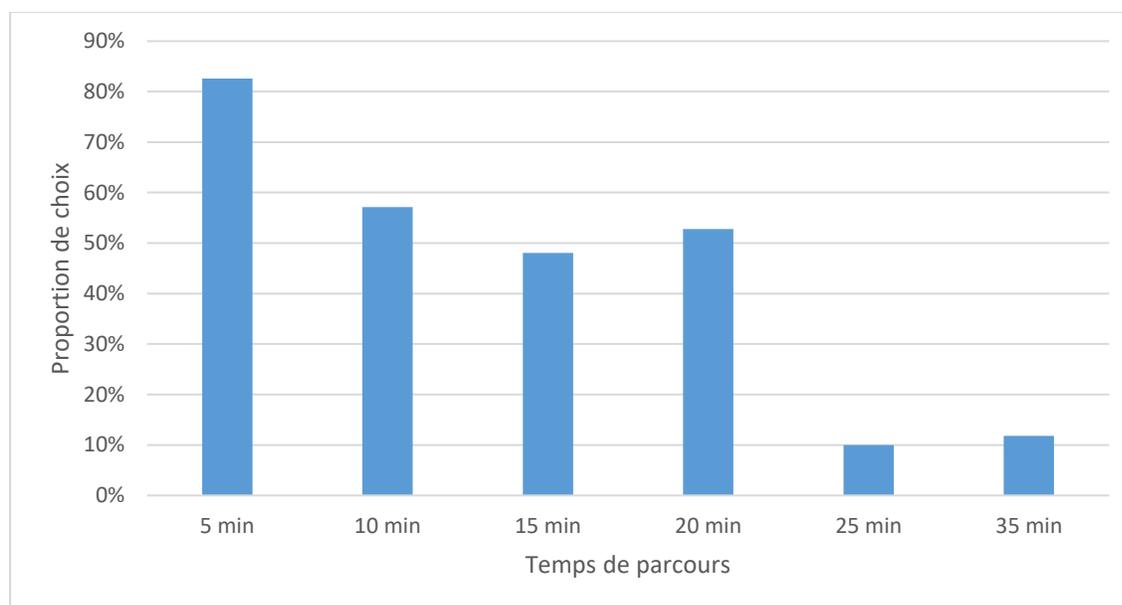


Figure 5-9: Rapport entre le choix et le nombre de possibilités en fonction du temps de parcours

Il est possible de remarquer que dans plus de 80% des cas, les répondants préfèrent prendre le scénario avec le temps de parcours de 5 minutes lorsque celui-ci est disponible. Lorsqu'ils peuvent le faire, les répondants préfèrent choisir le temps de parcours plus court que long. Dans environ 10% des cas, les répondants vont choisir le temps de parcours de 25 minutes ou de 35 minutes, montrant que les longs temps de parcours découragent les répondants à prendre cette option. Il est pertinent de souligner que le temps de parcours de 15 minutes est choisi moins souvent que le parcours de 20 minutes, ce qui pourrait être explicable par le fait que le temps de parcours de 20 minutes pourrait avoir un scénario plus intéressant en termes de confort par rapport au temps de parcours de 15 minutes.

Finalement, la dernière métrique à analyser est la proportion de choix du temps de parcours. La métrique est présentée à la Figure 5-10.

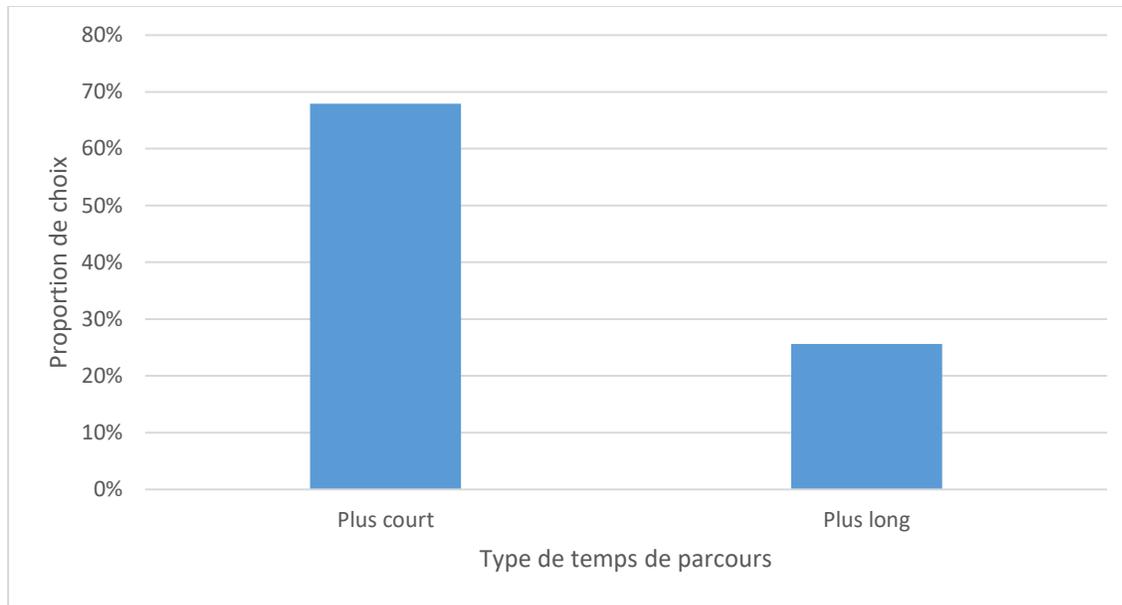


Figure 5-10: Rapport entre le choix et le nombre de possibilités en fonction du type de temps de parcours

Il est possible de remarquer que dans près de 70% des cas, les répondants ont choisi la possibilité où le temps de parcours était le plus court. Cela est très intéressant, parce que ça montre que les répondants tentent de minimiser leur temps de parcours, quitte à subir un certain inconfort. De plus, malgré la présence d'une grande proportion de réponses où le chemin choisi était le plus court, dans 25% des cas, les répondants ont décidé de prendre le chemin plus long. Cela montre que dans certains cas, le confort peut être important. La densité et le fait d'être debout ou assis dans un véhicule donné peut avoir un impact sur le temps.

## CHAPITRE 6 FACTEURS DU TEMPS DE PARCOURS

Comme il a été indiqué à la section précédente, la situation induite par la COVID-19 n'a pas permis de faire une acquisition de données suffisante. Dans ce chapitre, un exemple d'application avec un modèle simple est présenté. Le développement de la méthode se fait à l'aide de l'échantillon de 47 répondants, soit 385 observations valides. Une observation représente le choix effectué entre deux options.

### 6.1 Calcul de la corrélation entre les variables

Tout d'abord, l'étude de la corrélation entre les variables explicatives est effectuée. Le but de cette étude est de déterminer les variables explicatives ayant le plus de corrélation sur la variable expliquée. De plus, cette étude permet de déterminer les variables explicatives ayant de fortes corrélations entre elles, ce qui pourrait fausser les résultats de certains coefficients ainsi que l'interprétation du modèle. La variable à expliquer est le choix entre les deux alternatives qui sont proposées au répondant. Les matrices sont générées de façon à considérer les variables simples seulement. En effet, compte tenu du faible échantillonnage, il n'a pas été possible d'augmenter le nombre de variables explicatives par l'ajout, par exemple, de plusieurs variables d'interaction. Il faudra attendre d'avoir un meilleur échantillon pour tester la significativité d'éventuelles variables d'interaction. Les variables prises en compte sont le temps de parcours, le véhicule, la densité et la position. Les résultats sont présentés au Tableau 6-1.

Tableau 6-1: Matrice de corrélation des variables

	Metro	Bus	Train	CL1	CL4	CL8	Densité	Standing	Sitting	temps_parcours	Choix
Metro	1.000										
Bus	-0.504	1.000									
Train	-0.501	-0.495	1.000								
CL1	0.011	-0.010	-0.001	1.000							
CL4	-0.015	0.022	-0.008	-0.537	1.000						
CL8	0.004	-0.013	0.009	-0.466	-0.496	1.000					
Densité	-0.003	-0.003	0.006	-0.814	-0.054	0.894	1.000				
Standing	-0.006	0.183	-0.177	-0.005	0.038	-0.035	-0.021	1.000			
Sitting	0.006	-0.183	0.177	0.005	-0.038	0.035	0.021	-1.000	1.000		
temps_parcours	-0.563	-0.082	0.648	-0.028	0.081	-0.056	-0.022	-0.210	0.210	1.000	
Choix	0.357	0.061	-0.420	0.231	0.032	-0.272	-0.296	0.029	-0.029	-0.401	1.000

Les coefficients de corrélation sont en surbrillance lorsque la corrélation est supérieure à la valeur absolue à 0,4. Il est possible de remarquer que ce sont les niveaux d'une même variable qui sont fortement corrélés ensemble. Le coefficient de corrélation utilisé n'est pas optimal pour des variables dichotomiques). Par exemple, il est possible de remarquer une forte corrélation entre les niveaux de densité possibles. Au niveau des autres variables, il est possible de remarquer une corrélation plus forte entre le temps de parcours et le véhicule. En effet, le métro et le train sont fortement corrélés au temps de parcours, avec des corrélations de -0,56 et de 0,65. Au niveau du choix, qui est la variable à expliquer, il est possible de remarquer une corrélation plus forte avec le train et le temps de parcours. Cela veut dire que le temps de parcours et le train auraient un plus grand effet sur le choix d'une alternative. Cependant, vu que la corrélation est très proche de 0,4, il est possible de considérer tout de même ces variables dans le modèle à développer.

## 6.2 Développement du modèle

Cette section présente le développement du modèle. Deux approches dans cette section sont envisagées. La première approche consiste à considérer la densité comme une variable catégorielle, ayant les niveaux 1 personne par mètre carré, 4 personnes par mètre carré et 8 personnes par mètre carré. La deuxième approche consiste à considérer la densité comme une variable continue. Les modèles sont compilés sur le logiciel R à l'aide de la fonction `mlogit`. Considérant que l'échantillon est très faible, il a été décidé de modéliser avec l'ensemble de l'échantillon et non de garder une portion de l'échantillon pour validation. Ceci sera fait lorsque l'enquête pourra être relancée.

### 6.2.1 Première approche

La première approche consiste à considérer la densité comme une variable catégorielle. L'équation utilisée pour la modélisation est présentée à l'Équation 6-1.

Équation 6-1: Équation d'utilité décrivant le modèle en considérant la densité de personnes debout par mètre carré comme une variable catégorielle

$$Utilité_{xy} = \beta_{TP} * TP_{xy} + \beta_{C4} * C4_{xy} + \beta_{C8} * C8_{xy} + \beta_{Bus} * Bus_{xy} + \beta_{Train} * Train_{xy} + \beta_{Debout} * Debout_{xy} + \varepsilon$$

Chaque niveau est représenté dans l'équation et porte son propre coefficient. Dans ce cas, il est considéré que lorsque la densité de personnes debout par mètre carré équivaut à la valeur 1 et que

le véhicule emprunté est le métro, que le coefficient est aussi 1. Les coefficients associés à chaque variable sont présentés au Tableau 6-2.

Tableau 6-2: Coefficients décrivant le modèle considérant la densité comme une variable catégorielle

	Estimé	Erreur Std.	z-value	Pr(> z )
2: (intercept)	-0.34972	0.151401	-2.3099	0.020895
$\beta_{TP}$	-0.10597	0.022201	-4.773	1.82E-06
$\beta_{CA}$	-0.54203	0.214657	-2.5251	0.011566
$\beta_{CB}$	-1.66377	0.264154	-6.2985	3.01E-10
$\beta_{Train}$	-1.20831	0.383836	-3.148	0.001644
$\beta_{Bus}$	-0.46314	0.232607	-1.9911	0.046473
$\beta_{Debout}$	-0.70752	0.183668	-3.8521	0.000117

Nombre d'observations : 385

$R^2 = 0,40921$

Rapport de vraisemblance logarithmique : -157,49

En comparant à partir de la classe de référence, soit une densité d'une personne par mètre carré, dans le métro et assis, il est possible de remarquer que le bus et le train sont moins attractifs que le métro. Il est possible de remarquer que plus la densité devient élevée, plus le coefficient est petit, ce qui est cohérent avec ce qui était attendu. La position debout est moins attractive que la position assise, ce qui n'est pas surprenant. L'ensemble des variables utilisées dans le modèle sont significatives. Le rapport de vraisemblance logarithmique du modèle est de -157,49 ce qui semble une valeur relativement petite considérant qu'une valeur élevée implique un modèle plus robuste.

Ensuite, il est possible de calculer l'utilité de chaque alternative et de déterminer la probabilité de choisir correctement un scénario. Pour ce faire, il est supposé que le modèle prédit correctement le scénario le plus attractif lorsque celui-ci est sélectionné. Le taux de réussite du modèle est de 90%. Cela permet de confirmer que le modèle reconstruit assez bien l'échantillon disponible considérant que c'est ce même échantillon qui a permis de caler les coefficients. Cela permet de confirmer que l'ensemble de variables fonctionne bien. Les cas où le modèle n'arrive pas à prendre la bonne alternative est lorsque la probabilité est très proche de 50%. Pour l'ensemble des scénarios l'utilité est négative et que plus l'utilité est petite, moins une alternative est attractive.

Par la suite, pour calculer les facteurs d'incrément du temps de déplacement, il faut d'abord calculer l'utilité de la référence. Pour chaque véhicule, la référence représente le moment où la densité est

d'une personne par mètre carré et la personne assise. Ensuite, vu que le temps est indépendant de la densité, il faut donc calculer l'utilité de la référence pour chaque temps de parcours. L'utilité pour chaque véhicule et chaque valeur de temps de parcours est présentée dans le Tableau 6-3.

Tableau 6-3: Utilité de référence pour le calcul des facteurs

Mode	Incréments de temps de parcours					
	5	10	15	20	25	35
Bus	-1.34268	-1.87251	-2.40233	-2.93216	-3.46198	-4.52163
Métro	-0.87954	-1.40937	-1.93919	-2.46902	-2.99884	-4.05849
Train	-2.08786	-2.61768	-3.14751	-3.67733	-4.20716	-5.26681

L'utilité du métro est plus grande que celle du bus et du train, facilement explicable parce que le bus et le train étaient considérés comme étant plus pénibles que le métro dans le modèle. Ensuite, l'utilité diminue à mesure que le temps de parcours augmente, ce qui est cohérent avec le comportement du modèle.

Une fois l'utilité de référence calculée, il est maintenant possible d'aller déterminer le temps de parcours pour chaque alternative de façon à obtenir la même utilité que la référence. Pour ce faire, il s'agit tout simplement de faire une mise en évidence simple du temps de parcours dans l'équation d'utilité, en remplaçant la valeur de l'utilité par l'utilité de référence calculée précédemment. Il est ensuite possible de calculer le différentiel de temps entre le temps de référence et le temps obtenu pour obtenir le temps supplémentaire pour chaque alternative.

Les incréments de temps supplémentaires sont calculés pour chaque valeur de densité et pour la position assise et debout. L'équation d'utilité construite dans son état actuel ne fait qu'ajouter du temps à une condition donnée. Par exemple, l'incrément de temps entre la position assise et debout sera le même peu importe la valeur de densité. Ainsi, l'incrément de temps entre la position assise et debout est de +6,68 minutes. Cela veut dire que lorsque la personne est debout, son temps perçu consiste au temps de parcours additionné de 6,68 minutes. Au niveau des valeurs de densité, l'incrément pour passer d'une densité de 1 à 4 personnes par mètre carré correspond à un incrément de 5,12 minutes et l'incrément pour passer d'une densité de 4 à 8 personnes par mètre carré est de 10,12 minutes.

Les différentiels temps de parcours équivalents sont présentés à la Figure 6-1.

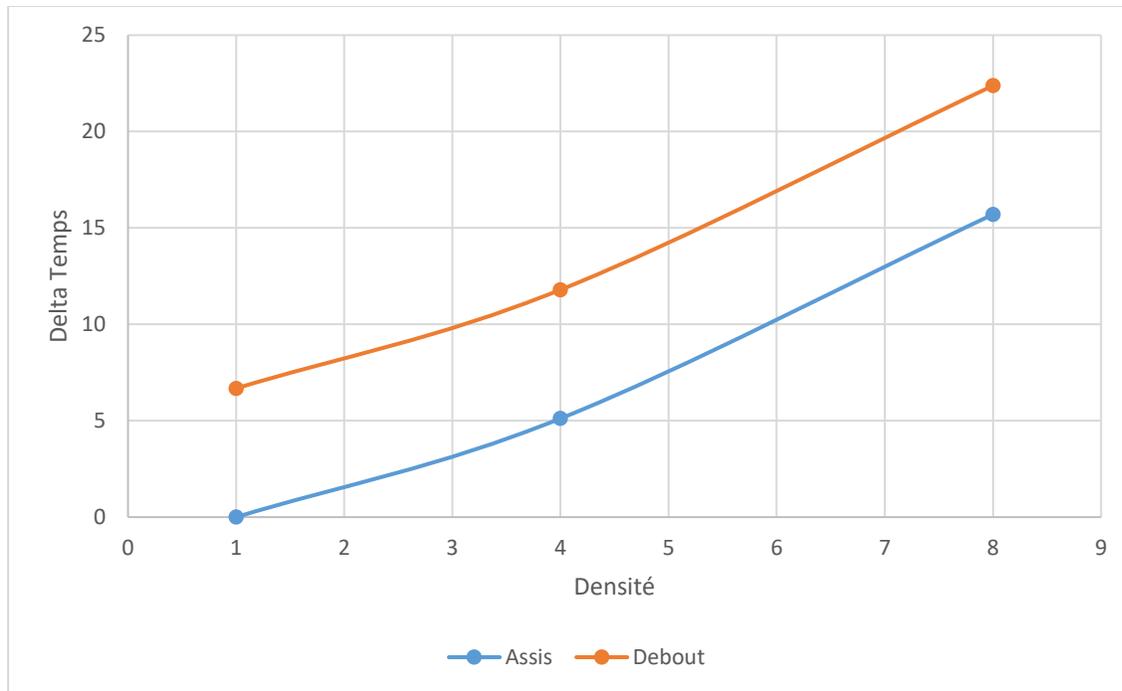


Figure 6-1: Variation du temps de parcours en fonction de la densité et de la position

Vu que la fonction d'utilité est additive, elle ne permet pas de prendre en compte l'effet de l'interaction entre les variables. Ce faisant, il a été remarqué que peu importe le véhicule, la variation de temps est la même. Il est possible de remarquer que le différentiel de temps augmente à mesure que la densité augmente. Il est aussi pertinent de souligner que l'incrément de temps est plus élevé lorsque la personne est debout et non assise pour une même valeur de densité, ce qui permet de montrer qu'il est plus pénible d'être debout qu'assis lors d'un déplacement. Finalement, la pente entre la densité faible et la densité moyenne est moins abrupte que la pente entre la densité moyenne et élevée. Cela permet de montrer qu'il est plus pénible de voyager dans une densité plus élevée que dans une densité plus faible.

## 6.2.2 Deuxième approche

La deuxième approche consiste à considérer la densité comme une variable continue. Cette situation de modéliser se rapproche davantage de la situation réelle, car la densité de personnes debout par mètre carré peut varier entre 0 et 8 personnes par mètre carré. L'équation utilisée pour la modélisation est présentée à l'Équation 3-8.

Équation 6-2: Équation d'utilité décrivant le modèle en considérant la densité de personnes debout par mètre carré comme une variable continue

$$Utilité_{xy} = \beta_{TP} * TP_{xy} + \beta_{Densité} * Densité_{xy} + \beta_{Bus} * Bus_{xy} + \beta_{Train} * Train_{xy} + \beta_{Debout} * Debout_{xy} + \varepsilon$$

Dans ce modèle, la densité représente une seule variable. L'évaluation des coefficients se fait à partir de 1, 4 et 8 personnes par mètre carré, mais il est possible de modéliser l'ensemble des valeurs que peut prendre la variable de la densité, allant de 1 à 8 personnes par mètre carré. Les coefficients associés à chaque variable sont présentés au Tableau 6-4.

Tableau 6-4: Coefficients décrivant le modèle considérant l'entassement comme une variable continue

	Estimé	Erreur Std.	z-value	Pr(> z )
2:(intercept)	-0.33766	0.150274	-2.247	0.024641
$\beta_{TP}$	-0.10107	0.021222	-4.7624	1.91E-06
$\beta_{Densité}$	-0.24024	0.038002	-6.3219	2.58E-10
$\beta_{Train}$	-1.29087	0.374399	-3.4479	0.000565
$\beta_{Bus}$	-0.50993	0.225784	-2.2585	0.023916
$\beta_{Debout}$	-0.70419	0.183991	-3.8273	0.00013

Nombre d'observations : 385

$R^2 = 0,40742$

Rapport de vraisemblance logarithmique : -157,96

Il est possible de remarquer les mêmes tendances que pour le modèle précédent. Le temps de parcours, la densité, le train, le bus et la position debout semblent diminuer l'attractivité d'une option. Il est possible de remarquer que l'ensemble des variables sont significatives. Le rapport de vraisemblance logarithmique du modèle est de -157,96, ce qui est très proche par rapport au modèle précédent.

Par la suite, il est possible de calculer l'utilité de chaque alternative et de voir si le modèle est représentatif des résultats obtenus. Le taux de réussite de prédiction du modèle est de 90%. Ce modèle a une robustesse semblable au modèle précédent. Cela permet de confirmer que le modèle reconstruit assez bien l'échantillon disponible considérant que c'est ce même échantillon qui a permis de caler les coefficients. Le modèle se trompe lorsque les probabilités sont très proches de 50%, tout comme le modèle précédent.

Par la suite, il est possible de calculer l'utilité pour chaque référence utilisée. La référence utilisée est la même que précédemment, soit une densité d'une personne par mètre carré et une position assise. Les résultats sont illustrés au Tableau 6-5.

Tableau 6-5: Utilité des références utilisées pour le calcul du temps équivalent pour les autres alternatives possibles

Mode	Incréments de temps de parcours					
	5	10	15	20	25	35
Bus	-1.59318	-2.09853	-2.60388	-3.10923	-3.61458	-4.62528
Métro	-1.08325	-1.5886	-2.09395	-2.5993	-3.10465	-4.11535
Train	-2.37412	-2.87947	-3.38482	-3.89017	-4.39552	-5.40622

Il est possible de remarquer que les valeurs suivent les mêmes tendances que précédemment. En effet, les valeurs d'utilité sont plus élevées pour le métro que pour le bus ou le train et l'utilité diminue à mesure que la densité augmente. Le tout est donc cohérent avec le modèle.

Une fois l'utilité de référence calculée, il est maintenant possible d'aller déterminer le temps de parcours pour chaque alternative de façon à obtenir la même utilité que la référence. Pour ce faire, il s'agit tout simplement de faire une mise en évidence simple du temps de parcours dans l'équation d'utilité, en remplaçant la valeur de l'utilité par l'utilité de référence calculée précédemment. Il est ensuite possible de calculer le différentiel de temps entre le temps de référence et le temps obtenu pour obtenir le temps supplémentaire pour chaque alternative.

Les incréments de temps supplémentaires sont calculés pour chaque valeur de densité et pour la position assise et debout. L'équation d'utilité construite dans son état actuel ne fait qu'ajouter du temps à une condition donnée. Par exemple, l'incrément de temps entre la position assise et debout sera le même peu importe la valeur de densité. Ainsi, l'incrément de temps entre la position assise et debout est de 6,97 minutes. Cela veut dire que lorsque la personne est debout, son temps perçu consiste au temps de parcours additionné de 6,97 minutes. Au niveau des valeurs de densité, l'incrément induit par l'augmentation d'une densité d'une personne par mètre carré supplémentaire est de 2,38 minutes.

Les différentiels temps de parcours équivalent sont présentés à la Figure 6-2.

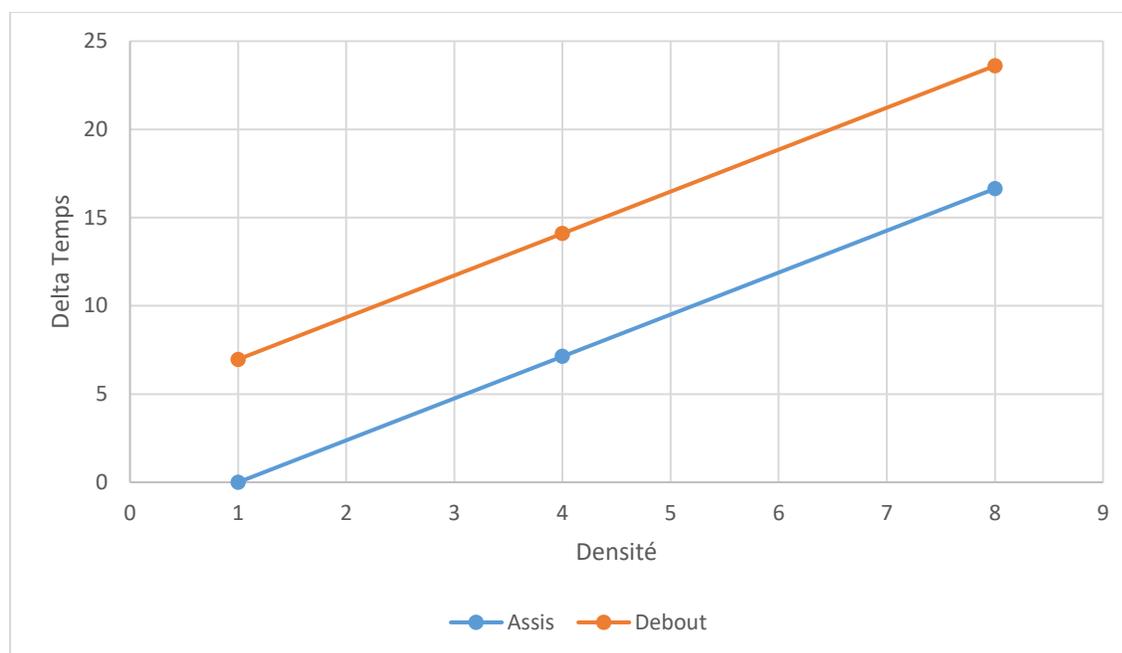


Figure 6-2: Variation du temps de parcours en fonction de la densité et de la position

Il est d'abord possible de remarquer que la variation est linéaire pour l'ensemble des valeurs de densité. Encore une fois, les valeurs sont plus élevées lorsque la personne est debout et le différentiel de temps augmente à mesure que la densité augmente. Le différentiel de temps va jusqu'à 24 minutes pour la densité la plus élevée et lorsque la personne est debout.

### 6.3 Discussion des deux approches

Les deux méthodes permettent de faire ressortir les mêmes tendances. En effet, les différentiels de temps augmentent à mesure que la densité de personnes debout augmente. Cela suit la tendance qui était attendue. En effet, une densité plus élevée implique un confort moins élevé, faisant que l'utilisateur devrait percevoir le temps passer plus lentement. Ensuite, il est plus pénible de voyager debout qu'assis, ce qui confirme l'hypothèse qu'il est plus pénible de voyager assis que debout.

Dans les deux méthodes utilisées, seules la densité et la position permettaient d'influencer les valeurs obtenues. En effet, vu la forme additive de l'équation d'utilité, elle ne permettait pas de prendre en compte l'interaction entre les variables. De plus, sa forme considérait seulement l'addition de temps, faisant qu'il n'était pas possible d'obtenir des facteurs par la suite.

Au niveau des deux approches, celles-ci ont leur avantage et leur inconvénient. Lorsque la densité est considérée comme une valeur catégorielle, il est possible de mesurer l'effet réel de

l'augmentation de la densité à chaque palier de valeur disponible. Comme il a été possible de le remarquer précédemment, il est plus pénible de passer d'une densité moyenne à une densité élevée que de passer d'une densité faible à une densité moyenne. Cela peut s'expliquer par le fait que les usagers à bord des véhicules ont encore de la place lorsque la densité est sous la densité de 4 personnes par mètre carré. Lorsque la densité de personnes debout devient plus élevée, les gens se retrouvent plus près les uns des autres, ce qui peut causer du stress et de l'inconfort. Dans le cas de la deuxième approche, il était considéré que l'augmentation de l'incrément du temps de parcours varie linéairement avec la densité, ce qui n'est pas nécessairement représentatif de la réalité. Cependant, cette méthode a l'avantage de considérer l'ensemble des valeurs de densité de personnes debout disponibles, tandis qu'avec la première méthode il faut faire des interpolations entre les différents paliers. Pour corriger cet enjeu, il faudrait augmenter le nombre de valeurs de densité testées dans le questionnaire administré aux répondants, comme ce qui avait été fait dans l'étude de Whelan et Crockett (2009). Au niveau de l'écart entre la position assise et debout, il a été remarqué dans les deux cas que la position debout est plus pénible que la position assise, ce qui correspond à ce qui était attendu. Dans le cas de la deuxième méthode, la droite ne subissait qu'une translation vers le haut d'une certaine valeur, ce qui n'est pas nécessairement représentatif de la réalité. En effet, l'augmentation de la densité couplée avec le fait d'être debout ne devrait pas suivre une tendance parfaitement linéaire et la pente devrait être potentiellement plus abrupte à mesure que la densité augmente.

Au niveau des valeurs obtenues, la deuxième méthode a donné des valeurs de temps élevées que la première. En effet, une variation d'environ 12% entre les valeurs obtenues par la première méthode et la deuxième méthode a été observé. L'écart entre les valeurs est plus important pour la densité moyenne que pour les autres densités. Bien que les deux modèles aient permis de prédire avec le même taux de succès le scénario dominant, il est pertinent de souligner que l'écart entre les deux méthodes devra être réévalué avec un échantillon plus élevé afin de conclure sur la meilleure méthode à utiliser.

En conclusion, dans une optique d'améliorer la précision des résultats et de refléter le mieux possible la réalité, il est proposé de développer une méthode comprenant de l'interaction entre les variables, ce qui permettrait de prendre en compte l'effet du véhicule sur le temps perçu.

## **6.4 Intégration de la composante du confort dans l'équation de coût généralisé**

L'ajout de la composante du confort dans l'équation du coût généralisé d'un déplacement pourrait se faire en prenant en considération la densité de personnes debout, la position de l'utilisateur à bord du véhicule ainsi que le temps de parcours. Ceci nécessiterait d'ajouter la composante de capacité en places assises et debout des véhicules lors du calcul de l'affectation des passagers. À partir de la capacité en places assises et debout, il est possible de calculer à chaque arrêt d'un voyage donné la densité de personnes debout et de déterminer si la personne est assise ou debout à l'embarquement. Un incrément de temps de parcours serait ajouté au temps de parcours réel afin de représenter le temps perçu dû à la situation moins confortable.

Afin de réaliser cette intégration, certaines hypothèses devront être prises en compte. Tout d'abord, il faudra considérer qu'un passager reste debout tant qu'il y a des personnes debout à bord. Ensuite, l'incrément de temps de parcours serait appliqué uniquement sur le temps en véhicule, car l'utilisateur ne subit pas d'entassement à un arrêt. Finalement, il faudra assigner sur le réseau un gabarit de véhicule le plus représentatif de la flotte de véhicules desservant la ligne. Par exemple, une ligne de bus peut être exploitée à la fois par un minibus ou un bus régulier, faisant qu'une hypothèse sur la capacité du véhicule doit être prise en compte.

En parcourant la littérature, plusieurs chercheurs utilisent des facteurs multiplicatifs du temps de parcours en considérant le confort. Le temps de parcours en véhicule est multiplié par un facteur prenant en compte la densité de personnes debout et la position assise ou debout, soit sous la forme de pénalité. Dans le cadre de cette étude, il n'a pas été possible de développer des facteurs multiplicatifs du temps de parcours en raison de l'échantillon trop petit. Dans des travaux futurs, il serait pertinent de développer des facteurs multiplicatifs du temps de parcours pour les appliquer sous la forme d'une pénalité pour chaque tronçon inter-arrêt.

## CHAPITRE 7 CONCLUSION

Dans le cadre de ce mémoire de maîtrise, le but a été de caractériser le confort à bord des véhicules de transport collectif de la région de Montréal. Pour ce faire, un questionnaire a été développé afin de déterminer quelles étaient les préférences de confort des usagers des transports collectifs en fonction du véhicule, de la densité de personnes debout à bord, de la position assise ou debout et du temps de parcours. Par la suite, une méthode d'analyse de données a été proposée, qui consiste à modéliser le choix à l'aide d'un modèle logistique multinomial permettant de déduire des facteurs multiplicatifs du temps de parcours. En raison de la situation engendrée par la pandémie de COVID-19, il n'a pas été possible de compléter l'enquête de préférences auprès d'un échantillon suffisant de personnes, faisant qu'il a été décidé de simplement présenter une méthode qui devra être validée ultérieurement. La méthode proposée consistait à développer une équation d'utilité qui prenait en compte la densité, le véhicule, le temps de parcours et la position assise ou debout. L'ensemble des variables utilisées étaient significatives. L'ajout de l'interaction entre les variables venait complexifier le modèle et ne permettait pas d'améliorer sa robustesse avec l'échantillon actuel. Ensuite, il était possible d'estimer des variations entre le temps de parcours d'une alternative en comparaison avec le temps de parcours d'une référence, qui était lorsque la densité était faible et la personne assise.

Par la suite, ce mémoire de maîtrise a permis de proposer une méthode de diagnostic du confort sur un réseau de transport collectif. Une série d'indicateurs ont été développés, qui comprenaient le ratio de personnes par siège, le ratio de personnes par place, le taux d'occupation des sièges et des places sur une ligne, la probabilité d'une place assise et la probabilité du refus d'embarquement. En utilisant l'enquête Origine-Destination 2013 pour déterminer les lieux d'embarquement et de débarquement, ainsi que les données de carte à puce pour la charge à bord des bus pendant une période donnée, il a été possible de reconstruire la charge à bord sur le réseau d'autobus de la STM et de calculer les indicateurs associés. Malgré le bien-fondé de cette méthode, il pourrait être pertinent d'utiliser à terme les comptages à bord afin de faire cet exercice, ce qui permettrait d'augmenter la précision des résultats. En effet, compte tenu que l'Enquête OD vise seulement un échantillon correspondant à 4% de la population, il n'est pas possible d'avoir un taux de pénétration aussi élevé des passagers à bord d'un véhicule par rapport à des données de comptage à bord.

## 7.1 Contributions

Somme toute, ce mémoire de maîtrise a permis de proposer un questionnaire permettant de mesurer les préférences de confort à bord des véhicules de transport collectif pour la grande région de Montréal. En prenant en compte l'ensemble des véhicules disponibles dans la région pour faire des déplacements, il est ainsi possible de mesurer en plus des préférences de confort les préférences de véhicule. Cela peut être important pour un analyste quand vient le temps de faire de la planification de réseaux. En effet, chaque véhicule a ses propres caractéristiques d'implantation et son coût associé. Par exemple, dans le cas du bus, son implantation est facile et rapide, mais l'autobus est soumis aux contraintes de circulation et de congestion et n'est pas nécessairement stable pour un passager qui se tient debout. Ensuite, la question sur les préférences d'alternatives d'itinéraires permet de comprendre les paramètres qui influencent les choix d'itinéraires des répondants. Les principaux paramètres considérés dans le choix d'itinéraire sont le temps de parcours, les correspondances et le véhicule. En ayant davantage de répondants, il serait potentiellement possible de monter une liste des préférences plus élargie et de proposer une méthode d'évaluation de la qualité des itinéraires de transport collectif proposés.

De plus, cette enquête permet de poser un premier diagnostic sur l'état du confort dans la région de Montréal. En prenant en compte la notion du temps perçu dans l'affectation des déplacements, il est possible de mieux prendre en compte la notion de capacité d'un réseau. En effet, la notion de capacité a longtemps été négligée dans les modèles de planification des réseaux, faisant qu'il n'était pas possible de déterminer les points de débordement à la suite de l'affectation. En ajoutant la composante du confort, il devient possible d'évaluer les différents itinéraires possibles et d'affecter une partie de la demande sur des itinéraires moins congestionnés, ce qui permettrait d'augmenter la précision des modèles d'affectation.

Finalement, ce mémoire a proposé une méthode de diagnostic du confort sur un réseau de transport collectif. Plusieurs sociétés de transport décident d'avoir une approche basée sur l'expérience client et le confort est un déterminant important de cette expérience. En utilisant le diagnostic du confort sur son réseau, il est possible pour une société de transport de déterminer les lieux sur son réseau où la charge à bord est plus élevée que ses normes opérationnelles et potentiellement apporter des corrections pour assurer un plus grand confort. En utilisant le taux d'occupation des places et des

sièges sur les lignes de transport collectif, il serait possible de déterminer une liste de priorités pour l'ajout de service.

## 7.2 Limitations

Ce projet a permis de montrer les potentiels de la prise en compte du confort dans la planification des transports collectifs. Cependant, certaines limitations restent présentes. Tout d'abord, le faible échantillonnage ne permet pas de faire un modèle robuste et la méthodologie présentée dans ce mémoire ne peut pas être validée.

De plus, la forme de l'équation d'utilité est additive. Cela veut dire que les variations de temps de parcours trouvées étaient des additions, ce qui ne permettait pas de faire des facteurs multiplicatifs du temps de parcours. À la suite d'une nouvelle acquisition de données, il sera pertinent d'ajouter de l'interaction entre les variables afin d'avoir une meilleure représentation de la variation du temps perçu. De plus, l'ajout de l'interaction entre les variables permettra de faire varier l'augmentation du temps perçu avec l'augmentation du temps de déplacement qui pourra prendre en compte le véhicule. En effet, le véhicule n'avait aucun impact sur la variation du temps de parcours trouvé pour chaque valeur de densité.

Ensuite, l'enquête ne permet pas de prendre en compte l'augmentation de la charge à bord en fonction de la distance. En effet, il est considéré que la charge reste constante pendant tout le trajet fictif proposé au répondant. Cela a pour effet de ne pas pouvoir mesurer les cas où la charge élevée serait appliquée seulement sur le dernier kilomètre d'un itinéraire ou la variation de la charge à bord en fonction de la distance sur le temps perçu. Il est faux de dire que la charge reste constante pendant tout un itinéraire, parce que celle-ci change à chaque arrêt. De plus, l'enquête ne prend pas en compte les possibilités de faire une correspondance. Par exemple, il aurait pu être intéressant de mesurer si l'utilisateur préfère endurer une alternative directe ou s'il préfère un itinéraire avec deux chemins moins congestionnés et une correspondance entre les deux. L'enquête, dans son format actuel, ne prend pas en compte la notion de correspondance, qui est pourtant un concept très important dans le choix d'itinéraire d'un individu.

En addition, l'enquête ne permet pas de prendre en compte directement la préférence du véhicule. Par exemple, il aurait pu être intéressant de mesurer, pour un même temps de parcours, un même entassement et une même position, deux véhicules distincts. Chaque véhicule offre ses propres

caractéristiques de confort et malgré la présence du véhicule dans l'enquête actuelle, elle ne permet pas de mesurer clairement la préférence pour un véhicule donné sur un même pied d'égalité. En considérant la préférence du véhicule, il aurait pu être possible de déterminer des facteurs de pénalité pour le véhicule.

Finalement, au niveau des indicateurs, l'utilisation de données carte à puce imputées avec l'enquête Origine-Destination est une importante limitation. En effet, l'enquête OD ne permet de faire l'échantillonnage que de 5% de la population et considère certaines hypothèses pour les lieux d'embarquement et de débarquement dans les bus. Cette méthode ne permet donc pas d'avoir le profil réel des embarquements et débarquements sur les lignes de bus. Pour corriger cette contrainte, il aurait été intéressant d'avoir accès à des données de comptages aux arrêts. Cela aurait permis de faire un diagnostic plus précis.

### **7.3 Perspectives futures**

Afin de raffiner la compréhension du confort, il pourrait être intéressant de prendre en compte plus de paramètres. En effet, la charge à bord n'est pas le seul élément apportant un sentiment de confort dans un itinéraire de transport collectif. Il pourrait être intéressant de considérer dans des études subséquentes l'accès aux arrêts d'autobus ou aux stations de train et de métro, de la présence d'infrastructures pour l'accès aux arrêts, tels que les trottoirs. De plus, il pourrait être intéressant de voir si le temps perçu change en fonction de la section dans l'itinéraire. Par exemple, est-ce que le temps perçu est plus élevé à bord ou lors de l'accès à un arrêt de bus? La prise en compte de toutes les parties d'un déplacement permettrait de raffiner le paramètre du confort et pas seulement pour le confort à bord.

Par la suite, il pourrait être pertinent de déterminer le temps perçu en fonction de la valorisation du temps à bord d'un véhicule. Par exemple, lorsque les usagers ont suffisamment de place, certains peuvent ouvrir leur ordinateur pour travailler sur leurs dossiers. D'autres peuvent profiter de leur temps à bord du véhicule pour lire un journal ou pour utiliser leur téléphone intelligent. Cette valorisation du temps de parcours pourrait être mesurée et pourrait permettre de déterminer la réduction du temps perçu en fonction de l'occupation du client qui voyage à bord du véhicule. De plus, il pourrait être possible d'évaluer le temps à bord à partir duquel les clients seraient à consacrer à travailler pendant leurs déplacements. Il semble évident qu'une personne ne serait pas

prête à sortir son matériel si son temps à bord d'un véhicule est de 5 minutes, mais le serait-elle si son temps à bord d'un véhicule de transport collectif est de 45 minutes? Ainsi, étudier la valorisation du temps de parcours et évaluer la proportion de clients qui seraient prêts à travailler dans les transports collectifs permettrait aux agences de transport de proposer des alternatives répondant à ces besoins.

Par après, certains déterminants tels que la température extérieure, le niveau de fatigue, ou la position dans un véhicule pourraient permettre de mieux caractériser le confort à bord. Par exemple, en étudiant l'impact de la température à bord d'un autobus sur le confort, cela permettrait de justifier l'achat d'autobus équipés d'unités d'air climatisé. Ensuite, le niveau de fatigue permettrait de déterminer le besoin en places assises en fonction du moment de la journée. Cela permettrait de déterminer les moments de fatigue les plus importants pendant une journée et de proposer des aménagements à l'intérieur des véhicules en fonction de ces besoins. Par exemple, si les usagers sont plus fatigués en soirée, il pourrait être intéressant d'avoir des véhicules offrant une plus grande capacité en places assises en pointe du soir. La position dans le véhicule pourrait potentiellement avoir un impact sur le sentiment de confort. Par exemple, dans l'autobus, les usagers semblent préférer être assis à l'avant du bus, créant une grande densité de personnes à cet endroit, alors qu'il y a de la place résiduelle à l'arrière. La compréhension du choix d'un endroit pour rester debout dans certains véhicules permettrait de comprendre les préférences des usagers dans ces véhicules et de proposer des aménagements plus conviviaux.

Finalement, il pourrait être intéressant de comprendre l'heure de départ des gens. En effet, pendant la journée, il est possible de remarquer deux pics du nombre de déplacements pendant la journée. Cependant, il n'est pas possible d'expliquer à l'heure actuelle la part des voyageurs ayant ou non une flexibilité dans leur heure de départ (ou d'arrivée). Dans le cas où il serait possible d'étaler les voyageurs dans le temps, il serait possible d'offrir, pour une même capacité un meilleur confort pour les usagers. D'ailleurs, à cause de l'entassement très élevé à bord des trains en Europe et l'impossibilité d'ajouter du service en période de pointe, certaines agences de transport proposent un tarif plus faible pour les clients voyageant avant ou après un certain créneau horaire. En comprenant davantage les heures de départ des répondants, il serait possible de voir le potentiel d'une telle mesure dans la région de Montréal. Somme toute, ce mémoire de maîtrise, par l'originalité de son sujet, a permis d'explorer le transport collectif sous une vision basée sur l'expérience voyageur et non seulement sur l'efficacité opérationnelle. Dans un monde où il devient

important de rendre les transports collectifs compétitifs par rapport à l'automobile, l'étude du confort permet de considérer un déterminant important lors du choix d'un mode.

## RÉFÉRENCES

- Aloulou, F. (2017). *The Application of Discrete Choice Models in Transport*. Récupéré sur IntechOpen: <https://www.intechopen.com/books/statistics-growing-data-sets-and-growing-demand-for-statistics/the-application-of-discrete-choice-models-in-transport>
- Autorité régionale de transport métropolitain. (2020, Janvier). *Mission*. Récupéré sur Autorité régionale de transport métropolitain: <https://www.artm.quebec/mission/>
- Basu, D., & Hunt, J. (2012, Novembre). Valuing of attributes influencing the attractiveness of suburban train service in Mumbai city: A stated preference approach. *Transportation Research Part A*, pp. 1465-1476.
- Batarce, M., Munoz, J., de Dios Ortúzar, J., Raveau, S., Mojica, C., & Ríos, R. (2015). *Valuing crowding in public transport systems using mixed stated/revealed preferences data: The case of Santiago*. Récupéré sur ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/274311916\\_Valuing\\_Crowding\\_In\\_Public\\_Transport\\_Systems\\_Using\\_Mixed\\_StatedRevealed\\_Preferences\\_Data\\_The\\_Case\\_Of\\_Santiago](https://www.researchgate.net/publication/274311916_Valuing_Crowding_In_Public_Transport_Systems_Using_Mixed_StatedRevealed_Preferences_Data_The_Case_Of_Santiago)
- Björklund, G., & Swärdh, J.-E. (2017, Décembre). Estimating policy values for in-vehicle comfort and crowding reduction in local public transport. *Transportation Research Part A*, pp. 453-472.
- Bose, T., & Pandit, D. (2018). Heterogeneity in perception of service quality attributes of bus transit across various user categories 0 A case of Kolkata. *Transportation Research Procedia*, pp. 1-18.
- Bunch, D., Louviere, J., & Anderson, D. (1996). *A comparison of Experimental Design Strategies for Choice-Based Conjoint Analysis with Generic-Attribute Multinomial Logit Models*. Davis.
- Bush, S. (2007). *Optimal Designs for Stated Choice Experiments Generated from Fractional Factorial Designs*. Récupéré sur ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/260026218\\_Optimal\\_Designs\\_for\\_Stated\\_Choice\\_Experiments\\_Generated\\_From\\_Fractional\\_Factorial\\_Designs](https://www.researchgate.net/publication/260026218_Optimal_Designs_for_Stated_Choice_Experiments_Generated_From_Fractional_Factorial_Designs)

- Caisse de dépôt et de placements du Québec. (2019, Novembre 13). *La carte du REM*. Récupéré sur Caisse de dépôt et de placements du Québec: [https://rem.info/sites/default/files/2018-06/REM\\_Carte\\_FR.jpg](https://rem.info/sites/default/files/2018-06/REM_Carte_FR.jpg)
- Caisse de dépôt et de placements du Québec. (2019, Novembre 13). *Le REM*. Récupéré sur Caisse de dépôt et de placements du Québec: <https://rem.info/fr/reseau-express-metropolitain>
- Cats, O., West, J., & Eliasson, J. (2016, Juillet). A dynamic stochastic model for evaluating congestion and crowding effects in transit systems. *Transportation Research Part B*, pp. 43-57.
- Chen, X., Li, H., Miao, J., Jiang, S., & Jiang, X. (2017, Février). A multiagent-based model for pedestrian simulation in subway stations. *Simulation Modelling Practice and Theory*, pp. 134-148.
- Chin, H.-C., Pang, X., & Wang, Z. (2019). Analysis of Bus Ride Comfort Using Smartphone Sensor Data. *Computers, Materials & Continua*, 455-463.
- Chowdhury, S. (2017, Novembre). Understanding Factors that Influence Transit Users' Willingness to Make Transfers. *Ite Journal*, pp. 35-37.
- Chrzan, K., & Orme, B. (2000). *An Overview and Comparison of Design Strategies for Choice-Based Conjoint Analysis*. Sequim: Sawtooth Software - Research Paper Series.
- Communauté métropolitaine de Montréal. (2019, Novembre 11). *Cartes générales*. Récupéré sur Communauté métropolitaine de Montréal: <http://cmm.qc.ca/donnees-et-territoire/observatoire-grand-montreal/produits-cartographiques/cartes-pdf/>
- Communauté métropolitaine de Montréal. (2019, Février 19). *La CMM en chiffres*. Récupéré sur Communauté métropolitaine de Montréal: [http://cmm.qc.ca/fileadmin/user\\_upload/documents/20190219\\_CMMEnChiffres.pdf](http://cmm.qc.ca/fileadmin/user_upload/documents/20190219_CMMEnChiffres.pdf)
- Cox, T., Houdmont, J., & Griffiths, A. (2006). Rail passenger crowding, stress, health and safety in Britain. *Transportation Research Part A*, 244-258.
- Dauphinais-Pelletier, C. (2019). Selon une étude: le transport en commun peu alléchant. *Journal de Montréal*.

- de Palma, A., Lindsey, R., & Monchambert, G. (2017, Septembre). The economics of crowding in rail transit. *Journal of Urban Economics*, pp. 106-122.
- Douglas, N., & Karpouzis, G. (2016). *Estimating the Passenger Cost of Station Crowding*. Récupéré sur ResearchGate: <https://www.researchgate.net/publication/268369899>
- Eluru, N., Chakour, V., & El-Geneidy, A. (2012). Travel mode choice and transit route choice behavior in Montreal: insights from McGill University members commute patterns. *Public Transportation*, pp. 129-149.
- exo - Réseau de transport métropolitain. (2019, Novembre 13). *Statut, mandats, territoire*. Récupéré sur exo: <https://exo.quebec/fr/a-propos/statut-mandat>
- Fan, Y., Guthrie, A., & Levinson, D. (2016). *Perception of Waiting Time at Transit Stops and Stations*. Minneapolis: Center of Transportation Studies - University of Minnesota.
- Fernandez, R. (2008, Octobre). *Data collection and calibration of passenger service time models for the Transantiago system*. Récupéré sur ResearchGate: <https://www.researchgate.net/publication/263890434>
- First in Architecture. (2019, Juillet 22). *Average male and female dimensions / Heights*. Récupéré sur First in Architecture: <https://www.firstinarchitecture.co.uk/average-male-and-female-dimensions/>
- Fu, Q., Liu, R., & Hess, S. (2012). A review on transit assignment modelling approaches to congested networks: a new perspective. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 1145-1155.
- Fu, Z., Luo, L., Yang, Y., Zhuang, Y., Zhang, P., Yang, L., . . . Li, Y. (2016, Septembre). Effect of speed matching on fundamental diagram of pedestrian flow. *Physica A*, pp. 31-42.
- GTFS.org. (2019). *GTFS: Making Public Transit Data Universally Accessible*. Récupéré sur GTFS.org: <https://gtfs.org/>
- Guo, X., & Sun, H. (2014). Analysis of Time of Day Fare Discounts on Urban Mass Transit Travel Behavior, Crowding, and Waiting Time. *Hindawi Publishing Corporation - Mathematical Problems in Engineering*, pp. 1-7.

- Haywood, L., & Koning, M. (2015, Juillet). The distribution of crowding costs in public transport: New evidence from Paris. *Transportation Research Part A*, pp. 182-201.
- Haywood, L., Koning, M., & Monchambert, G. (2017). Crowding in public transport: Who cares and why? *Transportation Research Part A*, pp. 215-227.
- Hughes, R. (2002). A continuum theory for the flow of pedestrians. *Transportation Research Part B*, pp. 507-535.
- iResearchNet. (2019). *Psychology - Crowding*. Récupéré sur iResearchNet: <https://psychology.iresearchnet.com/social-psychology/group/crowding/>
- Kato, H. (2006). *Nonlinearity of the utility function and the value of travel time savings: empirical analysis of interregional travel mode choice of Japan*. Association for European Transport and contributors.
- Kim, K., Hong, S.-P., Ko, S.-J., & Kim, D. (2015, Juillet). Does crowding affect the path choice of metro passengers? *Transportation Research Part A*, pp. 292-304.
- Kocur, G., Adler, T., Hyman, W., & Aunet, B. (1982). *Guide to forecasting travel demand with direct utility assessment - final report*. Washington, D. C.: National technical information service.
- Lamarre, S. (2017). «L'arrivée du métro fut le plus grand défi de l'histoire de la STL». *Courrier Laval*.
- Li, H., Gao, K., & Tu, H. (2017, Septembre). Variations in mode-specific valuations of travel time reliability and in-vehicle crowding: Implications for demand estimation. *Transportation Research Part A*, pp. 250-263.
- Li, Z., & Hensher, D. (2011, Novembre). Crowding and public transport: A review of willingness to pay evidence and its relevance in project appraisal. *Transport Policy*, pp. 880-887.
- Litman, T. (2008). Valuing Transit Service Quality Improvements. *Journal of Public Transportation*, pp. 43-63.
- Liu, Y., Liu, B., & Ferreira, L. (2010). Transit users' route-choice modelling in transit assignment: a review. *Transport Review*, pp. 753-769.

- Márquez, L., Alfonso A, J., & Poveda, J. (2019). In-vehicle crowding: Integrating tangible attributes, attitudes, and perceptions in a choice context between BRT and metro. *Transportation Research Part A*, 452-465.
- Matejka, F., & McKay, A. (2015). Rational Inattention to Discrete Choices: A New Foundation for the Multinomial Logit Model. *American Economic Review*, pp. 272-298.
- McNally, M. (2008). The four-step model. Dans D. Hensher, & K. Button, *Handbook of transport modelling* (pp. 35-54). Amsterdam: Elsevier.
- Meng, M., Rau, A., & Maharkhika, H. (2018). Public transport travel time perception: Effects of socioeconomic characteristics, trip characteristics and facility usage. *Transportation Research Part A*, 24-37.
- Ministère des transports, de la mobilité durable et de l'électrification des transports. (2017). *Concepts et méthodologie des enquêtes origine-destination - Méthodologie générale des enquêtes-ménages*. Québec.
- Ministère des transports, de la mobilité durable et de l'électrification des transports. (2018). *Modèles d'affectation en transport en commun*. Québec: Ministère des transports, de la mobilité durable et de l'électrification des transports.
- Mishalani, R., McCord, M., & Wirtz, J. (2006). Passenger Wait Time Perceptions at Bus Stops: Empirical Results and Impact on Evaluating Real-Time Bus Arrival Information. *Journal of Public Transportation*, pp. 89-106.
- Mohd Mahudin, N., Cox, T., & Griffiths, A. (2011). Modelling the spillover effects of rail passenger crowding on individual well being and organisational behaviour. *Urban Transport*, 227-238.
- Passenger Focus. (2006). *Overcrowding: a passenger perspective*. Warrington: Rail Passenger Council.
- Qin, F. (2014). Investigating the In-Vehicule Crowding Cost Functions for Public Transit Modes. *Hindawi Publishing Corporation - Mathematical Problems in Engineering*, pp. 1-13.

- Raveau, S., Guo, Z., Muñoz, J., & Wilson, N. (2014, Août). A behavioural comparison of route choice on metro networks: Time, transfers, crowding, topology and socio-demographics. *Transportation Research Part A*, pp. 185-195.
- Réseau de transport de Longueuil. (2019, Novembre 13). *Historique*. Récupéré sur Réseau de transport de Longueuil: <http://m.rtl-longueuil.qc.ca/fr-CA/rtl/historique/>
- Réseau de Transport de Longueuil. (2020). *Équipements et installations - RTL*. Récupéré sur Réseau de Transport de Longueuil: <https://www.rtl-longueuil.qc.ca/fr-CA/rtl/equipements-et-installations/>
- Sahu, P., Sharma, G., & Guharoy, A. (2018). Commuter travel cost estimation at different levels of crowding in a suburban rail system: a case study of Mumbai. *Public Transport*, pp. 379-398.
- Sanko, N. (2001). *Guidelines for Stated Preference Experiment Design*. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- Seriani, S., & Fernandez, R. (2015, Avril). Pedestrian traffic management of boarding and alighting in metro stations. *Transportation Research Part C*, pp. 76-92.
- Seyfried, A., Steffen, B., & Lippert, T. (2006). Basics of modelling the pedestrian flow. *Physica A*, pp. 232-238.
- Shaaban, K., & Hassan, H. (2014). Modeling significant factors affecting commuters' perspectives and propensity to use the new proposed metro service in Doha. *Canadian Journal of Civil Engineering*, pp. 1054-1064.
- Société de Transport de Laval. (2019, Novembre 13). *La STL en bref*. Récupéré sur Société de Transport de Laval: <https://www.stl.laval.qc.ca/fr/a-propos-de-la-stl/en-bref/>
- Société de transport de Montréal. (2013, Octobre 2). *Plan triennal d'immobilisations 2014-2015-2016*. Récupéré sur Société de Transport de Montréal: [https://www.stm.info/sites/default/files/pdf/fr/pti\\_14-16.pdf](https://www.stm.info/sites/default/files/pdf/fr/pti_14-16.pdf)
- Société de Transport de Montréal. (2017, Avril 3). *STM: Investir dans l'amélioration de l'expérience client*. Récupéré sur AQTr : Association Québécoise du Transport: [https://aqtr.com/system/files/file\\_manager/3\\_avril\\_forum\\_schnobb\\_philippe.pdf](https://aqtr.com/system/files/file_manager/3_avril_forum_schnobb_philippe.pdf)

- Société de Transport de Montréal. (2019, novembre 13). *Histoire des tramways*. Récupéré sur Société de transport de Montréal: <http://www.stm.info/fr/a-propos/decouvrez-la-STM-et-son-histoire/histoire/histoire-des-tramways>
- Société de Transport de Montréal. (2019, Novembre 13). *Histoire du métro*. Récupéré sur Société de Transport de Montréal: <http://www.stm.info/fr/a-propos/decouvrez-la-STM-et-son-histoire/histoire/50-ans-dhistoire-du-metro>
- Société de Transport de Montréal. (2019, mai 13). *STM info*. Récupéré sur Société de Transport de Montréal: <http://www.stm.info/sites/default/files/media/Stminfo/2019/05/190513-stminfo.pdf>
- Tan, M.-c., Tong, C., Wong, S., & Xu, J.-m. (2007). An algorithm for finding reasonable paths in transit networks. *Journal of Advanced Transportation*, 285-305.
- Tirachini, A., Hensher, D., & Jara-Díaz, S. (2010). Comparing operator and users costs of light rail, heavy rail and bus rapid transit over a radial public transport network. *Research in Transportation Economics*, pp. 231-242.
- Tirachini, A., Hensher, D., & Rose, J. (2013, Juillet). Crowding in public transport systems: Effects on users, operation and implications for the estimation of demand. *Transportation Research Part A*, pp. 36-52.
- Tirachini, A., Hurtubia, R., Dekker, T., & Daziano, R. (2017). Estimation of crowding discomfort in public transport: results from Santiago de Chile. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 311-326.
- Tirachini, A., Sun, L., Erath, A., & Chakirov, A. (2016, Avril). Valuation of sitting and standing in metro trains using revealed preferences. *Transport Policy*, pp. 94-104.
- Transport Research Board. (2013). *Transit Capacity and Quality of Service Manual*. Washington DC: Transport Research Board of the National Academies.
- Vanumu, L. D., Rao, K., & Tiwari, G. (2017). *Fundamental diagrams of pedestrian flow characteristics: A review*. Récupéré sur ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/320043648\\_Fundamental\\_diagrams\\_of\\_pedestrian\\_flow\\_characteristics\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/320043648_Fundamental_diagrams_of_pedestrian_flow_characteristics_A_review)

- Whelan, G., & Crockett, J. (2009). *An Investigation of the Willingness to Pay to Reduce Rail Overcrowding*. Récupéré sur Semantic Scholar: <https://www.semanticscholar.org/paper/An-Investigation-of-the-Willingness-to-Pay-to-Rail-Whelan-Crockett/c0ca37ef438a2e5bf0fc1aaa761498d1c5138385>
- Zhang, F., Lindsey, R., & Yang, H. (2016, Avril). The Downs-Thomson paradox with imperfect mode substitutes and alternative transit administration regimes. *Transportation Research Part B*, pp. 104-127.
- Zorn, L., Sall, E., & Wu, D. (2012). Incorporating crowding into the San Francisco activity-based travel model. *Transportation*, pp. 755-771.

## ANNEXE A UTILITÉ DE CHAQUE ALTERNATIVE

Tableau 7-1: Utilité de chaque alternative et choix considéré par le modèle lorsque la densité est une variable catégorielle

Scénario	Véhicule	Temps parcours	Densité	Position	Réponses	Occurrence	Utilité	Probabilité	Choix modèle	Choix observé	Réussite
1	Bus	10	1	Debout	13	65%	-2.58	48%	B	A	Faux
1	Métro	15	4	Assis	7	35%	-2.48	52%			
2	Bus	10	4	Debout	7	64%	-3.12	62%	A	A	Vrai
2	Métro	15	8	Assis	4	36%	-3.60	38%			
3	Bus	10	8	Assis	3	15%	-3.54	12%	B	B	Vrai
3	Métro	5	1	Debout	17	85%	-1.59	88%			
4	Bus	15	1	Debout	6	40%	-3.11	39%	B	B	Vrai
4	Métro	10	4	Debout	9	60%	-2.66	61%			
5	Bus	15	4	Assis	7	70%	-2.94	70%	A	A	Vrai
5	Métro	10	8	Debout	3	30%	-3.78	30%			
6	Bus	15	8	Debout	0	0%	-4.77	4%	B	B	Vrai
6	Métro	5	1	Debout	10	100%	-1.59	96%			
7	Bus	20	1	Assis	11	69%	-2.93	56%	A	A	Vrai
7	Métro	15	4	Debout	5	31%	-3.19	44%			
8	Bus	20	4	Debout	4	20%	-4.18	16%	B	B	Vrai
8	Métro	5	8	Assis	16	80%	-2.54	84%			
9	Bus	20	8	Debout	2	12%	-5.30	2%	B	B	Vrai
9	Métro	10	1	Assis	15	88%	-1.41	98%			
10	Métro	5	1	Assis	19	100%	-0.88	97%	A	A	Vrai
10	Train	15	4	Debout	0	0%	-4.40	3%			
11	Métro	5	4	Debout	20	100%	-2.13	98%	A	A	Vrai
11	Train	25	8	Assis	0	0%	-5.87	2%			
12	Métro	5	8	Debout	8	50%	-3.25	47%	B	A	Faux
12	Train	15	1	Assis	8	50%	-3.15	53%			
13	Métro	10	1	Debout	9	90%	-2.12	93%	A	A	Vrai
13	Train	25	4	Assis	1	10%	-4.75	7%			
14	Métro	10	4	Debout	11	100%	-2.66	96%	A	A	Vrai
14	Train	25	8	Assis	0	0%	-5.87	4%			
15	Métro	10	8	Assis	8	100%	-3.07	69%	A	A	Vrai
15	Train	15	1	Debout	0	0%	-3.86	31%			
16	Métro	15	1	Debout	16	94%	-2.65	96%	A	A	Vrai
16	Train	35	4	Assis	1	6%	-5.81	4%			
17	Métro	15	4	Assis	14	93%	-2.48	95%	A	A	Vrai
17	Train	15	8	Debout	1	7%	-5.52	5%			

Tableau 7.1: Utilité de chaque alternative et choix considéré par le modèle lorsque la densité est une variable catégorielle (suite)

18	Métro	15	8	Debout	14	78%	-4.31	72%	A	A	Vrai
18	Train	35	1	Assis	4	22%	-5.27	28%			
19	Train	15	1	Debout	10	53%	-3.86	41%	B	A	Faux
19	Bus	20	4	Assis	9	47%	-3.47	59%			
20	Train	15	4	Assis	17	85%	-3.69	64%	A	A	Vrai
20	Bus	10	8	Debout	3	15%	-4.24	36%			
21	Train	15	8	Debout	0	0%	-5.52	7%	B	B	Vrai
21	Bus	20	1	Assis	10	100%	-2.93	93%			
22	Train	25	1	Assis	2	20%	-4.21	36%	B	B	Vrai
22	Bus	15	4	Debout	8	80%	-3.65	64%			
23	Train	25	4	Debout	5	36%	-5.46	34%	B	B	Vrai
23	Bus	15	8	Debout	9	64%	-4.77	66%			
24	Train	25	8	Debout	0	0%	-6.58	3%	B	B	Vrai
24	Bus	15	1	Debout	9	100%	-3.11	97%			
25	Train	35	1	Debout	2	12%	-5.97	5%	B	B	Vrai
25	Bus	10	4	Debout	15	88%	-3.12	95%			
26	Train	35	4	Debout	3	18%	-6.52	23%	B	B	Vrai
26	Bus	20	8	Debout	14	82%	-5.30	77%			
27	Train	35	8	Assis	1	6%	-6.93	4%	B	B	Vrai

Tableau 7-2: Utilité pour chaque alternative et choix considéré par le modèle lorsque la densité est une variable continue

Scénario	Véhicule	Temps parcours	Densité	Position	Réponses	Occurrence	Utilité	Probabilité	Choix modèle	Choix observé	Réussite
1	Bus	10	1	Debout	13	65%	-2.80	50%	A	A	Vrai
1	Métro	15	4	Assis	7	35%	-2.81	50%			
2	Bus	10	4	Debout	7	64%	-3.52	56%	A	A	Vrai
2	Métro	15	8	Assis	4	36%	-3.78	44%			
3	Bus	10	8	Assis	3	15%	-3.78	12%	B	B	Vrai
3	Métro	5	1	Debout	17	85%	-1.79	88%			
4	Bus	15	1	Debout	6	40%	-3.31	43%	B	B	Vrai
4	Métro	10	4	Debout	9	60%	-3.01	57%			
5	Bus	15	4	Assis	7	70%	-3.32	66%	A	A	Vrai
5	Métro	10	8	Debout	3	30%	-3.97	34%			
6	Bus	15	8	Debout	0	0%	-4.99	4%	B	B	Vrai
6	Métro	5	1	Debout	10	100%	-1.79	96%			
7	Bus	20	1	Assis	11	69%	-3.11	60%	A	A	Vrai
7	Métro	15	4	Debout	5	31%	-3.52	40%			
8	Bus	20	4	Debout	4	20%	-4.53	15%	B	B	Vrai
8	Métro	5	8	Assis	16	80%	-2.76	85%			
9	Bus	20	8	Debout	2	12%	-5.50	2%	B	B	Vrai
9	Métro	10	1	Assis	15	88%	-1.59	98%			
10	Métro	5	1	Assis	19	100%	-1.08	98%	A	A	Vrai
10	Train	15	4	Debout	0	0%	-4.81	2%			
11	Métro	5	4	Debout	20	100%	-2.51	97%	A	A	Vrai
11	Train	25	8	Assis	0	0%	-6.08	3%			
12	Métro	5	8	Debout	8	50%	-3.47	48%	B	A	Faux
12	Train	15	1	Assis	8	50%	-3.38	52%			
13	Métro	10	1	Debout	9	90%	-2.29	94%	A	A	Vrai
13	Train	25	4	Assis	1	10%	-5.12	6%			
14	Métro	10	4	Debout	11	100%	-3.01	96%	A	A	Vrai
14	Train	25	8	Assis	0	0%	-6.08	4%			
15	Métro	10	8	Assis	8	100%	-3.27	69%	A	A	Vrai
15	Train	15	1	Debout	0	0%	-4.09	31%			
16	Métro	15	1	Debout	16	94%	-2.80	97%	A	A	Vrai
16	Train	35	4	Assis	1	6%	-6.13	3%			
17	Métro	15	4	Assis	14	93%	-2.81	95%	A	A	Vrai
17	Train	15	8	Debout	1	7%	-5.77	5%			
18	Métro	15	8	Debout	14	78%	-4.48	72%	A	A	Vrai
18	Train	35	1	Assis	4	22%	-5.41	28%			

Tableau 7-2 : Utilité pour chaque alternative et choix considéré par le modèle lorsque la densité est une variable continue (suite)

19	Train	15	1	Debout	10	53%	-4.09	44%	B	A	Faux
19	Bus	20	4	Assis	9	47%	-3.83	56%			
20	Train	15	4	Assis	17	85%	-4.11	59%	A	A	Vrai
20	Bus	10	8	Debout	3	15%	-4.48	41%			
21	Train	15	8	Debout	0	0%	-5.77	7%	B	B	Vrai
21	Bus	20	1	Assis	10	100%	-3.11	93%			
22	Train	25	1	Assis	2	20%	-4.40	41%	B	B	Vrai
22	Bus	15	4	Debout	8	80%	-4.03	59%			
23	Train	25	4	Debout	5	36%	-5.82	30%	B	B	Vrai
23	Bus	15	8	Debout	9	64%	-4.99	70%			
24	Train	25	8	Debout	0	0%	-6.78	3%	B	B	Vrai
24	Bus	15	1	Debout	9	100%	-3.31	97%			
25	Train	35	1	Debout	2	12%	-6.11	7%	B	B	Vrai
25	Bus	10	4	Debout	15	88%	-3.52	93%			
26	Train	35	4	Debout	3	18%	-6.83	21%	B	B	Vrai
26	Bus	20	8	Debout	14	82%	-5.50	79%			
27	Train	35	8	Assis	1	6%	-7.09	4%	B	B	Vrai
27	Bus	20	1	Debout	16	94%	-3.81	96%			