PolyPublie
Polytechnique Montréal

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL
UNIVERSITÉ D'INGÉNIERIE

Titre: Title:	Évaluation de la qualité et de la diversité des alternatives de transport en commun
Auteur: Author:	Charlotte Poirier
Date:	2021
Type:	Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis
Référence: Citation:	Poirier, C. (2021). Évaluation de la qualité et de la diversité des alternatives de transport en commun [Mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal]. PolyPublie. https://publications.polymtl.ca/9733/

Document en libre accès dans PolyPublie
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: PolyPublie URL:	https://publications.polymtl.ca/9733/
Directeurs de recherche: Advisors:	Catherine Morency
Programme: Program:	Génie civil

Ce fichier a été téléchargé à partir de PolyPublie, le dépôt institutionnel de Polytechnique Montréal
This file has been downloaded from PolyPublie, the institutional repository of Polytechnique Montréal

https://publications.polymtl.ca

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Évaluation de la qualité et de la diversité des alternatives de transport en commun

CHARLOTTE POIRIER

Département des génies civil, géologique et des mines

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

Génie civil

Septembre 2021

© Charlotte Poirier, 2021.

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé:

Évaluation de la qualité et de la diversité des alternatives de transport en commun

Présenté par **Charlotte POIRIER**

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

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

Martin TRÉPANIER, président
Catherine MORENCY, membre et directrice de recherche
Alexis FRAPPIER, membre

REMERCIEMENTS

D’abord, un énorme merci à ma directrice de recherche, Catherine Morency, sans qui ce projet de recherche n’aurait pas été possible. Je lui suis reconnaissante pour m’avoir transmis sa passion pour sa profession, pour ses conseils et pour ses encouragements qui ont été une grande source de motivation.

Je tiens à remercier mes camarades étudiants, surtout Joliann Morissette pour son incroyable support moral et nos longues marches plus que bénéfiques. Merci d’être ma confidente depuis le tout début. Merci également à Gabriel Lefebvre-Ropars pour son aide précieuse dans ma transition de l’urbanisme vers le génie.

Je suis reconnaissante de toute l’aide apportée par les associés de recherche : Hubert Verreault, Jean-Simon Bourdeau et Pierre-Léo Bourbonnais. Sans vous, il aurait été beaucoup plus ardu de naviguer parmi les ensembles de données et outils d’analyse.

Merci aux partenaires de la Chaire Mobilité : la ville de Montréal, la Société de Transport de Montréal (STM), l’Autorité régionale de transport métropolitain (ARTM), exo et le ministère des Transports du Québec (MTQ).

Enfin, un merci tout particulier à mes proches pour m’avoir soutenue tout au long de cette aventure!

RÉSUMÉ

Les transports collectifs jouent un rôle majeur dans la lutte aux changements climatiques et la réduction de gaz à effet de serre. Ils sont essentiels afin d'assurer une mobilité durable en milieu urbain. En effet, ils contribuent à la réduction de la dépendance à l'automobile et sont moins polluants que les autres modes motorisés dû à leur plus grande capacité. Toutefois, il faut veiller à ce qu'ils soient compétitifs. Bien souvent, les réseaux de transport en commun sont conçus pour répondre à la demande de déplacements domicile-travail en période de pointe, principalement à partir des banlieues vers le centre-ville. Or, l'offre de transport en commun doit répondre aux besoins de mobilités d'une variété d'individus et de motifs de déplacement, et ce pour toutes les heures de la journée. De plus, il faut assurer une qualité et une diversité de trajets afin d'améliorer l'attractivité de ce mode et réduire la vulnérabilité des usagers, puisque n'avoir qu'un seul trajet possible pour se déplacer rend les usagers vulnérables aux imprévus et incidents sur le réseau. À cet effet, il est nécessaire de se questionner sur la qualité et la diversité des alternatives de transport en commun. Une alternative de transport en commun est une séquence unique de lignes et de correspondances entre une origine et une destination à un moment spécifique. La diversité d'alternatives fait référence au nombre de trajets dont dispose un usager pour effectuer un déplacement à un moment précis.

L'objectif de ce projet de recherche est de proposer une méthode d'évaluation de la qualité et de la diversité des alternatives de transport en commun. Les hypothèses sous-jacentes sont que certaines alternatives de transport en commun n'atteignent pas un seuil minimal de qualité et que les usagers n'ont pas tous un même niveau de qualité et de diversité de routes de transport en commun.

Une revue de littérature fait état des connaissances scientifiques sur la qualité et la diversité d'alternatives de transport en commun. D'abord, l'importance de la diversité est mise en évidence via des concepts tels que les déserts de transport en commun, les usagers captifs, la vulnérabilité et la robustesse des réseaux, puis l'indépendance des trajets. Ensuite, une vue d'ensemble de la qualité des alternatives de transport en commun est présentée. Celle-ci démontre que le temps de parcours est le facteur le plus important pour le choix de route.

La méthode proposée débute par la création du sous-ensemble de données. Pour ce faire, les alternatives de transport en commun sont générées pour tous les déplacements de l'enquête Origine-Destination de 2018 dont le mode déclaré est le transport en commun unimodal.

L'alternative choisie, correspondant au trajet déclaré, est identifiée parmi les alternatives générées pour 70,7% paires origine-destination (OD). Ces paires OD constituent le sous-ensemble utilisé pour toutes les analyses de ce mémoire. Il existe pour celles-ci en moyenne 13,1 alternatives de transport en commun, mais 14,4 % d'entre elles n'en ont qu'une seule. Ces usagers sont alors plus vulnérables puisqu'ils n'ont pas de plan B (pas plus d'un trajet de TC possible). Les résultats obtenus mettent en lumière que le trajet le plus rapide est seulement choisi pour 53,5 % des observations du sous-ensemble. Cela signifie que lorsque plusieurs alternatives sont disponibles pour effectuer un déplacement spécifique, les individus ne choisissent pas nécessairement celle qui minimise leur temps de parcours. Il est donc pertinent d'évaluer la qualité de l'ensemble des alternatives disponibles pour chaque paire origine-destination afin de bien évaluer la diversité.

Deux qualités sont proposées pour évaluer les alternatives de transport en commun, soit la qualité relative et la qualité absolue. La qualité relative est basée sur le temps total du trajet le plus rapide et la qualité absolue est basée sur une vitesse de déplacement théorique sur la ligne droite séparant les deux extrémités du trajet. Ces deux qualités sont exprimées sous forme de ratio de temps de parcours. Les résultats révèlent que l'évaluation de la qualité d'une alternative de transport en commun basée uniquement sur le trajet le plus rapide ne suffit pas, car celui-ci peut ne pas être de qualité suffisante. Afin de pallier cette limitation et de vérifier le niveau de qualité de l'alternative la plus rapide, une mesure objective est nécessaire. Effectivement, l'ajout d'une mesure de qualité absolue basée sur une vitesse théorique sur la ligne droite OD permet de démontrer que l'alternative la plus rapide n'atteint pas une qualité suffisante pour la totalité des paires OD du sous-ensemble pour aucun des ratios de temps testés par rapport à des vitesses théoriques sur la ligne droite OD variant entre 5 km/h et 40 km/h. Par exemple, pour un ratio de temps de 3,0 par rapport à 20 km/h sur la ligne droite, pour 20,1 % des paires OD l'alternative la plus rapide n'atteint pas une qualité suffisante, alors que 59,3 % des paires OD ont un plan B.

L'introduction de seuils de qualité suffisante (relative et absolue) met en évidence le fait que les alternatives générées par l'algorithme de calcul de chemin ne sont pas toutes de qualité acceptable et permet de filtrer les routes de piètre qualité. De plus, les analyses présentées dans ce mémoire démontrent que la qualité et la diversité d'alternatives ne sont pas équitablement distribuées dans l'espace ni dans le temps. Effectivement, les secteurs municipaux d'origine et de destination n'affichent pas tous la même proportion de paires OD avec un plan B selon les seuils de qualité relative et absolue. Par ailleurs, les déplacements internes (avec leur origine et leur destination dans

le même secteur) ont une moins bonne diversité d'alternatives que les déplacements externes (avec leur destination hors du secteur d'origine), cet écart étant plus prononcé pour les seuils de qualité absolue. Pour un ratio de 3,0 par rapport à une vitesse de 20 km/h sur la ligne droite OD, seulement 13,8 % des paires OD ont un plan B pour les déplacements internes tandis que cette proportion augmente à 67,3 % pour les déplacements externes. De plus, les populations vulnérables ont une moins bonne qualité et diversité d'alternatives de transport en commun pour les deux qualités (relative et absolue).

Enfin, les deux seuils de qualité (relative et absolue) sont combinés pour identifier les déserts d'alternatives et évaluer l'équité. D'abord, l'alternative la plus rapide est évaluée selon une qualité absolue (ratio de 2,0 par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite), puis si elle atteint une qualité suffisante, les autres alternatives de transport en commun disponibles pour cette paire OD sont évaluées selon une qualité relative (facteur de temps de parcours de 1,2 par rapport à celle-ci). Les résultats révèlent que, selon ces seuils, l'alternative la plus rapide atteint une qualité suffisante pour seulement 49,9 % des paires OD, desquelles 64,9 % ont un plan B. L'analyse de la distribution spatiale met en évidence les déserts d'alternatives de transport en commun, soit les secteurs qui n'ont qu'une seule alternative ou dont la plus rapide n'atteint pas une qualité suffisante. Les constats suivants sont faits : la part de paires OD avec un plan B est inférieure pour les déplacements internes que pour les déplacements externes, la part de paires OD avec un plan B est plus élevée pour les déplacements à destination du centre-ville et la part de paires OD avec un plan B est meilleure en pointe du matin. Par ailleurs, les populations vulnérables ont une moins bonne diversité d'alternatives de transport en commun que les autres segments de population. En effet, la part de paires OD avec un plan B pour les individus avec au moins une vulnérabilité est de 28,9 %, tandis que celle pour les individus sans aucune vulnérabilité est de 45,2 %. Cette proportion est significativement réduite pour certains groupes, étant aussi faible que 11,9 % pour les jeunes de moins de 16 ans. Ces derniers ont la pire diversité d'alternatives de transport en commun alors qu'ils sont souvent captifs ce mode.

En conclusion, ce mémoire propose deux mesures de qualité et démontre leur capacité à mieux évaluer l'offre de transport en commun. Il contribue également à démontrer que la qualité relative (basée sur le temps du trajet le plus rapide) ne permet pas, à elle seule, de bien représenter la qualité des alternatives de transport en commun puisque l'alternative la plus rapide est parfois de qualité insuffisante. L'ajout d'une mesure objective, soit la qualité absolue (basée sur un ratio de temps

par rapport à une vitesse théorique sur la ligne droite OD) permet de mettre en évidence cette limite. Les analyses présentées dans ce mémoire mettent en lumière les disparités dans la distribution spatiotemporelle et sociodémographique de la qualité et de la diversité des alternatives de transport en commun. La méthode développée peut servir à identifier les déserts d'alternatives et les populations vulnérables afin d'améliorer l'offre de transport en commun.

ABSTRACT

Public transportation plays a major role in the fight against climate change and the reduction of greenhouse gases. They are essential to ensure sustainable mobility in cities. Indeed, they help reduce car dependence and are less polluting than other motorized modes due to their greater capacity. Therefore, we must ensure their competitivity. Often, public transport networks are designed to meet the demand for commuting during peak hours, mainly from suburbs to the city center. However, the supply must meet the mobility needs of a variety of individuals and travel purposes, for all hours of the day. Furthermore, it is necessary to ensure a quality and diversity of itineraries to improve the attractiveness of transit and reduce the vulnerability of users, since having only one possible route makes users much more vulnerable to perturbations on the network. To this end, we must question ourselves about quality and diversity of transit alternatives. A transit alternative is a unique sequence of lines and transfers between an origin and a destination at a specific time. The diversity of transit alternatives refers to the number of routes available to make a trip.

The aim of this research project is to assess the quality and diversity of transit alternatives. The underlying assumptions are that some transit alternatives do not meet a minimum quality threshold and that not all users have the same level of quality and diversity of transit alternatives.

A literature review reports scientific knowledge on the quality and diversity of transit alternatives. First, the importance of diversity is highlighted through concepts such as transit deserts, captive users, vulnerability and network robustness and independence of routes. Then, an overview of the quality is presented. This shows that travel time is the most important route choice factor.

The proposed method starts with the creation of the dataset. Transit alternatives are generated for all unimodal transit trips declared in the 2018 Origin-Destination travel survey. The chosen alternative, corresponding to the declared route, is identified among the generated alternatives for 70.7 % of the origin-destinations (OD) pairs. These OD pairs constitute the dataset for all analyzes in this thesis, for which the average number of transit alternatives per OD pair is 13.1, but 14.4 % OD pairs have only one possible route. These users are more vulnerable since they do not have a plan B (do not have more than one possible transit route). The results obtained show that the fastest alternative is chosen for only 53.5 % of the observations from the dataset. It means that when several alternatives are available for making a specific trip, users do not necessarily choose the one

that minimizes their travel time. It is therefore relevant to assess the quality of all transit alternatives for each origin-destination pair to properly assess the diversity.

Two qualities are proposed to evaluate transit alternatives, namely relative quality an absolute quality. Relative quality is based on the total travel time of the fastest route and absolute quality is based on a theoretical travel speed on the straight line between the two trip ends. These two qualities are expressed as travel time ratios. The results show that assessing the quality of transit alternatives solely based on the fastest route is not enough because this route may not be of sufficient quality. To overcome this limitation and verify the quality of the fastest alternative, an objective measure is necessary. Indeed, the fastest alternative does not have a sufficient quality for all the OD pairs in the dataset based on the tested time ratios from speeds between 5 km/h and 40 km/h. For example, for a time ratio of 3 compared to a speed of 20 km/h on the straight line, the fastest alternative does not have a sufficient quality for 20.1 % of OD pairs, while 59.3 % of OD pairs have a plan B.

The introduction of sufficient quality thresholds (relative and absolute) reduces the diversity of transit alternatives since some are rejected due to their poor quality. In addition, the analyzes presented in this thesis demonstrate that the quality and diversity are not equitably distributed in space and time. The sectors of origin and destination do not all display the same proportion of OD pairs with a plan B according to relative and quality thresholds. Furthermore, internal trips (with their origin and destination within the same sector) have a lower diversity of transit alternatives than external trips (with their destination outside the sector of origin), the gap being more pronounced for the absolute quality thresholds. For a ratio of 3 compared to a speed of 20 km/h on the straight OD line, only 13.8 % of the OD pairs have a plan B for internal trips while this proportion increases to 67.3 % for external trips. Moreover, vulnerable populations have a poorer quality and diversity of transit alternatives for both qualities.

Finally, the two quality thresholds (relative and absolute) are combined to identify the alternatives deserts and to assess equity. First, the fastest alternative is evaluated based on an absolute quality (ratio of 2 compared to a theoretical speed of 20 km/h on the straight line). Then, if this alternative respects that threshold, the other alternatives available for this OD pair are evaluated based on a relative quality (ratio of 1.2 compared to the time of the fastest alternative). The results reveal that, according to these thresholds, the fastest alternative has a good enough quality for only 49.9 % of

the OD pairs, of which 64.9 % have a plan B. The analysis of the spatial distribution identifies the deserts of alternatives, which are sectors with only one alternative or where even the fastest route does not reach a sufficient quality. Furthermore, the following observations are made: the share of OD pairs with a plan B is lower for internal trips, the share of OD pairs with a plan B is higher for the trips to the central business district (CBD) and the share of OD pairs with a plan B is higher in the morning peak hour. Moreover, vulnerable populations have less diversity than other segments of the population. Indeed, the share of OD pairs for individuals with at least one limitation is 28.9 % while that proportion is 45.2 % for those without such limitations. This proportion is significantly reduced for some groups, being as low as 11.9 % for people under 16 years old. They have the worst diversity of transit alternatives, yet they are often captive of this mode.

In conclusion, this thesis proposes two concepts of quality and demonstrates their capacity to better assess public transport supply. It also helps demonstrate that the relative quality (based on the time of the fastest alternative) does not, by itself, make it possible to properly represent the quality of transit alternatives since the fastest alternative may not have a sufficient quality. The introduction of an objective measure, the absolute quality, based on a ratio of time to a theoretical speed on the straight OD line, solves this issue. The analyzes presented in this thesis highlights the disparities in the spatiotemporal et sociodemographic distribution of quality and diversity of transit alternatives.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS III

RÉSUMÉ IV

ABSTRACT VIII

TABLE DES MATIÈRES XI

LISTE DES TABLEAUX XV

LISTE DES FIGURES XVII

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS XXI

LISTE DES ANNEXES XXIII

CHAPITRE 1 INTRODUCTION 1

1.1 Contexte 1

1.2 Problématique 2

1.3 Hypothèses 3

1.4 Objectifs 3

1.5 Structure du mémoire 3

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE 4

2.1 Définition d'alternative 4

2.2 Génération d'alternatives 4

2.3 Diversité d'alternatives 5

2.4 Équité 6

2.5 Désert de transport en commun 7

2.6 Dépendance à un trajet 8

2.7 Vulnérabilité et robustesse 9

2.8 Indépendance des alternatives 10

2.9 Choix de route 12
2.10 Qualité des alternatives 13
2.10.1 Perception de la valeur du temps par l'usager 14
2.10.2 Pénalités associées aux correspondances 16
2.11 Accessibilité au transport en commun 17
2.12 Chaînes de déplacement 19
2.13 Choix modal 19
2.13.1 Facteurs de choix modal 20
2.13.2 Modèles de choix modal 20
2.14 Synthèse de la revue de littérature 21
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE 23
3.1 Cadre conceptuel 23
3.2 Méthode générale 23
3.3 Données et outils 24
3.3.1 Enquête Origine-Destination 24
3.3.2 Transition 26
3.3.3 Calculateurs de chemin 27
CHAPITRE 4 SÉLECTION DU SOUS-ENSEMBLE DE PAIRES OD 29
4.1 Déplacements en transport en commun unimodal 29
4.2 Génération des alternatives 29
4.3 Identification du trajet déclaré 32
4.4 Comparaison des échantillons 36
4.4.1 Caractéristiques des individus selon l'échantillon 36
4.4.2 Caractéristiques des déplacements selon l'échantillon 38

4.5 Diversité d'alternatives de transport en commun 47
4.6 Alternative choisie 48
CHAPITRE 5 QUALITÉ DES ALTERNATIVES 54
5.1 Qualité relative 54
5.1.1 Seuils de qualité relative 54
5.1.2 Caractérisation des alternatives 56
5.1.3 Effet des seuils de qualité relative sur la diversité d'alternatives 58
5.2 Qualité absolue 61
5.2.1 Seuils de qualité absolue 62
5.2.2 Caractérisation des alternatives 67
5.2.3 Effet des seuils de qualité absolue sur la diversité d'alternatives 69
CHAPITRE 6 DIVERSITÉ DES ALTERNATIVES 72
6.1 Analyse spatio-temporelle de la diversité 73
6.2 Analyse de la vulnérabilité 86
CHAPITRE 7 DÉSERTS D'ALTERNATIVES ET ÉQUITÉ 94
7.1 Définition de désert d'alternatives 94
7.2 Méthode 94
7.3 Évaluation de l'équité 97
7.3.1 Identification des déserts d'alternatives 97
7.3.2 Diversité d'alternatives pour les populations vulnérables 103
CHAPITRE 8 CONCLUSION 107
8.1 Synthèse 107
8.2 Contributions 108
8.3 Limitations 109

8.4 Perspectives de recherche.....111

RÉFÉRENCES.....114

ANNEXES.....119

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4.1 Exemple de variables obtenues par Transition pour une paire OD ayant trois alternatives de transport en commun générées 30

Tableau 4.2 Distribution des paires OD par échantillon selon les caractéristiques des individus . 37

Tableau 4.3 Distribution des paires OD par échantillon selon les caractéristiques du déplacement 38

Tableau 4.4 Choix d'alternative selon les caractéristiques de l'individu et du déplacement 49

Tableau 4.5 Distribution des temps de chaque segment de déplacement en secondes 52

Tableau 5.1 Résumé statistique des facteurs multiplicatifs de temps de parcours 55

Tableau 5.2 Variation du nombre d'alternatives selon le facteur multiplicatif de temps de parcours par rapport au trajet le plus rapide 59

Tableau 5.3 Résumé statistique du nombre d'alternatives par paire OD selon les seuils de qualité relative 61

Tableau 5.4 Ratios de temps en fonction de la vitesse théorique pour les trajets les plus rapides 63

Tableau 5.5 Résumé statistique des vitesses théoriques sur la ligne droite OD 64

Tableau 5.6 Résumé statistique des ratios de temps par mode par rapport à une vitesse de 20 km/h sur la ligne droite 66

Tableau 5.7 Alternatives retirées selon le ratio de temps pour une vitesse théorique de 20 km/h. 70

Tableau 5.8 Résumé statistique du nombre d'alternatives par paire OD selon les ratios de temps pour une vitesse théorique de 20 km/h 71

Tableau 6.1 Part des paires OD avec un plan B pour les déplacements internes et externes selon un facteur de temps de parcours par rapport à l'alternative la plus rapide (qualité relative) 84

Tableau 6.2 Part des paires OD avec un plan B pour les déplacements internes et externes selon un ratio de temps par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite OD (qualité absolue) 84

Tableau 6.3 Part des paires OD avec un plan B selon l'heure de départ selon un facteur multiplicatif de temps de parcours par rapport à l'alternative la plus rapide (qualité relative) 85

Tableau 6.4 Part des paires OD avec un plan B selon l'heure de départ selon un ratio de temps par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite OD (qualité absolue) 86

Tableau 6.5 Part des paires OD avec un plan B selon les indicateurs de vulnérabilité selon un facteur multiplicatif de temps de parcours par rapport à l'alternative la plus rapide (qualité relative) 88

Tableau 6.6 Part des paires OD avec un plan B selon les indicateurs de vulnérabilité selon un ratio de temps par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite OD (qualité absolue) 89

Tableau 6.7 Répartition des segments de population 90

Tableau 6.8 Résultats du test KS pour les indicateurs de vulnérabilité : valeurs de $D < D_{critique}$ (en vert) selon un facteur multiplicatif de temps de parcours par rapport à l'alternative la plus rapide (qualité relative) 93

Tableau 6.9 Résultats du test KS pour les indicateurs de vulnérabilité : valeurs de $D < D_{critique}$ (en vert) selon un ratio de temps par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite OD (qualité absolue) 93

Tableau 7.1 Quantité de paires OD selon les seuils de qualité suffisante 96

Tableau 7.2 Diversité d'alternatives de transport en commun respectant les seuils de qualité minimale selon les indicateurs de vulnérabilité 104

Tableau 7.3 Part des paires OD avec un plan B par période horaire selon les indicateurs de vulnérabilité 106

Tableau A.1 Dictionnaire des noms des agences de transport en commun 122

Tableau A.2 Liste des secteurs municipaux 124

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Alternatives de transport en commun pour une paire origine-destination 2

Figure 2.1 Exemple d'alternatives disponibles pour une paire OD (Frappier, 2015) 10

Figure 3.1 Alternatives de transport en commun pour une paire origine-destination 23

Figure 3.2 Schéma méthodologique 24

Figure 3.3 Limites géographiques du territoire de l'enquête Origine-Destination 2018 25

Figure 4.1 Méthode de conversion de numéro de ligne 33

Figure 4.2 Identification de l'alternative choisie 34

Figure 4.3 Processus de composition des échantillons de déplacements 35

Figure 4.4 Répartition des paires OD selon l'échantillon 35

Figure 4.5 Part de répondants directs ou indirects selon l'échantillon 36

Figure 4.6 Part des paires OD par échantillon selon l'heure de départ, tous motifs 39

Figure 4.7 Part des paires OD par échantillon selon l'heure de départ, excluant les retours au domicile 39

Figure 4.8 Ellipses de dispersion des origines ou destinations par échantillon (excluant les retours au domicile) 41

Figure 4.9 Part de trajets déclarés identifiés par secteur d'origine ou de destination (excluant les retours au domicile) 42

Figure 4.10 Part des paires OD par échantillon selon le nombre de lignes déclarées dans l'enquête Origine-Destination 43

Figure 4.11 Part des paires OD par échantillon selon la combinaison des modes déclarés 44

Figure 4.12 Part des paires OD par échantillon selon les lignes de métro déclarées dans l'enquête Origine-Destination 44

Figure 4.13 Part des paires OD par échantillon selon la ligne de train déclarée dans l'enquête Origine-Destination 45

Figure 4.14 Part des paires OD par échantillon selon l'agence déclarée dans l'enquête OD 46

Figure 4.15 Distribution des paires OD selon le nombre d'alternatives de transport en commun 47

Figure 4.16 Répartition des paires OD avec un plan B selon l'alternative choisie.....48

Figure 4.17 Répartition des combinaisons de modes selon l'alternative 50

Figure 4.18 Répartition des correspondances selon l'alternative.....51

Figure 4.19 Répartition des temps de chaque segment du déplacement selon l'alternative 51

Figure 4.20 Distribution de la tortuosité 53

Figure 5.1 Distribution fréquentielle des facteurs multiplicatifs de temps de parcours.....55

Figure 5.2 Répartition des combinaisons de modes selon l'alternative 56

Figure 5.3 Répartition des correspondances selon l'alternative.....57

Figure 5.4 Répartition des segments de temps de déplacement selon l'alternative 58

Figure 5.5 Exemple de facteurs multiplicatifs pour une paire OD.....59

Figure 5.6 Distribution des paires OD selon le nombre d'alternatives par facteur multiplicatif de temps de parcours par rapport au trajet le plus rapide.....60

Figure 5.7 Part des alternatives les plus rapides ayant une qualité suffisante selon le ratio de temps pour une vitesse théorique sur la ligne droite.....62

Figure 5.8 Distribution des vitesses théoriques sur la ligne droite.....64

Figure 5.9 Exemple de ratios de temps pour les alternatives d'une paire origine-destination.....65

Figure 5.10 Distribution cumulée des ratios de temps par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite.....66

Figure 5.11 Part des alternatives conservées ou retirées par les seuils de qualité absolue selon les combinaisons de modes empruntées 67

Figure 5.12 Part des alternatives conservées ou retirées par les seuils de qualité absolue selon le nombre de correspondances 68

Figure 5.13 Part des alternatives conservées ou retirées par les seuils de qualité absolue selon les segments de temps.....69

Figure 5.14 Distribution des paires OD selon le nombre d'alternatives de transport en commun en fonction du ratio de temps pour une vitesse théorique de 20 km/h 71

Figure 6.1 Part des paires OD avec un plan B selon le secteur d'origine et le facteur multiplicatif de temps de parcours (qualité relative), excluant les retours au domicile 74

Figure 6.2 Part des paires OD avec un plan B selon le secteur d'origine et le ratio de temps par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite (qualité absolue), excluant les retours au domicile 76

Figure 6.3 Part des paires OD avec un plan B selon le secteur de destination et le facteur multiplicatif de temps de parcours (qualité relative), excluant les retours au domicile 78

Figure 6.4 Part des paires OD avec un plan B selon le secteur de destination et le ratio de temps par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite (qualité absolue), excluant les retours au domicile 80

Figure 6.5 Matrices origine-destination de la part des paires OD avec plan B selon le facteur multiplicatif de temps de parcours (qualité relative) 82

Figure 6.6 Matrices origine-destination de la part des paires OD avec plan B selon le ratio de temps par rapport à 20 km/h sur la ligne droite (qualité absolue) 83

Figure 6.7 Distance (D) maximale entre les distributions cumulées de paires OD en fonction du nombre d'alternatives selon la motorisation du ménage pour un ratio de 2,0 par rapport à une vitesse de 20 km/h sur la ligne droite 91

Figure 7.1 Processus d'identification des paires OD respectant les seuils de qualité combinés 95

Figure 7.2 Distribution des paires OD selon la diversité d'alternatives de qualité suffisante 96

Figure 7.3 Part des paires OD avec plan B respectant les seuils de qualité minimale par secteur d'origine et de destination sur 24h, excluant les retours au domicile 98

Figure 7.4 Part des paires OD avec plan B respectant les seuils de qualité minimale pour les déplacements internes, excluant les retours au domicile 99

Figure 7.5 Part des paires OD selon le nombre d'alternatives et la distance euclidienne entre l'origine et la destination 100

Figure 7.6 Part des paires OD avec plan B respectant les seuils de qualité minimale par secteur d'origine pour les déplacements vers le centre-ville ou hors centre-ville, excluant les retours au domicile 101

Figure 7.7 Part des paires OD avec plan B respectant les seuils de qualité minimale par secteur d'origine selon le moment de la journée, excluant les retours au domicile 102

Figure 7.8 Part des paires OD avec plan B respectant les seuils de qualité minimale par secteur de destination selon le moment de la journée, excluant les retours au domicile 102

Figure A.1 Exemple de génération d'alternatives pour une paire OD par l'algorithme de filtrage des lignes de transport en commun (Bourbonnais et al., 2019) 120

Figure A.2 Processus de sélection des paires origine-destination.....121

Figure A.3 Secteurs municipaux de l'enquête Origine-Destination de 2018.....123

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AM	Avant-midi
ARTM	Autorité régionale de transport métropolitain
BTM	Bureau du taxi de Montréal
CITCRC	exo – Chambly - Roussillon – Carignan
CITHSL	exo – Haut-Saint-Laurent
CITLA	exo – Laurentides
CITLR	exo – Le Richelain
CITPI	exo – La Presqu'île
CITROUS	exo – Roussillon
CITSO	exo – Sud-Ouest
CITSV	exo – Sorel – Varennes
CITVR	exo – Vallée du Richelieu
CPTA	*Comprehensive public transport accessibility*
CRTL	CRT Lanaudière
CSA	*Connection Scan Algorithm*
EOD	Enquête Origine-Destination
GPS	*Global Positioning System*
GTFS	*General Transit Feed Specification*
KS	Kolmogorov-Smirnov
MNL	Modèle logit multinomial
MRC2M	exo – Deux-Montagnes (Express d'Oka)
MRCLASSO	exo – L'Assomption
MRCLM	exo – Terrebonne – Mascouche

OD	Origine-Destination
odSI	*Origin-destination supply index*
OMITSJU	exo – Sainte-Julie
OSM	*Open Street Map*
OSRM	*Open Source Routing Machine*
OTP	*Open Trip Planner*
PSPA	*Path size penalty algorithm*
QGIS	*Quantum Geographic Information System*
RTL	Réseau de transport de Longueuil
SI	*Supply index*
SIG	Systèmes d'information géographique
SRAI	*Socially relevant accessibility impact*
STL	Société de transport de Laval
STM	Société de transport de Montréal
TC	Transport en commun
TRAINS	exo – Réseau de transport métropolitain

LISTE DES ANNEXES

Annexe A EXEMPLE DE GÉNÉRATION D'ALTERNATIVES PAR TRANSITION 120

Annexe B PROCESSUS DE SÉLECTION DES PAIRES OD 121

Annexe C NOM DES AGENCES DE TRANSPORT EN COMMUN 122

Annexe D SECTEURS MUNICIPAUX DE L'ENQUÊTE ORIGINE-DESTINATION 2018 . 123

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

Les transports collectifs jouent un rôle majeur dans la lutte aux changements climatiques et la réduction de gaz à effet de serre. Ils sont essentiels afin d'assurer une mobilité durable en milieu urbain. En effet, ils contribuent à la réduction de la dépendance à l'automobile et sont moins polluants que les autres modes motorisés dû à leur plus grande capacité. Toutefois, il faut veiller à ce qu'ils soient compétitifs. Bien souvent, les réseaux de transport en commun sont conçus pour répondre à la demande de déplacements domicile-travail en période de pointe, principalement à partir des banlieues vers le centre-ville. Or, l'offre de transport en commun doit répondre aux besoins de mobilités d'une variété d'individus et de motifs de déplacement, et ce pour toutes les heures de la journée. De plus, il faut assurer une qualité et une diversité de trajets afin d'améliorer l'attractivité de ce mode.

1.1 Contexte

La ville de Montréal, dans son plan de transport de 2008, mentionnait la réduction de la dépendance à l'automobile dans sa vision (Ville de Montréal, 2008). Parmi les moyens proposés, on retrouve la multiplication des alternatives de mobilité et la favorisation de l'usage de modes de transport durables. La politique de mobilité durable du gouvernement du Québec va dans le même sens, en ayant parmi ses cibles à atteindre d'ici 2030 que « 70% de la population ait accès à au moins quatre services de mobilité durable » (Gouvernement du Québec, 2018). La diversité des modes est donc au cœur des préoccupations gouvernementales en matière de transport de personnes.

Dans un contexte où le besoin en options de mobilité durables est criant, il est nécessaire de s'interroger sur la qualité et la diversité des trajets de transport en commun. Avoir plusieurs bonnes options est primordial. D'autant plus que la présence d'un plan B, soit d'au moins une 2^{e} alternative de transport en commun de qualité acceptable, rend l'usager moins vulnérable face à des imprévus ou incidents sur le réseau (van Wee, van Cranenburgh, & Maat, 2019).

Une alternative de transport en commun est définie comme une séquence spécifique de lignes et de correspondances entre une origine et une destination (Frappier, 2015). Autrement dit, c'est un trajet disponible pour effectuer un déplacement à un moment précis. La diversité d'alternatives de transport en commun fait référence à la quantité d'alternatives différentes dont dispose un usager

pour effectuer un déplacement spécifique. Par exemple, la figure 1.1 illustre une paire origine-destination (OD) pour laquelle 3 alternatives de transport en commun sont disponibles.

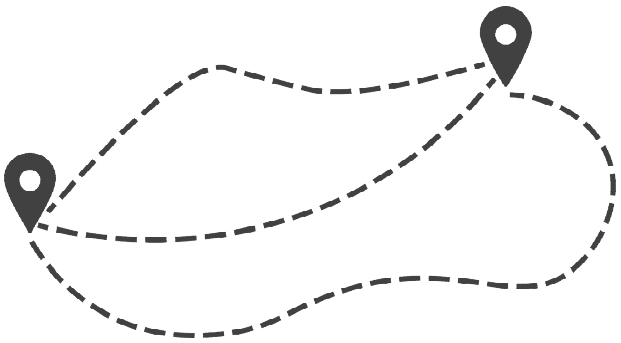

Figure 1.1 Alternatives de transport en commun pour une paire origine-destination

1.2 Problématique

Plusieurs questions émergent lorsqu'on s'intéresse à la qualité et la diversité des alternatives de transport en commun. Tout d'abord, comment générer l'ensemble des trajets possibles pour effectuer un déplacement? Une fois l'ensemble des alternatives disponibles établi, on peut s'interroger sur leur qualité. Est-ce que toutes ces alternatives sont de qualité suffisante?

Évidemment, certaines alternatives de transport en commun sont meilleures que d'autres. Est-il nécessaire pour l'usager d'avoir un plan B de qualité équivalente à celle de l'alternative la plus rapide? Quels facteurs influencent la qualité de ce 2^{e} trajet et quel seuil minimal de qualité est acceptable?

Dans une perspective d'équité dans la distribution de la qualité et de la diversité d'alternatives de transport en commun, on se questionne sur la présence de déserts d'alternatives. Est-ce que certains secteurs ont un meilleur niveau de qualité et de diversité de transport en commun? Est-ce que les populations vulnérables ont une quantité inférieure, égale ou supérieure d'alternatives de qualité suffisante?

Toutes ces questions alimentent la réflexion sous-jacente à ce projet de recherche.

1.3 Hypothèses

La première hypothèse est que certaines alternatives de transport en commun n'atteignent pas un seuil minimal de qualité. Autrement dit, on suppose que certaines alternatives n'ont même pas le niveau minimum requis pour être considérées par les usagers comme une option véritable. En ce sens, la deuxième hypothèse est que tous les usagers n'ont pas accès à un même niveau de qualité et de diversité des alternatives de transport en commun.

1.4 Objectifs

L'objectif général de ce projet de recherche est de développer une méthode d'évaluation de la qualité et de la diversité des alternatives de transport en commun. Pour y parvenir, il faut d'abord générer un sous-ensemble d'alternatives à évaluer. Ensuite, il faut proposer des seuils de qualité minimale, puis évaluer la diversité d'alternatives en fonction de ces seuils de qualité. Enfin, il faut analyser la répartition des alternatives de qualité suffisante par type de population et par secteur afin de faire ressortir les enjeux d'équité et identifier les déserts d'alternatives.

La méthode développée vise à permettre aux décideurs d'évaluer la qualité et la diversité des alternatives de transport en commun, notamment pour les populations vulnérables afin d'améliorer leur offre de TC dans une perspective d'équité.

1.5 Structure du mémoire

Tout d'abord, une revue de littérature présente les divers concepts reliés à ce projet de recherche. Celle-ci est suivie de la méthode, de même que des données et outils utilisés. Une analyse descriptive du sous-ensemble d'alternatives pour les paires OD sélectionnées est présentée. Ensuite, des seuils de qualité suffisante sont proposés, d'abord selon une qualité relative (basée sur le temps de l'alternative la plus rapide), puis selon une qualité absolue (basée sur une vitesse théorique sur la ligne droite entre l'origine et la destination). L'introduction de cette dernière permet de comparer objectivement toutes les alternatives de transport en commun entre elles, puisque le trajet le plus rapide peut ne pas être de qualité suffisante. Le prochain chapitre porte sur l'effet de ces seuils de qualité minimale sur la diversité d'alternatives de transport en commun. Enfin, ces deux mesures de qualité sont combinées afin d'identifier les déserts d'alternatives et évaluer l'équité.

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

Ce chapitre présente une revue de littérature faisant état des connaissances sur les différents travaux effectués en lien avec le sujet de recherche, dans le but d'offrir une meilleure compréhension des thématiques abordées dans ce mémoire. D'abord, une définition d'alternative de transport en commun est présentée, suivie d'un survol des diverses notions en lien avec la qualité et la diversité des alternatives.

2.1 Définition d'alternative

Tel que mentionné dans l'introduction, ce mémoire reprend la définition énoncée par Frappier (2015) selon laquelle une alternative de transport en commun est une séquence spécifique de routes et de correspondances entre une origine et une destination. D'autres auteurs le formulent autrement, soit une trajectoire entre une origine et une destination qui peut être composée d'un accès à pied, un ou plusieurs segments de transport en commun, une ou plusieurs correspondances et une étape de marche vers la destination (Nassir, Hickman, Malekzadeh, & Irannezhad, 2016).

2.2 Génération d'alternatives

Avant de pouvoir analyser des alternatives de transport en commun, il faut d'abord les générer. À cette fin, plusieurs méthodes existent pour générer les plus courts chemins sur un réseau. L'algorithme de Dijkstra est le plus commun. Bozyigit et al. (2017) proposent une version modifiée qui prend en considération les distances de marches et le nombre de correspondances. Dans leurs travaux, Hussain, Bhaskar & Chung (2021) utilisent OpenTripPlanner (OTP), un planificateur de trajet multimodal, afin d'obtenir les trajets optimaux pour des paires OD. Ce calculateur détermine le temps de parcours, la distance et le nombre de correspondances pour chaque itinéraire.

D'autres auteurs ont recours à un algorithme de génération d'un ensemble de choix afin d'identifier les trajets possibles pour une paire OD à une heure de départ spécifique (Nassir et al., 2016). L'algorithme est basé sur les horaires de transport en commun et les K plus courts chemins pour générer des trajets OD qui minimisent le temps de parcours à chaque itération. Ce processus itératif élimine les segments des alternatives précédemment générées afin d'assurer une indépendance des trajets. Un segment d'une alternative de transport en commun est défini comme une combinaison d'un arrêt d'embarquement, d'un arrêt de débarquement et de la route qui les relie (Nassir et al.,

2016). Une fois les alternatives générées, un contrôle de raisonnabilité est effectué afin de valider si les trajets respectent les critères suivants : le temps de parcours de l'alternative respecte un seuil optimal du temps du chemin le plus court, il y a au plus trois correspondances, la distance de marche aux correspondances ne dépasse pas 1 km, les distances d'accès à l'origine et à la destination ne dépassent pas 2 km et le temps d'attente ne dépasse pas une heure (Nassir et al., 2016). De plus, un seuil maximal de non-optimalité de 20 minutes est intégré dans le calculateur. Une fois atteint, l'algorithme cesse la génération d'alternatives.

Une autre méthode consiste à utiliser le Connection Scan Algorithm (CSA). Celui-ci identifie le trajet qui minimise l'heure d'arrivée du déplacement (Bourbonnais, Verreault, & Morency, 2019; Dibbelt, Pajor, Strasser, & Wagner, 2018). Bourbonnais, Verreault et Morency (2019) utilisent un moteur de routage basé sur le CSA qui identifie le chemin le plus court pour une paire origine-destination, puis génère un ensemble d'alternatives uniques pour celle-ci via un processus de filtrage des combinaisons de lignes. D'auteurs auteurs utilisent plutôt une version modifiée du CSA pour générer des alternatives Pareto-optimales (Weckström, Kujala, Mladenović, & Saramäki, 2019), appliquant un compromis entre le temps de trajet et le nombre de correspondances. Dans les paramètres initiaux de calcul, ils limitent le temps de marche à 2 km et le temps aux correspondances à 3 minutes (Weckström et al., 2019).

2.3 Diversité d'alternatives

La diversité d'alternatives de transport en commun fait référence à la quantité d'alternatives disponible entre une origine et une destination. Pour un déplacement spécifique, la diversité d'alternatives correspond à l'ensemble des itinéraires TC possible pour effectuer ce déplacement. Xu et al. (2018) définissent la diversité d'alternatives au niveau d'une paire OD comme la mesure du nombre de connexions efficaces entre une origine et une destination spécifique. Afin de prendre en considération le choix du mode et le choix de route, ils proposent un modèle de capacité de réserve pour un réseau multimodal (Xu, X. et al., 2018). Dans leur étude, ils évaluent le nombre moyen d'alternatives par paire OD à 11,63 et la médiane à 4. De plus, 62% des paires OD ont un maximum de 5 alternatives (Xu, X. et al., 2018).

Cependant, d'autres auteurs avisent que la distribution du nombre d'alternatives peut varier spatialement. Par exemple, les déplacements ayant leur origine ou leur destination en banlieue ont généralement une moins grande diversité d'alternatives de transport en commun (Chan, Chen, Li,

Xu, & Lam, 2021). Hussain, Bhaskar & Chung (2021) démontrent que l'offre de transport n'est pas équitablement distribuée parmi les zones ni les périodes horaires. Pour ce faire, ils étudient la diversité d'alternatives de transport en commun au niveau agrégé, soit par zones plutôt que par déplacement. Ils ont modifié le *supply index (SI)*, qui fait état de l'offre de service de transport en commun entre deux zones, afin d'y ajouter les notions de qualité et de quantité. Ils nomment ce nouvel indicateur *origin-destination based supply index (odSI)*. Leur modèle mesure les effets du changement du service de transport en commun, tel l'ajout de routes, la suspension de service et les perturbations (Hussain et al., 2021). Toutefois, ils n'étudient pas l'offre de transport pour les déplacements intrazonaux (Hussain et al., 2021).

Van Wee et al. (2019) abordent la notion de substituabilité des alternatives, soit la mesure à laquelle la meilleure alternative peut être remplacée par une alternative moins attractive. Dans leur étude, les alternatives de déplacement ont une définition différente de celle présentée dans ce mémoire. Elles incluent les activités (fréquence et localisation), les modes, le moment (de la journée, de la semaine, de l'année, etc.) et les routes (van Wee et al., 2019). Ils ont démontré qu'un plus haut niveau de substituabilité augmente la flexibilité des déplacements et réduit la vulnérabilité des usagers liée aux perturbations du réseau (van Wee et al., 2019). Toutefois, les auteurs mettent de l'avant le fait que le niveau de substituabilité ne dépend pas uniquement de la disponibilité des alternatives, mais également de la connaissance de leur existence par les individus concernés (van Wee et al., 2019). À cet effet, ils ont démontré que plus l'individu connait à l'avance les alternatives de déplacement, plus le niveau de substituabilité est élevé pour ce déplacement (van Wee et al., 2019).

2.4 Équité

Dans la littérature, l'équité est divisée en deux catégories : équité verticale et équité horizontale. L'équité verticale est l'équité sociale associée aux conditions socioéconomiques et au service offert aux populations vulnérables. L'équité horizontale correspond à l'équité spatiale et à la distribution équitable pour tous les publics et localisations (Welch & Mishra, 2013).

Par endroits, l'offre de transport en commun n'est pas disponible en quantité suffisante. En effet, la diversité d'alternatives de transport en commun peut ne pas être distribuée équitablement sur le territoire. Lucas, van Wee, & Maat (2015) proposent une méthode d'évaluation des politiques de transport qui combine les théories de l'égalitarisme et du sufficientarisme. Ils adoptent une

approche basée sur l'accessibilité comme mesure des *socially relevant accessibility impacts* (SRAIs). Par l'usage de ces deux théories, ils souhaitent démontrer que différentes mesures d'interprétation morales de l'équité peuvent mener au choix de différentes politiques.

L'égalitarisme stipule que la société devrait traiter chacun avec autant d'importance. Dans le cas du transport en commun, cela signifie une amélioration de l'accessibilité aux biens et services de base (Lucas et al., 2015). Selon l'approche sufficientariste, il existe un seuil sous lequel un individu peut se retrouver en déficit (Michaud, 2019). Ce seuil peut faire référence à la quantité d'alternatives de transport en commun, mais aussi à la qualité minimale qu'elles doivent satisfaire. Lucas et al. (2015) ajoutent qu'en deçà de ce seuil minimal pour satisfaire les besoins fondamentaux et assurer le bien-être, les individus sont socialement exclus. Selon eux, le concept du sufficientarisme fournit donc la justification éthique nécessaire à l'élaboration de politiques de transport qui assurent le respect d'un seuil minimal d'accessibilité (Lucas et al., 2015).

2.5 Désert de transport en commun

Le concept de désert de transport en commun a été adapté de celui de désert alimentaire. Tout comme l'accès à une alimentation saine et abordable a été affecté par l'étalement urbain, l'accès au transport en commun a également été compromis (Jiao & Dillivan, 2013). Des auteurs se sont questionnés sur l'écart entre le niveau de service TC (offre) et les besoins d'une population particulière (demande) (Jiao & Dillivan, 2013). Un désert de transport en commun est donc défini comme un secteur dans lequel la demande en transport en commun, par les populations dépendantes à ce mode, est nettement supérieure à l'offre (Jiao, 2017; Jomehpour Chahar Aman & Smith-Colin, 2020).

Kaeoruean et al. (2020) développent deux mesures pour étudier les écarts dans la distribution de l'offre de transport en commun : l'écart entre la capacité du TC et le nombre d'usagers par zone, puis l'écart entre l'offre et la demande comme indice normalisé. Leurs résultats démontrent que l'écart entre l'offre et la demande n'est pas constant spatialement ni dans le temps (annuellement, mensuellement, ni par période horaire).

Jiao (2017) a proposé une méthode d'identification des déserts de transport en commun à partir des systèmes d'information géographiques (SIG). Cela consiste à identifier les populations dépendantes du transport en commun en tant que mesure de la demande de TC, à calculer l'offre,

puis à déterminer l'écart entre l'offre et la demande. L'offre est évaluée au niveau d'un îlot à partir d'indicateurs qui prennent en considération la présence du transport en commun et son accessibilité. Un z-score est ensuite attribué à chacun des îlots, pour la demande et pour l'offre. Ce score est ajusté en fonction de la densité de population. L'écart de TC est obtenu par la soustraction du z-score de la demande par le z-score de l'offre (Jiao, 2017). Néanmoins, cette étude ne considère pas les caractéristiques sociodémographiques dans sa mesure de la population dépendante au transport en commun.

D'autres auteurs ont plutôt recours à un score global d'accessibilité au transport en commun, le *comprehensive public transit accessibility* (CPTA) pour évaluer l'offre (Jomehpour Chahar Aman & Smith-Colin, 2020). Ils caractérisent les secteurs où la demande est forte, mais l'offre est faible comme des déserts de transport en commun.

2.6 Dépendance à un trajet

Certains usagers ont le choix du mode et de la route à emprunter pour effectuer un déplacement et peuvent décider d'utiliser le transport en commun s'il existe des options de qualité suffisante qui relient leur origine à leur destination pendant un créneau horaire qui répond à leurs besoins. Plus encore, ils considèrent que l'option d'utiliser le transport en commun est supérieure aux autres choix modaux en termes de temps, de coût et de confort (Beimborn, Greenwald, & Jin, 2003).

Toutefois, certains segments de population sont des usagers captifs du transport en commun (Exel & Rietveld, 2001). C'est-à-dire qu'ils dépendent de ce mode pour leurs déplacements, donc aucun autre mode n'est possible pour effectuer un déplacement spécifique. Souvent, les caractéristiques de l'individu sont en cause. Par exemple, les usagers captifs peuvent être contraints de l'utiliser en raison de leur âge, de leur revenu, de circonstances familiales ou de limitations fonctionnelles (Beimborn et al., 2003; Exel & Rietveld, 2001; Jiao & Dillivan, 2013). Plusieurs indicateurs sont alors considérés pour déterminer cette dépendance comme l'âge, le revenu et l'accès à une automobile privée (Jiao & Dillivan, 2013). Ces individus n'ont donc pas accès à une voiture ou ne peuvent pas conduire et la distance à parcourir pour le déplacement est trop grande pour les modes actifs. Dans ces circonstances, ils sont plus susceptibles d'habiter à proximité d'un arrêt de transport en commun (Beimborn et al., 2003). La captivité peut avoir plusieurs dimensions : soit que l'usager est physiquement contraint à un seul trajet dû à l'indisponibilité d'autres alternatives

ou de contraintes personnelles, soit que l'usager est psychologiquement attaché à un seul choix par habitude (Ergün, Stopher, & Al-Ahmadi, 1999).

Kash et Mokhtarian (2021) démontrent que les usagers captifs sont doublement pénalisés. D'abord, en raison de l'utilisation d'un mode avec un niveau de service inférieur, puis en recevant un service de moins bonne qualité que les autres utilisateurs du même mode.

Un usager peut être dépendant à un trajet, si celui-ci est le seul disponible pour relier une origine et une destination à un moment spécifique. Dans le cas de la dépendance à un trajet de transport en commun, l'individu n'a qu'une seule alternative, celle-ci pouvant ne pas être de qualité suffisante. Les usagers captifs n'ayant qu'une seule option de déplacement viable, l'absence de diversité entraine une dépendance à un mode ou un trajet.

2.7 Vulnérabilité et robustesse

La notion d'usager captif est très liée à celle de la vulnérabilité face aux perturbations sur le réseau. Une perturbation est un événement qui, de manière directe ou indirecte, cause une réduction ou une interruption considérable du service sur un lien, une route ou un réseau (Yang, Chen, Ning, & Tang, 2017). Reggiani et al. (2015) expliquent qu'un nœud d'un réseau est vulnérable si la perte d'un ou plusieurs liens diminue de façon significative l'accessibilité à ce nœud. Pour l'usager du transport en commun, n'avoir qu'une seule alternative le rend très vulnérable face à des imprévus ou incidents sur le réseau (van Wee et al., 2019), puisqu'il ne peut pas choisir une route différente pour effectuer son déplacement. Une plus grande diversité de routes implique un plus grand nombre d'alternatives en cas de perturbation (Chan et al., 2021). Néanmoins, les usagers ne peuvent pas nécessairement s'adapter de manière optimale en cas de modification ou de perturbation des réseaux (Chan et al., 2021).

Du point de vue opérateur, la robustesse réseau dépend de la diversité de routes. Cats et Jenelius (2015) définissent la robustesse d'un système de transport public comme la capacité de résister ou de se rétablir rapidement des perturbations sans réduire de manière significative la performance du système. Plus un système est capable de remplir ses fonctions dans des conditions défavorables, plus il est robuste (Laporte, Marín, Mesa, & Perea, 2011). La connectivité du réseau TC détermine le nombre de routes alternatives disponibles en cas de perturbation (Cats & Jenelius, 2015). La robustesse augmente lorsqu'il y a plus d'un trajet disponible pour atteindre une destination (Nassir,

Ziebarth, Sall, & Zorn, 2014; Wang et al., 2017). Les paires OD avec la plus grande demande de déplacements doivent avoir une plus grande diversité d'alternatives afin de disperser cette demande sur le réseau (Xu, X. et al., 2018). Des études ont démontré que lorsque plusieurs alternatives de transport en commun sont disponibles, le réseau est plus robuste (Liao & van Wee, 2016; Litman, T., 2001). Toutefois, la robustesse augmente moins rapidement que le nombre d'alternatives ajoutées (Liao & van Wee, 2016).

2.8 Indépendance des alternatives

Cependant, puisque différentes routes peuvent partager des mêmes liens ou segments dans le réseau, la diversité d'alternatives peut diminuer lorsqu'un lien principal subit un incident (Xu, X. et al., 2018). Effectivement, la vulnérabilité de l'usager est présente si les différentes alternatives de transport en commun disponibles ont un important chevauchement. Par chevauchement, on entend un ou des segments de route identique(s), peu importe les lignes de transport en commun impliquées (Hoogendoorn-Lanser, van Nes, & Bovy, 2005). Dans son étude de cas, Frappier (2015) a illustré les routes de transport en commun pour effectuer un déplacement spécifique (Figure 2.1). On y voit très clairement le chevauchement de multiples segments, soit en tout ou en partie des itinéraires proposés.

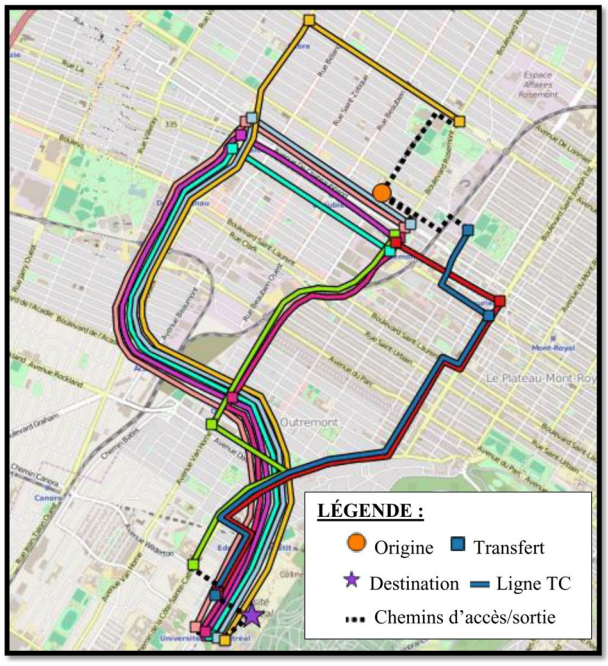

Figure 2.1 Exemple d'alternatives disponibles pour une paire OD (Frappier, 2015)

Dans ses travaux, Frappier (2015) a développé un indicateur d'indépendance des alternatives de transport en commun. Celui-ci prend en considération la distance des segments qui ont un chevauchement et le nombre d'alternatives avec un chevauchement afin de déterminer le niveau d'indépendance des routes pour une paire OD. Il utilise une moyenne pondérée de l'inverse du nombre d'alternatives avec des segments en commun, ce qui attribue un score faible si une alternative partage plusieurs segments et un score élevé si une alternative partage peu de segments identiques aux autres routes. À partir de cet indicateur, un score de diversité des alternatives est obtenu par la somme du niveau d'indépendance des trajets.

L'utilité des routes alternatives diminue lorsque les itinéraires ont un important chevauchement (Anderson, Nielsen, & Prato, 2014). De plus, le chevauchement entre les alternatives d'un ensemble de choix doit être considéré afin d'estimer correctement l'utilité (Hoogendoorn-Lanser et al., 2005).

Plusieurs publications sont consacrées à l'étude du chevauchement des routes, notamment de Grange, Raveau et Gonzalez (2014) qui ont développé un modèle de choix de route spécialement conçu pour adresser le problème de corrélation dû au chevauchement des itinéraires. Avant eux, Cascetta et al. (1996) ont implanté un *commonality factor* dans un modèle C-logit de choix de route pour ajuster l'utilité des routes selon leur chevauchement. Ben-Akiva et Bierlaire (1999) proposent plutôt un *path size logit* pour corriger le chevauchement des routes. Celui-ci est repris par plusieurs notamment par Nassir et al. (2014) qui proposent un nouvel algorithme de génération de trajets pour le réseau cyclable de San Francisco, le *path size penalty algorithm* (PSPA), lequel identifie le k-plus court chemin en tenant compte du chevauchement. Hoogendoorn-Lanser et al. (2005) ont étudié le chevauchement des alternatives, mais pour les réseaux multimodaux.

Afin de corriger le chevauchement entre les alternatives, Liao et van Wee (2016) ajoutent à leur équation de robustesse un facteur exprimant l'indépendance des alternatives. Ils attribuent une valeur de 1,0 au meilleur trajet. Si une alternative n'a pas de chevauchement, le facteur est de 1,0 sinon le facteur diminue lorsqu'il y a chevauchement (Liao & van Wee, 2016).

Plus récemment, Chan et al. (2021) prennent en considération le chevauchement des alternatives dans leur mesure de la diversité. Pour ce faire, ils utilisent un coefficient de similarité qui pénalise les liens partagés par de multiples routes dans le calcul de la diversité. Ils expliquent qu'une

nouvelle ligne peut être complémentaire, pour augmenter la diversité d'alternatives, ou en remplacement pour améliorer la qualité des alternatives (Chan et al., 2021).

2.9 Choix de route

Lors du choix de route, les usagers comparent les alternatives selon différentes caractéristiques et choisissent celle qui correspond le mieux à leurs préférences individuelles. Pour qu'une route soit considérée comme efficace, elle doit avoir un ratio de temps relativement faible par rapport à celui du chemin le plus court (Xu, X. et al., 2018). En effet, les itinéraires alternatifs avec un temps de parcours trop long comparativement au meilleur trajet sont susceptibles de ne pas être considérés par les usagers comme une substitution raisonnable (Xu, X. et al., 2018). Frappier (2015) suggère qu'il est préférable de fixer une limite de temps correspondant à deux fois la durée de l'alternative la plus rapide. Chan et al. (2021) ont étudié le concept de route raisonnable, ce qui correspond à une route qui est raisonnablement plus lente que la meilleure alternative, entre une origine et une destination.

Le coût généralisé d'un déplacement est son temps de parcours, exprimé par l'impédance (Li, Qu, & Li, 2019; Nazem, 2014). Chaque alternative a une utilité, puis l'usager choisit celle avec la plus grande utilité (de Dios Ortúzar & Willumsen, 2011). L'utilité représente le niveau de satisfaction vis-à-vis du choix et la désutilité mesure le coût généralisé pour chaque option modale. Cette utilité peut être déterminée en fonction de plusieurs facteurs dont le niveau de service du mode (temps de parcours, temps d'accès, temps d'attente, coût du transport en commun, coût du stationnement, nombre de correspondances, etc.), des caractéristiques de l'individu (accès à une automobile, revenu du ménage, genre, âge, etc.) et des caractéristiques du territoire (densité urbaine, environnement piéton, etc.) (Jong, Daly, Pieters, & VanderHoorn, 2005; Transportation Research Board, 2012). L'alternative avec l'utilité maximale n'est donc pas la même selon l'usager pour un déplacement entre une même origine et une même destination pour une même heure de départ.

Nassir et al. (2016) ont développé une mesure qui estime l'impédance perçue. Leur modèle identifie le caractère aléatoire des préférences des usagers et tient compte de la diversité d'alternatives, soit de la disponibilité de différentes options de trajet au sein d'un réseau. Leurs résultats montrent que l'alternative la plus rapide n'est choisie que pour 41,0% des paires origine-destination (Nassir et al., 2016). En moyenne, les passagers ont choisi des alternatives 4,7 minutes (16,0 %) plus lentes

que le meilleur trajet (Nassir et al., 2016). Leur étude ne prend pas en considération les caractéristiques sociodémographiques (Nassir et al., 2016).

Kim at al. (2020) ont étudié les habitudes de choix de route des usagers du transport en commun à partir des préférences révélées par les données de carte à puce à Séoul, pour les déplacements ayant un minimum de deux alternatives disponibles. De ce fait, 66,1 % des déplacements observés sont retirés de leur échantillon puisqu'ils n'ont qu'un seul trajet de transport en commun possible (Kim et al., 2020). Les données contiennent les informations à l'embarquement et au débarquement, ce qui permet d'obtenir le trajet emprunté par l'usager et le temps de parcours, de même que les distance et temps de chaque segment dans le cas d'itinéraires avec correspondances. Toutefois, ce type de données ne fournit aucune information sur l'origine et la destination du déplacement ni sur les caractéristiques de l'individu et le motif du déplacement. Ils calibrent un modèle logit multinomial (MNL) à partir des attributs des trajets observés pour prédire le choix de route pour chaque paire OD (Kim et al., 2020). Toutefois, les résultats peuvent être biaisés dû à la propriété IIA. En effet en raison du chevauchement entre les alternatives, celles-ci peuvent avoir une importante corrélation. Pour pallier cela, les auteurs suggèrent un modèle C-logit incluant un *commonality factor* pour capturer cette corrélation (Kim et al., 2020).

Leurs résultats démontrent également que la part modale des modes sur rails augmente avec la distance parcourue et que les usagers empruntent rarement un trajet qui implique plus de trois correspondances (Kim et al., 2020). Par ailleurs, plus la distance parcourue augmente, plus le rapport entre le temps hors véhicule et le temps total diminue, ce qui signifie que le temps hors véhicule a un effet moindre sur le choix de route au-delà d'une certaine distance (Kim et al., 2020).

D'autres auteurs ont plutôt regardé l'entassement et le confort à bord (Li et al., 2019). Les usagers préfèrent une alternative plus confortable pour les déplacements plus longs (Grison, Burkhardt, & Gyselinck, 2017). Gauthier (2020) a étudié le confort à bord des véhicules de transport en commun. Il a démontré, via une équation d'utilité, que les variables de densité, le temps de parcours, le type de véhicule et la position de l'usager (assise ou debout) ont une influence sur le confort.

2.10 Qualité des alternatives

Il apparait évident que la diversité d'alternatives de transport en commun est bénéfique, mais avoir plusieurs alternatives n'apporte rien à l'usager si leur qualité est médiocre. Tel que montré dans les

travaux de Frappier (2015), il est nécessaire de filtrer les alternatives selon leur qualité afin de pouvoir adéquatement évaluer la diversité.

La qualité est une notion assez subjective. De nombreux auteurs ont étudié les préférences déclarées et les préférences révélées des usagers afin de mieux comprendre leur point de vue (Anderson et al., 2014; Arentze & Molin, 2013; Chowdhury, Ceder, & Schwalger, 2015; dell'Olio, Ibeas, & Cecin, 2011; Kim et al., 2020). Plusieurs de ces études ont démontré que la perception du transport en commun varie selon les caractéristiques sociodémographiques (âge, genre, revenu), le contexte géographique et les caractéristiques du déplacement (Bosea & Pandita, 2020). Zhou, Jia et Du (2015) ajoutent que les usagers basent leur jugement sur leur expérience personnelle. Par ailleurs, une différence dans les habitudes des usagers mène à une différente perception de la qualité du service (Bosea & Pandita, 2020).

Le temps se révèle être le plus grand facteur d'influence de la qualité d'une alternative de transport en commun (Grison et al., 2017). En effet, la perception de la valeur du temps n'est pas la même à bord du véhicule que pour la marche, l'attente ou les correspondances (Anderson et al., 2014; Arentze & Molin, 2013; Bovy & Hoogendoorn-Lanser, 2005; Litman, Todd, 2008; Meng, Rau, & Mahardhika, 2018). D'autres facteurs que le temps ont également une influence sur la qualité du transport en commun, du point de vue de l'usager, notamment le confort et la sécurité (Zhou et al., 2015).

Par ailleurs, le mode de transport en commun emprunté affecte également la perception du temps de déplacement. Par exemple, les usagers préfèrent le temps à bord d'un mode de transport en commun sur rail (métro ou train) par rapport à l'autobus (Anderson et al., 2014; De Vos, 2019; Varela, Borjesson, & Daly, 2018). De plus, la valeur du temps à bord est plus élevée pour les modes auxiliaires que pour le mode principal (Varela et al., 2018).

2.10.1 Perception de la valeur du temps par l'usager

Toutes ces études ont démontré que le point de vue de l'usager est fondamental dans l'évaluation d'un système de transport en commun. De plus, le Transit Capacity and Quality of Service Manual (TCQSM) définit la qualité du service de transport en commun par la performance globale mesurée ou perçue du point de vue du passager (Zhou et al., 2015).

Zhou, Jia et Du (2015) se sont intéressés à la qualité perçue dans les réseaux d'autobus. Ils ont introduit des indicateurs quantitatifs et qualitatifs dans un modèle logit multinomial afin de démontrer leurs effets sur le choix modal. Leurs résultats ont démontré que plus la distance parcourue est grande, plus l'effet du coût et du temps de déplacement sur le choix d'alternative diminue. Par contre, l'importance du confort, de l'aspect pratique et de la sécurité augmente (Zhou et al., 2015).

La qualité des alternatives peut être évaluée en fonction de plusieurs composantes, notamment le temps de déplacement. Le temps de déplacement possède trois composantes : le temps à bord, le temps d'attente et le temps de marche. Ceux-ci peuvent être distingués par segment dans le cas d'un trajet incluant une ou plusieurs correspondances. Le temps à bord fait référence au temps passé dans le véhicule. Le temps de marche inclut le temps d'accès à l'origine et à la destination, de même que la marche entre deux arrêts le cas échéant. Le temps d'attente représente le temps passé à l'arrêt ou à la station pour attendre l'arrivée du véhicule.

Plusieurs études ont démontré une différence entre le temps perçu et le temps réel pour les déplacements en transport en commun. Plus encore, le temps de trajet est plus important pour les usagers potentiels du transport en commun que pour les usagers actuels (dell'Olio et al., 2011). Non seulement le temps total du déplacement, mais aussi les temps des différents segments d'un déplacement sont perçus différemment par l'usager. Effectivement, la perception du temps de marche et du temps d'attente est plus élevée que celle du temps à bord du véhicule (Arentze & Molin, 2013; Bovy & Hoogendoorn-Lanser, 2005; Grison et al., 2017; Raveau, S., Guo, Munoz, & Wilson, 2014; Xu, Z., Xie, Liu, & Nie, 2020).

Le temps de marche est perçu plus négativement que le temps à bord. En fait, la valeur du temps de marche serait perçue entre 2 et 5 fois plus longue que celle du temps en véhicule (Litman, Todd, 2008). Diverses études soutiennent ce constat, certaine plus conservatrices que d'autres. Xu et al. (2020) établissent que le temps de marche vaut 2 fois celui à bord et Raveau et al. (2011) que le temps de marche serait perçu 79 % plus lent que le temps à bord. Meng et al. (2018) sont plus précis et démontrent que l'usager perçoit 1,12 minutes pour chaque minute réelle de marche, ce qui varie selon les conditions météorologiques, le motif du déplacement, les aménagements piétons, etc. De plus, le temps d'accès au TC à l'origine et à la destination est perçu de 2 à 3 fois plus pénible que le temps à bord du véhicule (Anderson et al., 2014; Xu, Z. et al., 2020).

Le temps d'attente est souvent celui avec le plus de poids dans les fonctions d'utilité puisqu'il représente un temps que l'usager perçoit comme perdu (Litman, Todd, 2008). Il équivaut à trois fois la valeur du temps à bord (Xu, Z. et al., 2020) ou 41% plus que le temps à bord (Raveau, Sebastián et al., 2011). De plus, chaque minute d'attente réelle est perçue comme 1,27 minute (Meng et al., 2018). Néanmoins, l'information en temps réel sur les prochains passages réduit le temps d'attente perçu d'environ 20% (Litman, Todd, 2008). Également, les usagers associent une plus grande désutilité aux longues distances d'accès et aux correspondances (Nassir et al., 2016).

2.10.2 Pénalités associées aux correspondances

Les correspondances constituent une autre composante exerçant une grande influence sur la qualité d'une alternative de transport en commun. Le rôle principal des correspondances est d'offrir plus de destinations aux usagers et de réduire les coûts d'opération (Chowdhury et al., 2015). Toutefois, il a été démontré que l'incertitude associée à la durée des correspondances est perçue par les usagers comme un stress supplémentaire (Ceder, Chowdhury, Taghipouran, & Olsen, 2013). Toutefois, les usagers fréquents du transport en commun sont plus enclins à choisir une alternative impliquant des correspondances (Grison et al., 2017).

Même lors d'une situation de correspondance idéale, lors de laquelle le temps de marche et d'attente serait nul, l'usager perçoit une pénalité associée à la sécurité, le confort, la familiarité avec le réseau de transport en commun, la fréquence de passage et la disponibilité de l'information (Garcia-Martinez, Cascajo, Jara-Diaz, Chowdhury, & Monzon, 2018). La notion de désutilité de correspondance a trois composantes : le temps d'attente à la correspondance, le temps de marche d'un véhicule à l'autre et l'inconvénient ajouté, appelé pénalité de correspondance (Garcia-Martinez et al., 2018). Cette dernière composante est toujours perçue par l'usager, même lorsqu'il n'y a pas d'attente ou de marche nécessaire pour effectuer la correspondance. Par ailleurs, les usagers préfèrent marcher plus longtemps et être plus longtemps à bord afin d'embarquer à un arrêt qui leur permet une connexion directe à leur destination (Nassir et al., 2016).

Le coût des correspondances fait partie du temps de déplacement et il est généralement estimé par une pénalité associée aux correspondances, soit une pénalité équivalent de 5 à 15 minutes de temps à bord (Litman, Todd, 2008). Également, le temps perçu lors des correspondances a un coefficient de 1,5 et le nombre de correspondances a un coefficient de 2 par rapport au temps de déplacement (Li et al., 2019). Une autre étude démontre qu'une correspondance équivaut à 21 minutes de temps

de marche (Jánošíková, Slavík, & Kohání, 2014). Ces résultats coïncident avec le fait que le temps de correspondances est 7 fois plus important que le temps à bord pour le choix de route (Rahbar, Mesbah, Hickman, & Tavassoli, 2017).

Pour un déplacement impliquant deux correspondances, l'effet associé au temps de marche à la 2e correspondance est presque le double de celui de la première et l'effet du temps d'attente est 20% supérieur à celui de la 1ère (Garcia-Martinez et al., 2018). La pénalité varie entre 15,2 et 17,7 minutes par rapport au temps à bord dans le cas d'un trajet avec une correspondance, puis elle augmente de 22 % dans le cas d'un trajet avec deux correspondances (Garcia-Martinez et al., 2018). D'autres auteurs soutiennent plutôt que chaque correspondance ajoute un temps supplémentaire de 8,5 minutes au temps de trajet (Raveau, Sebastián et al., 2011).

De plus, les usagers perçoivent négativement les correspondances qui impliquent un changement de mode de transport (Garcia-Martinez et al., 2018). Les correspondances constituent l'un des éléments les plus problématiques des déplacements multimodaux, surtout pour les modes moins fiables et moins fréquents comme l'autobus (Anderson et al., 2014). Par ailleurs, les pénalités de correspondances sont plus élevées pour les déplacements plus longs. Selon les auteurs, cette différence s'explique par la possibilité d'utiliser le temps à bord du véhicule pour d'autres activités comme lire ou dormir lorsque les correspondances sont moindres (Anderson et al., 2014).

Les travaux de Hadas et Ranjitkar (2012) analysent la performance des réseaux de transport en commun, plus particulièrement en lien avec la connectivité. Ils ont développé une classification des types de correspondances. Leurs résultats ont démontré que les correspondances impliquant un segment de marche rendent l'usager plus vulnérable face à l'incertitude de manquer sa connexion (Hadas & Ranjitkar, 2012).

2.11 Accessibilité au transport en commun

L'accessibilité fait référence au niveau d'accès aux biens et services. Dans le cas du transport en commun, elle correspond également à la disponibilité, l'abordabilité, la fiabilité et la sécurité. À cela s'ajoute l'accès à l'information, notamment les horaires de passage (Lucas et al., 2015). L'accessibilité peut également varier selon le lieu (origine et destination) ou selon les caractéristiques et limitations de l'individu.

Elle peut aussi être définie comme la mesure à laquelle l'usage du sol et les réseaux de transport permettent aux individus d'atteindre leurs activités et destinations par un mode ou une combinaison de modes (Geurs & van Wee, 2004). Elle peut être plus spécifiquement définie comme l'accès physique à un arrêt d'autobus ou une station de métro ou comme étant la proximité entre l'origine ou la destination du passager à l'arrêt ou la station la plus près (Foda & Osman, 2010). L'accessibilité au transport en commun représente l'opportunité ou la non-opportunité d'utiliser ce mode (Foda & Osman, 2010).

De manière générale, la marche est le principal mode d'accès au transport en commun (Foda & Osman, 2010). En fait, l'accès à pied est implicite. Peu importe le lieu d'origine, il faut marcher sur une certaine distance pour accéder à un arrêt ou une station de TC. Évidemment, on peut également y accéder à partir d'un autre mode, par exemple l'automobile ou le vélo. À cela peuvent s'ajouter les modes partagés comme le vélopartage, l'autopartage, les trottinettes en libre-service, etc. On parle alors de déplacement bimodal.

La distance seuil d'accès est la distance maximale acceptable qu'un individu veut parcourir pour accéder à un mode de transport en commun. Celle-ci ne fait pas consensus dans la littérature, mais une distance seuil de marche de 500 m est souvent utilisée (Xu, Z. et al., 2020). Selon Bagheri et al. (2020), la distance de marche considérée comme raisonnable pour la plupart des individus est de 1 km. Foda et Osman (2010) sont plutôt d'avis que la distance raisonnable de marche pour accéder au transport en commun est de 400 m, ce qui correspond à un temps de 5 minutes à une vitesse de 1,3 m/s. D'autres auteurs sont plus précis, mentionnant que la distance d'accès est de 400 mètres (1/4 mile) aux arrêts d'autobus et de 800 mètres (1/2 mile) aux stations de métro et gares de train (El-Geneidy, Grimsrud, Wasfi, Tétreault, & Surprenant-Legault, 2013; Hussain et al., 2021), ce qui correspond à 5 à 8 minutes de marche (Iacono, Krizek, & El-Geneidy, 2008). La vitesse moyenne de marche est de 5 km/h (Xu, Z. et al., 2020). Il est primordial de ne pas utiliser un rayon circulaire autour des arrêts, mais de plutôt considérer la distance géographique sur le réseau piéton (Foda & Osman, 2010).

Les distances d'accès au transport en commun à vélo sont plus longues que celles pour la marche, la plupart se situant autour de 10 km, mais pouvant aller jusqu'à 30 ou 40 km (Iacono et al., 2008). Tous s'entendent pour dire que la distance d'accès est plus importante pour le vélo électrique que pour le vélo régulier, puisque ce mode permet de se déplacer avec un effort moindre (Bagheri et

al., 2020). Ils considèrent la vitesse en vélo électrique comme étant environ 16% plus rapide qu'en vélo ordinaire, donc à 18 km/h (Bagheri et al., 2020). Morency, Verreault et Frappier (2019) utilisent le 80^{e} percentile de la distribution des déplacements à la marche et à vélo observés dans l'enquête Origine-Destination montréalaise de 2013 afin de déterminer les distances seuils pour ces modes, en segmentant la population par âge et genre. D'autres facteurs peuvent également influencer les distances d'accès au transport en commun, telles les limitations fonctionnelles des individus et les conditions externes comme l'aménagement, la topographie, le climat, la météo, etc. (El-Geneidy et al., 2013).

D'autres auteurs ont plutôt démontré la disparité des effets des nouvelles lignes de métro sur chaque paire origine-destination (Chan et al., 2021). Ils ont développé un indicateur d'accessibilité, le *route diversity index*, afin de mettre en évidence le fait que les usagers ne peuvent pas nécessairement tous s'adapter de manière optimale en cas de modification ou de perturbation des réseaux.

2.12 Chaînes de déplacement

Une chaîne est constituée d'une série de déplacements reliés par des points d'ancrage, étant des points spatiaux fixes (McGuckin & Murakami, 1999; McGuckin & Nakamoto, 2004). Les plus courants sont le domicile et le travail. Une chaîne peut être simple, complexe ou ouverte. Les chaînes simples contiennent deux déplacements et une activité principale (Daisy, Liu, & Millward, 2018). Les chaînes complexes contiennent une activité principale et au moins une activité secondaire. Les chaînes ouvertes n'ont pas de point de départ ou de fin (Valiquette & Morency, 2010).

Puisque les chaînes de déplacement font partie du quotidien de mobilité de plusieurs usagers du transport en commun, la qualité et la diversité des alternatives peut ne pas être la même pour tous les liens de la chaîne. Plus encore, aucune alternative de transport en commun (de qualité suffisante ou non) ne peut être disponible sur une portion de la chaîne, résultant en l'incapacité d'emprunter le transport en commun pour l'ensemble de la chaîne.

2.13 Choix modal

Au meilleur de nos connaissances, aucune étude n'a démontré l'effet de la qualité et de la diversité des alternatives de transport en commun sur le choix modal.

2.13.1 Facteurs de choix modal

Il existe de nombreux facteurs déterminants du choix modal. Ils sont généralement regroupés en catégories en fonction des caractéristiques individuelles, des caractéristiques du déplacement et des caractéristiques du trajet (de Dios Ortúzar & Willumsen, 2011). Martel-Poliquin (2012) classifie les déterminants du choix modal en variables de la personne, variables du ménage, variables du déplacement et variables du milieu bâti. Les caractéristiques des individus peuvent être intrinsèques (âge, genre) ou extrinsèques (possession automobile, possession d'un permis de conduire, occupation principale). Les attributs du ménage qui influencent le choix modal sont principalement la structure du ménage et le revenu. Les variables associées au déplacement relèvent de la distance à parcourir et de l'accessibilité des lieux d'activité. Enfin, les variables du milieu bâti sont nombreuses. Elles incluent, notamment, la taille de la ville, la densité de population et d'emploi, la distance au centre-ville, la mixité d'usages, la connectivité et la tortuosité (Martel Poliquin, 2012). En fait, chacun des 5D, soit la densité, la diversité, le design, l'accessibilité aux destinations et la distance d'accès au transport en commun sont des caractéristiques de l'environnement urbain ayant un impact sur le choix modal (Martel Poliquin, 2012). D'autres variables que celles des catégories énoncées peuvent également influencer le choix modal, par exemple la topographie et les conditions météorologiques, surtout par rapport aux déplacements actifs (Martel Poliquin, 2012).

Le choix modal dépend donc de la qualité et de la quantité des options disponibles, considérant les besoins et capacités individuels, de même que les différents modes, services et coûts (Litman, T., 2001). Pour qu'in individu choisisse un certain mode, celui-ci doit spatialement relier son origine à sa destination et cette option doit être compétitive par rapport aux autres modes disponibles (Beimborn et al., 2003). Toutefois, la principale barrière au changement de part modale de l'automobile vers le transport en commun est la perception de sa fiabilité (Cats & Jenelius, 2015).

2.13.2 Modèles de choix modal

Des modèles sont utilisés pour prédire la probabilité de choisir un mode. La méthode désagrégée, aussi appelée modèle logit, considère les caractéristiques individuelles en addition de celles de l'offre de transport. Le logit binomial est utilisé pour comparer la probabilité de choisir un mode parmi deux options, tandis que le logit multinomial est utilisé lorsque plus de deux modes sont en compétition.

Le modèle logit binomial est une régression logistique (Bates, 2008). Une des limites des modèles de choix modal est l'hypothèse initiale selon laquelle les voyageurs sont informés de l'ensemble des alternatives disponibles et, par le fait même, qu'ils vont choisir celle qui maximise leur utilité (de Dios Ortúzar & Willumsen, 2011; Senk, 2010).

Il n'existe pas de littérature sur les modèles de choix discrets qui considère l'effet de la présence de plusieurs alternatives de transport en commun. Les modèles de choix discrets se concentrent sur les caractéristiques de l'individu et du déplacement (Frappier, 2015). En effet, ils sont utilisés pour évaluer la probabilité de choisir un mode pour un déplacement spécifique en fonction de l'utilité, mais le nombre d'alternatives de transport en commun de qualité suffisante n'est pas encore considéré dans cette fonction.

En modélisation, le choix modal se limite souvent à un seul mode, actif ou motorisé, favorisant le chemin le plus court en fonction du temps et du coût perçus (Arentze & Molin, 2013). En fait, le mode choisi est celui pour lequel le coût généralisé du déplacement est le plus faible. Peu importe le modèle choisi, la stratégie de choix de trajet implique toujours la sélection de l'alternative avec les coûts de transport perçus les plus faibles (Senk, 2010). Cependant, la perception de ces coûts varie d'un individu à l'autre, ce qui complexifie la prédiction du choix du mode. L'usager ne choisit donc pas toujours l'option avec la meilleure utilité. En effet, l'individu doit connaitre l'alternative avec la meilleure utilité afin de la sélectionner pour son déplacement, ce qui n'est pas nécessairement le cas. Certains individus choisissent donc un itinéraire qui n'est pas optimal puisqu'ils n'ont pas toutes les informations ou parce qu'ils ne perçoivent pas la différence entre les trajets disponibles (Nassir et al., 2014).

2.14 Synthèse de la revue de littérature

Premièrement, une alternative de transport en commun est définie en tant que séquence spécifique de lignes et de correspondances entre une origine et une destination. Ensuite, des méthodes de génération d'alternatives sont présentées, puis est introduite la notion de diversité, soit la quantité de trajets disponibles pour effectuer un déplacement spécifique. Puisque la diversité d'alternatives n'est pas nécessairement répartie équitablement sur le territoire, certains usagers peuvent se retrouver dans des déserts de transport en commun. Ces usagers, potentiellement captifs, sont alors en situation de vulnérabilité. Tel que mentionné précédemment, n'avoir qu'une seule alternative rend l'usager vulnérable aux imprévus et incidents sur le réseau (van Wee et al., 2019). Néanmoins,

même en présence de plusieurs trajets de transport en commun, différents segments peuvent partager des liens sur le réseau, augmentant la vulnérabilité s'il y a un important chevauchement. Nonobstant la diversité des alternatives indépendantes, l'approche sufficientariste soutient qu'il existe un seuil minimal de qualité sous lequel un individu peut se retrouver en déficit. Tel que présenté, plusieurs facteurs influencent la qualité des routes de transport en commun, la plus importante étant la perception du temps par l'usager, puis les pénalités associées aux correspondances.

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE

Cette section présente d'abord les sources de données et les outils utilisés, puis la méthodologie développée pour évaluer la qualité et la diversité des alternatives de transport en commun.

3.1 Cadre conceptuel

Tel que mentionné à la section 1.1, une alternative de transport en commun est définie comme une séquence spécifique de lignes et de correspondances entre une origine et une destination à un moment précis (Frappier, 2015). La diversité d'alternatives représente la quantité d'alternatives disponibles, donc de trajets différents, pour effectuer un déplacement.

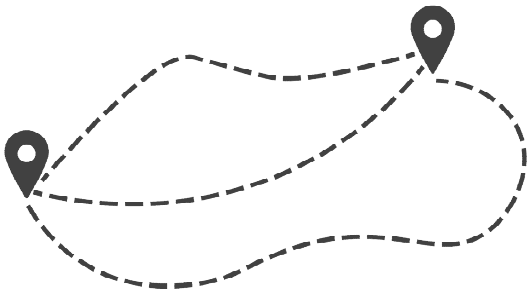

Figure 3.1 Alternatives de transport en commun pour une paire origine-destination

Tel qu'émis comme hypothèse, toutes les alternatives de transport en commun n'ont pas le même niveau de qualité et certaines n'atteignent pas un seuil de qualité minimale. De ce fait, des critères de qualité suffisante doivent être établis afin d'évaluer de manière plus juste la diversité d'alternatives de transport en commun. Tout d'abord, un critère de qualité relative est proposé basé sur le temps du trajet le plus rapide, puis un critère de qualité absolue, basé sur une mesure objective.

3.2 Méthode générale

Le schéma méthodologique est présenté à la figure 3.2. Les premières étapes constituent la création du sous-ensemble de données. Ensuite, la diversité des alternatives de transport en commun est évaluée, d'abord sans tenir compte de la qualité, puis des seuils de qualité suffisante sont déterminés afin d'évaluer la diversité selon une qualité relative, puis selon une qualité absolue. Cela permet diverses analyses des résultats comme la comparaison de la diversité d'alternatives selon les deux qualités (relative et absolue) et l'identification des déserts d'alternatives.

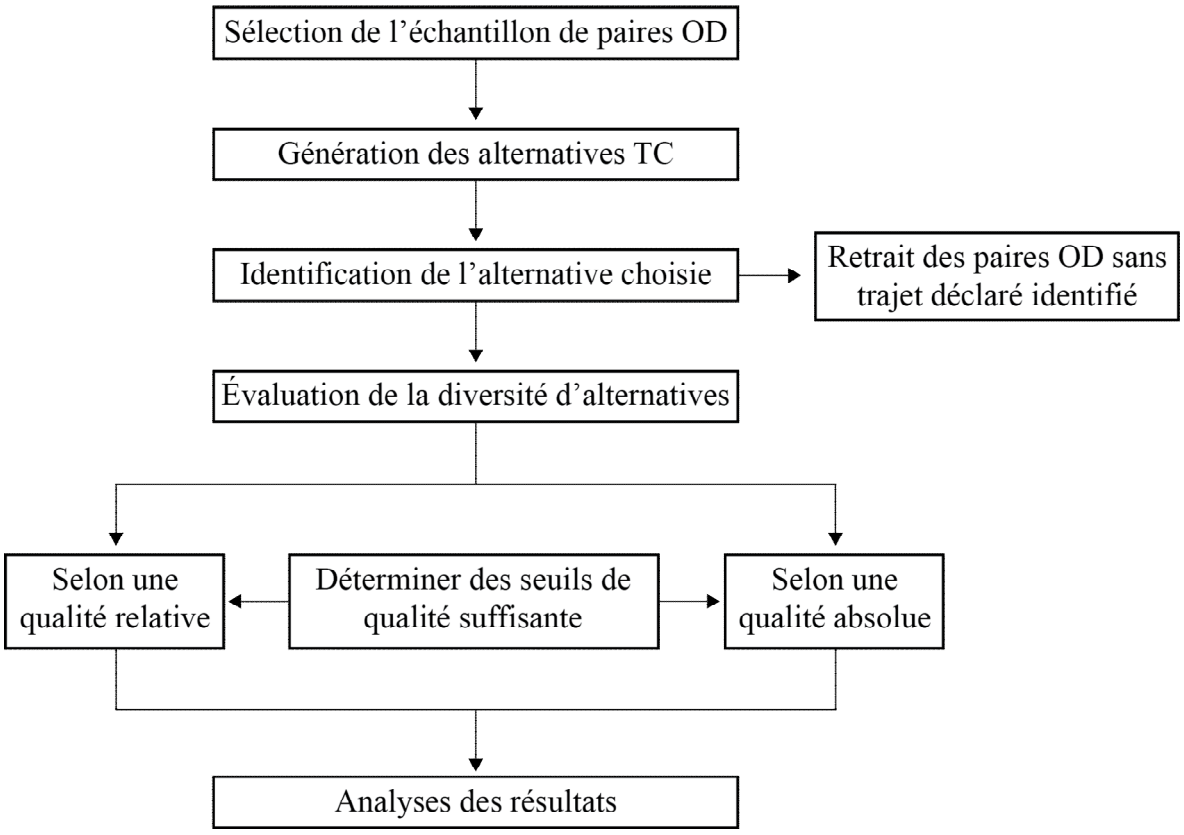

Figure 3.2 Schéma méthodologique

3.3 Données et outils

3.3.1 Enquête Origine-Destination

La principale source de données utilisée pour ce projet de recherche est l'enquête Origine-Destination 2018 effectuée par l'Autorité régionale de transport métropolitain (ARTM) (2021)[1]. Le taux d'échantillonnage est d'environ 4 % de la population du grand Montréal. Au total, 368 982 déplacements, dont 48 818 se sont faits en transport en commun unimodal, sont observés sur un territoire couvrant près de 10 000 km^2 tel qu'illustré à la figure 3.3.

[1] Les données de l'enquête Origine-Destination de 2018 ont été fournies par Hubert Verreault (professionnel de recherche de la Chaire Mobilité de Polytechnique Montréal).

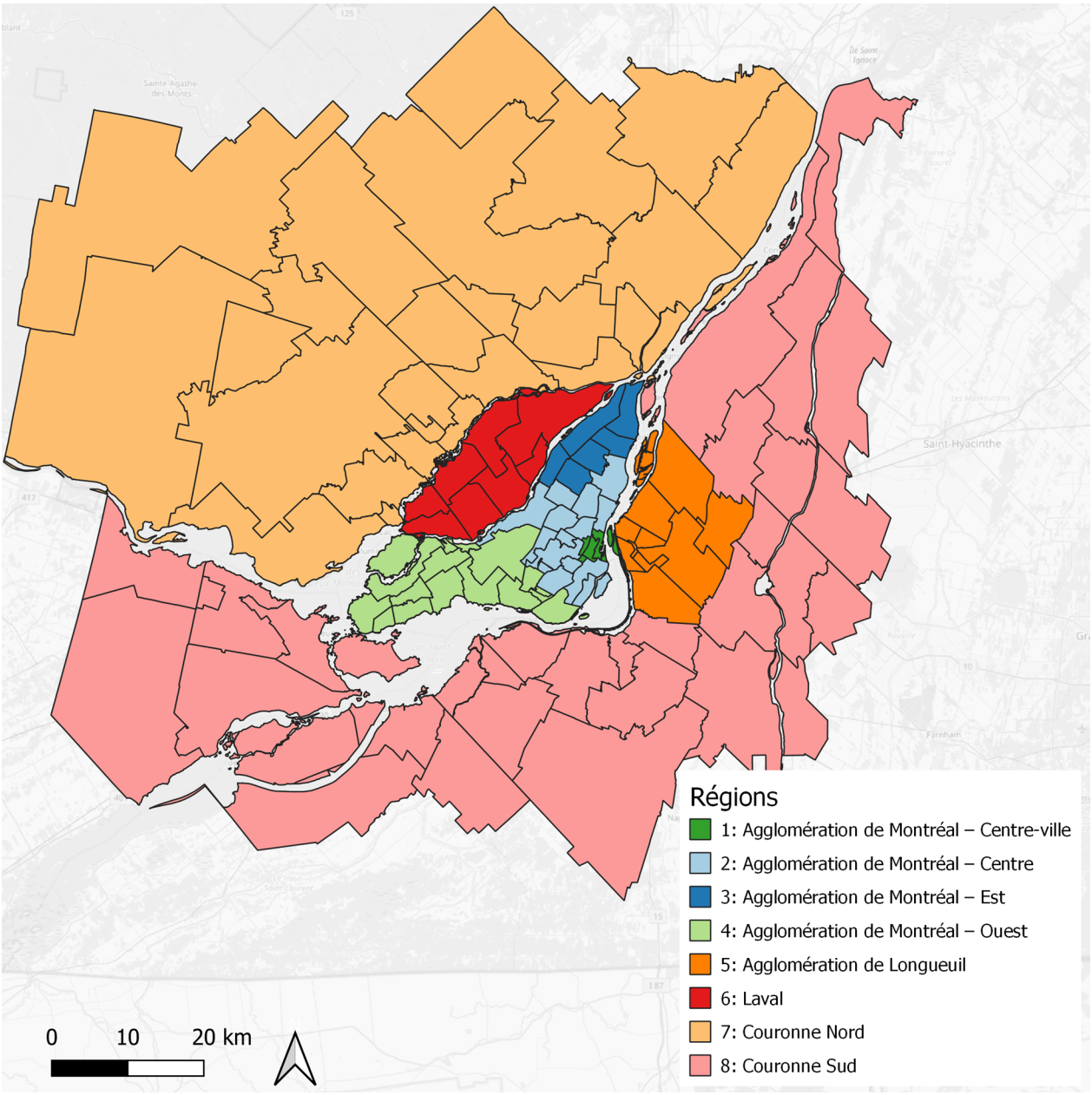

Figure 3.3 Limites géographiques du territoire de l'enquête Origine-Destination 2018

Cette enquête se fait via des entrevues téléphoniques, mais comprenait également un volet web pour la première fois lors de l'édition de 2018. Lors de l'entrevue, les répondants doivent détailler tous les déplacements effectués la veille par chacun des membres (5 ans et plus) de leur ménage. Parmi les informations recueillies, on retrouve les caractéristiques individuelles (âge, cohorte, genre, possession d'un permis de conduire, statut), les caractéristiques du ménage (taille du ménage, possession automobile, localisation) et les caractéristiques du déplacement (heure de

départ, mode, motif, origine et destination, trajet emprunté). Des limites sont associées à cette méthode d'enquête, soit le biais du répondant (celui-ci agissant à titre de proxy pour les membres de son ménage), un biais de déclaration quant au trajet emprunté et un biais lié à l'échantillonnage, puisque certains segments de populations peuvent être sous-représentés. Afin de représenter les déplacements d'une journée typique de semaine d'automne pour la population entière, chaque personne et ménage est pondéré en fonction des caractéristiques sociodémographiques. Les données collectées permettent de fournir une analyse détaillée des déplacements d'un jour de semaine d'automne pour la région et sont importantes pour le processus de modélisation et de planification des transports.

3.3.2 Transition

Les alternatives de transport en commun sont générées via la plateforme Transition, développée par la Chaire Mobilité de Polytechnique Montréal[2]. Le moteur de routage contient les données GTFS (General Transit Feed Specification) de toutes les agences de la région métropolitaine de Montréal pour le réseau tel qu'il était à l'automne 2018. Les itinéraires de transport en commun disponibles entre chaque origine et destination du sous-ensemble de données à l'heure de départ déclarée sont identifiés par le calculateur. Afin de pallier les biais liés à l'enquête OD (biais de déclaration et biais du répondant) quant à l'heure de départ déclarée, une fenêtre temporelle de ±15 minutes est appliquée pour chaque déplacement. Par exemple, si l'heure de départ déclarée d'un déplacement est 7h20, le calculateur va identifier l'alternative qui permet d'arriver le plus rapidement à la destination, pour un départ variant entre 7h05 et 7h35.

La méthode de génération des alternatives identifie l'itinéraire qui minimise l'heure d'arrivée pour une paire OD spécifique. Ensuite, chaque ligne de transport en commun de cette alternative est supprimée séquentiellement et les alternatives subséquentes sont générées. Le même processus est répété avec les alternatives trouvées pour plusieurs tours jusqu'à ce qu'un des paramètres initiaux soit atteint. L'annexe A présente un exemple de la méthode de génération des alternatives (Bourbonnais et al., 2019). Les paramètres initiaux sont introduits afin de limiter le nombre

[2] Les alternatives de transport en commun ont été générées par Pierre-Léo Bourbonnais (professionnel de recherche de la Chaire Mobilité de Polytechnique Montréal).

d'alternatives générées à un maximum de 50 et réduire le temps de calcul. Un temps maximal de marche de 15 minutes pour l'accès à l'origine ou à la destination est appliqué, calculé selon une vitesse de marche de 5 km/h, sans tenir compte des facteurs externes tels les caractéristiques individuelles, le dénivelé, la météo, etc. Tous les tronçons de marche et les temps de parcours de chacun des segments du déplacement sont calculés en Open Source Routing Machine (OSRM) à partir des données OpenStreetMap de Montréal (Bourbonnais et al., 2019). Un temps d'attente fixe de 3 minutes au premier arrêt est également appliqué à chaque alternative, sous l'hypothèse que les usagers vont ajuster leur heure de départ pour n'attendre que 3 minutes à l'arrêt de départ.

Cette méthode permet de générer un ensemble d'alternatives de transport en commun uniques pour chaque paire OD. Les variables obtenues à la suite du calcul sont la distance et la durée de chaque segment du trajet, le nombre de correspondances et la séquence des lignes empruntées. Enfin, les alternatives composées uniquement de segments de marche, donc sans utilisation du transport en commun, sont retirées par un processus de nettoyage. Tous les temps calculés par Transition n'ont pas d'impédance, ce sont les temps réels sur le réseau.

3.3.3 Calculateurs de chemin

Afin de pouvoir comparer les alternatives de transport en commun à celles d'autres modes tels l'automobile, le vélo et la marche, des calculateurs de trajets sont requis. Ceux-ci sont utilisés pour déterminer les temps et distances à pied, à vélo et en automobile pour chacune des paires OD étudiées.

Pour les temps en automobile sous congestion, les données des déplacements en taxi sont utilisées afin d'obtenir des vitesses sur les liens routiers. Les données GPS proviennent du registre des taxis de Montréal qui relève du Bureau du Taxi de Montréal (BTM). Les données de l'automne 2019 sont utilisées puisque le registre n'existait pas au moment de l'enquête Origine-Destination de 2018. À partir de celles-ci, les vitesses sur chaque lien sont mises à jour pour les 24 périodes horaires de la journée, pour les déplacements avec une durée minimale de 5 minutes. Cette méthode sert à corriger les vitesses de déplacement sur le réseau afin de tenir compte de la congestion routière. Un algorithme de « map matching » affecte les déplacements taxis sur le réseau routier OpenStreetMap à partir des séquences de points GPS consécutifs. La vitesse est alors obtenue à partir du temps de parcours de chaque passage taxi sur un lien routier. La limite de vitesse légale

est utilisée pour les liens sans observations. Une fois la vitesse avec congestion mise à jour pour chaque plage d'une heure, les déplacements autos sont générés avec des calculateurs OSRM (Open Source Routing Machine) sur le réseau OpenStreetMap. Pour obtenir les temps des déplacements actifs, le calculateur OSRM est également utilisé, avec une vitesse fixe de 5 km/h pour la marche et de 15 km/h pour le vélo.[3]

[3] Les temps et distances de parcours en automobile, à la marche et à vélo ont été calculés par Jean-Simon Bourdeau (professionnel de recherche de la Chaire Mobilité de Polytechnique Montréal).

CHAPITRE 4 SÉLECTION DU SOUS-ENSEMBLE DE PAIRES OD

Ce chapitre établit le processus de sélection du sous-ensemble de paires OD qui sera utilisé pour ce projet de recherche. On y présente la sélection des déplacements effectués en transport en commun unimodal extraits de l'enquête Origine-Destination de 2018, la génération des alternatives pour ces déplacements, le processus d'identification du trajet déclaré et la sélection finale de l'échantillon de paires OD et leurs alternatives TC associées. Enfin, un aperçu de la diversité d'alternatives est présenté, de même que la part de paires OD pour laquelle l'alternative la plus rapide est choisie par l'usager.

4.1 Déplacements en transport en commun unimodal

Comme mentionné précédemment, seuls les déplacements de l'enquête Origine-Destination 2018 pour lesquels le mode déclaré est le transport en commun unimodal (avec la marche comme mode d'accès) ont été retenus. L'enquête compte 368 982 déplacements observés (non pondérés). Parmi ceux-ci, 48 483 se sont faits en transport en commun unimodal. De ce sous-ensemble, les paires OD dont les coordonnées sont manquantes, identiques pour l'origine et la destination ou situées hors du territoire ont été retirées. Enfin, ont également été retirés les déplacements pour lesquels les lignes empruntées sont inconnues, puisqu'il est impossible de connaitre le trajet choisi avec certitude, et les lignes spéciales (ex : scolaire) puisqu'elles ne sont pas dans les GTFS. À la suite de ces filtres, le sous-ensemble comprend 47 671 déplacements. Le processus de sélection de ces paires OD est détaillé à l'annexe B.

4.2 Génération des alternatives

Les alternatives de transport en commun sont générées à partir de la plateforme Transition pour l'ensemble de ces déplacements. Au total, ce sont 707 707 alternatives qui sont trouvées pour 47 160 paires OD. Cela signifie qu'il y a 511 (1,07 %) paires OD pour lesquelles aucune alternative de transport en commun n'est trouvée selon les paramètres de calcul mentionnés à la section 3.3.2.

Les variables obtenues par le calculateur sont présentées dans le tableau 4.1. Elles comprennent un identifiant unique du déplacement, de même que le numéro ipere associé au déplacement déclaré à l'enquête Origine-Destination. On retrouve également l'ordre de génération des alternatives par l'algorithme pour chaque paire OD. Plusieurs variables en lien avec l'heure de départ et l'heure

d'arrivée sont présentes, notamment l'heure de départ déclarée à l'enquête, l'heure de départ de l'alternative (pouvant être différente vu la fenêtre temporelle de ± 15 minutes implantée comme paramètre de calcul), l'écart de temps par rapport à l'heure déclarée et l'heure d'arrivée pour chaque alternative. Les temps (en minutes et en secondes) et distances (en mètres) des différents segments de chaque alternative sont calculés. Le nombre de correspondances est également obtenu, de même que la séquence de modes et de lignes proposées pour chaque alternative. Les cases en gris dans le tableau représentent les variables qui sont identiques pour chaque alternative d'une même paire OD.

Les temps en minutes sont arrondis, ce sont donc les temps en secondes qui sont utilisés pour toutes les analyses de ce projet de recherche afin d'avoir un meilleur niveau de précision. De plus, il est important de noter que les temps des alternatives générées par Transition n'ont pas d'impédance. Ce sont donc les temps réels calculés sur le réseau, sans tenir compte de la valeur du temps ni des pénalités perçues par l'usager.

Tableau 4.1 Exemple de variables obtenues par Transition pour une paire OD ayant trois alternatives de transport en commun générées

Variables	**Alternative 1**	**Alternative 2**	**Alternative 3**
Uuid *(identificant unique du déplacement)*	5a56dc62-be36-4085-9c0a-d30f744c14af	5a56dc62-be36-4085-9c0a-d30f744c14af	5a56dc62-be36-4085-9c0a-d30f744c14af
internalId *(ipere à l'enquête OD)*	77	77	77
alternativeSequence *(ordre de génération des alternatives)*	1	2	3
departureTime *(heure de départ de l'alternative)*	16:47	16:49	16:49
departureTimeSeconds *(heure de départ de l'alternative en secondes)*	60397	60547	60565
arrivalTime *(heure d'arrivée)*	17:11	17:14	17:15
arrivalTimeSeconds *(heure d'arrivée en secondes)*	61883	62055	62086
initialDepartureTime *(heure de départ déclarée à l'enquête OD)*	16:45	16:45	16:45
initialDepartureTimeSeconds *(heure de départ déclarée à l'enquête OD en secondes)*	60300	60300	60300
initialLostTimeAtDepartureMinutes *(écart de temps en minutes par rapport à l'heure de départ déclarée)*	2	4	4
initialLostTimeAtDepartureSeconds *(écart de temps en secondes par rapport à l'heure de départ déclarée)*	97	247	265
totalTravelTimeMinutes *(temps total de déplacement en minutes)*	25	25	25

Tableau 4.1 Exemple de variables obtenues par Transition pour une paire OD ayant trois alternatives de transport en commun générées (suite)

Variables	**Alternative 1**	**Alternative 2**	**Alternative 3**
totalTravelTimeSeconds *(temps total de déplacement en secondes)*	1486	1508	1521
totalDistanceMeters *(distance totale en mètres)*	3079	3955	2773
totalInVehicleTimeMinutes *(temps à bord en minutes)*	3	10	12
totalInVehicleTimeSeconds *(temps à bord en secondes)*	155	626	701
totalInVehicleDistanceMeters *(distance à bord en mètres)*	1556	3298	2010
totalNonTransitTravelTimeMinutes *(temps hors du véhicule en minutes : marche et attente)*	19	8	11
totalNonTransitTravelTimeSeconds *(temps hors du véhicule en secondes : marche et attente)*	1151	483	640
totalNonTransitDistanceMeters *(distance hors du véhicule en mètres: marche)*	1523	657	763
numberOfBoardings *(nombre d'embarquements)*	1	2	1
numberOfTransfers *(nombre de correspondances)*	0	1	0
transferWalkingTimeMinutes *(temps de marche aux correspondances en minutes)*	0	0	0
transferWalkingTimeSeconds *(temps de marche aux correspondances en secondes)*	0	0	0
transferWalkingDistanceMeters *(distance de marche aux correspondances)*	0	0	0
accessTravelTimeMinutes *(temps d'accès au premier arrêt en minutes)*	15	4	3
accessTravelTimeSeconds *(temps d'accès au premier arrêt en secondes)*	888	220	174
accessDistanceMeters *(distance d'accès au premier arrêt)*	1165	299	182
egressTravelTimeMinutes *(temps d'accès à la destination en minutes)*	4	4	8
egressTravelTimeSeconds *(temps d'accès à la destination en secondes)*	263	263	466
egressDistanceMeters *(distance d'accès à la destination en mètres)*	358	358	581
transferWaitingTimeMinutes *(temps d'attente aux correspondances en minutes)*	0	4	0
transferWaitingTimeSeconds *(temps d'attente aux correspondances en secondes)*	0	219	0
firstWaitingTimeMinutes *(temps d'attente au premier arrêt de minutes)*	3	3	3
firstWaitingTimeSeconds *(temps d'attente au premier arrêt en secondes)*	180	180	180
totalWaitingTimeMinutes *(temps d'attente total en minutes)*	3	7	3
totalWaitingTimeSeconds *(temps d'attente total en secondes)*	180	399	180
originLat *(latitude à l'origine)*	45.52444	45.52444	45.52444
originLon *(longitude à l'origine)*	-73.5999	-73.5999	-73.5999
destinationLat *(latitude à la destination)*	45.53928	45.53928	45.53928
destinationLon *(longitude à la destination)*	-73.6162	-73.6162	-73.6162

Tableau 4.1 Exemple de variables obtenues par Transition pour une paire OD ayant trois alternatives de transport en commun générées (suite)

Variables	**Alternative 1**	**Alternative 2**	**Alternative 3**
lineUuids *(identifiants uniques des lignes empruntées)*	dc0e0d95-17a3-4caa-aaf9-0b0f5a8fd70a	d72b9027-21f8-420c-a950-4c0036426802|4c76ac86-000e-4b10-aa1b-69950a5426df	bcae2215-341d-4850-aee8-b37c6b4e1aee
Modes *(séquence des modes empruntés)*	metro	bus|metro	bus
stepsSummary *(temps et distance de chaque segment)*	access888s1165m|wait180s|ride155s1556m|egress263s358m	access220s299m|wait180s|ride493s2031m|transfer0s0m|wait219s|ride133s1267m|egress263s358m	access174s182m|wait180s|ride701s2010m|egress466s581m

4.3 Identification du trajet déclaré

Une fois les alternatives générées pour les déplacements TC unimodaux, on cherche à identifier laquelle correspond au trajet déclaré dans l'enquête Origine-Destination de 2018 pour chaque déplacement. Pour ce faire, il faut, au préalable, convertir les numéros de ligne pour obtenir un identifiant comparable. En effet, les lignes générées par Transition ont un identifiant unique associé à un numéro de ligne GTFS alors que les numéros de ligne de l'enquête OD sont en numérotation MADITUC. L'identifiant unique de ligne (uuid) obtenu par Transition est tout d'abord associé à un identifiant unique d'agence. Ensuite, selon l'agence, le numéro GTFS et un dictionnaire de conversion, il est possible d'obtenir l'équivalence en numérotation MADITUC selon la méthode illustrée à la figure 4.1.

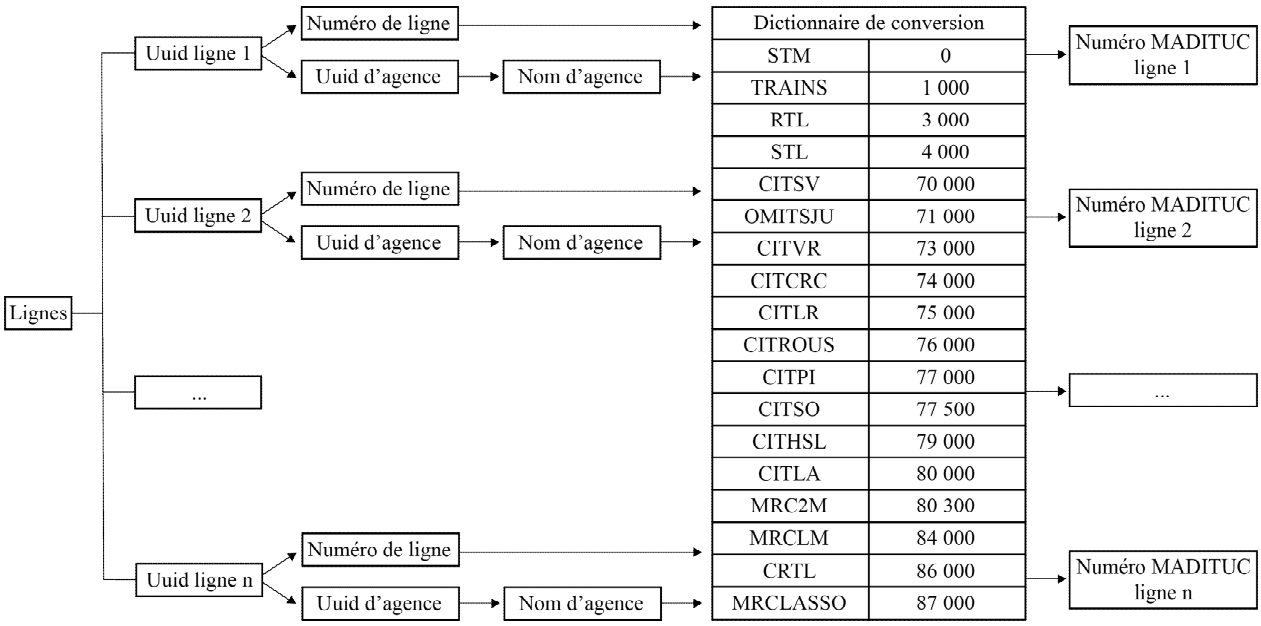

Figure 4.1 Méthode de conversion de numéro de ligne

Lors du processus de conversion, les alternatives générées par Transition proposant des lignes dont l'identifiant n'a pas d'équivalence MADITUC sont retirées. Celles-ci sont surtout les lignes spéciales et les taxis collectifs. De ce fait, il reste désormais 696 503 alternatives pour 47 125 paires OD. Cette étape a donc retiré des paires OD, leurs seules alternatives disponibles ayant été supprimées, portant le nombre de paires OD sans alternative de transport en commun à 546.

Le processus d'identification du trajet déclaré est présenté à la figure 4.2. Pour chaque alternative proposée, le nombre de lignes empruntées est comparé à celui du trajet déclaré. Ensuite, si le nombre de lignes empruntées est identique, on regarde si la première ligne proposée est la même que la première ligne déclarée. On procède ainsi pour chaque ligne subséquente jusqu'à avoir vérifié chacune des lignes. L'alternative choisie correspond à celle ayant la même combinaison de lignes que le trajet déclaré dans l'enquête OD.

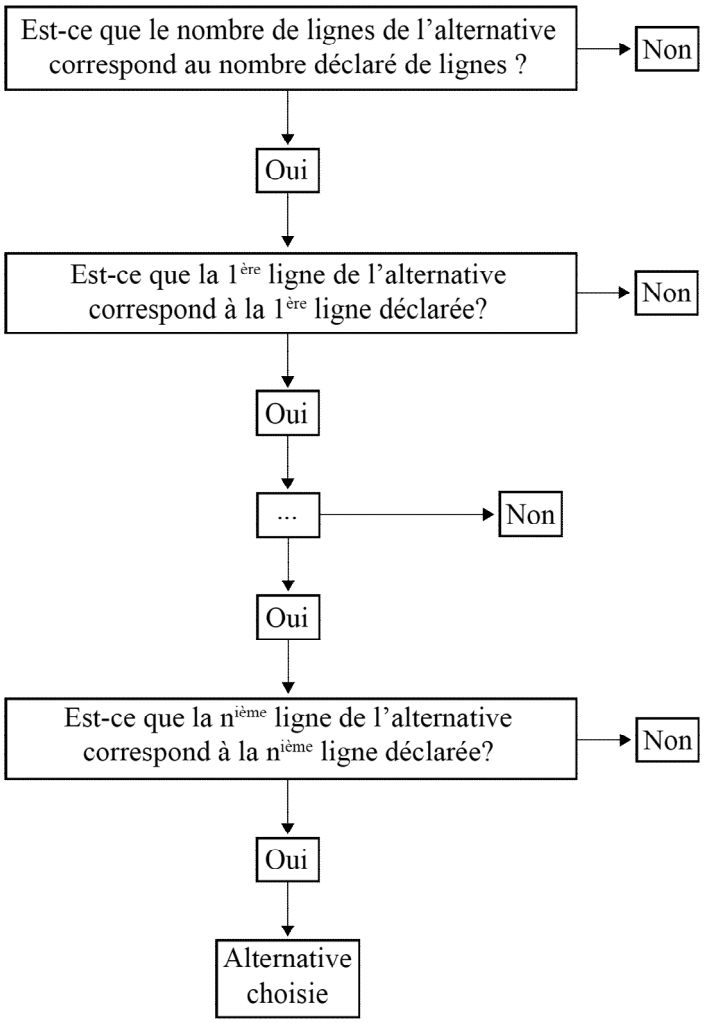

Figure 4.2 Identification de l'alternative choisie

À la suite de la conversion, il est possible de comparer le trajet déclaré à l'ensemble des alternatives générées pour chaque paire OD afin d'identifier l'alternative correspondante. L'alternative choisie a été identifiée pour 33 678 paires OD, soit pour 70,7 % des déplacements déclarés en transport en commun unimodal à l'enquête Origine-Destination de 2018. Pour celles-ci, 441 873 alternatives ont été générées.

Puisque le trajet déclaré n'a pas été identifié parmi les alternatives générées pour la totalité des paires OD, trois échantillons de données sont créés. Leur processus de composition est présenté à la figure 4.3.

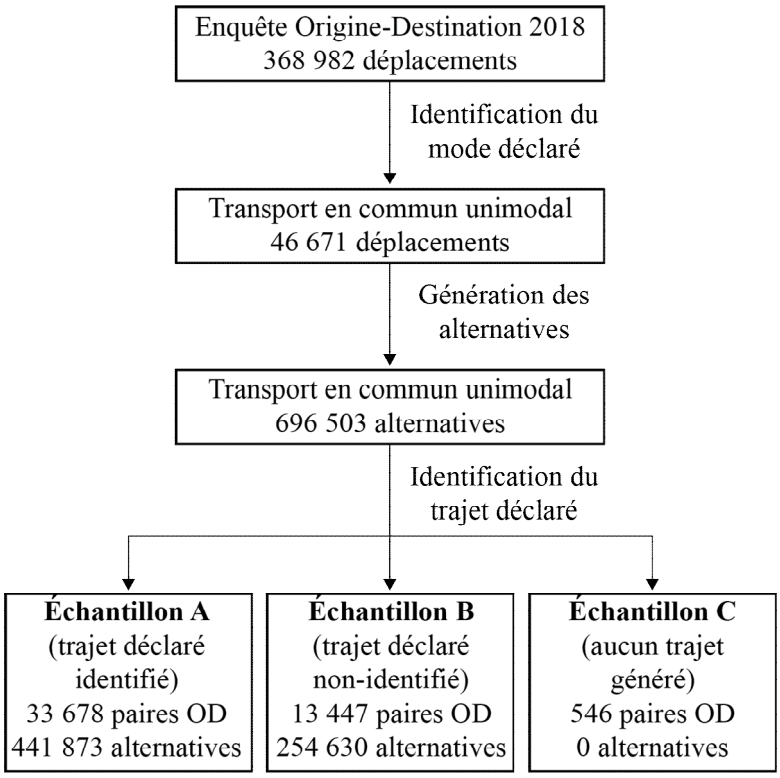

Figure 4.3 Processus de composition des échantillons de déplacements

La figure 4.4 illustre la part des paires OD pour lesquelles le trajet déclaré a été identifié (échantillon A), la part des paires OD pour lesquelles le trajet déclaré n'a pas été identifié parmi les alternatives générées (échantillon B) et la part des paires OD pour lesquelles aucune alternative n'a été générée (échantillon C). L'échantillon A possède la plus grande proportion, avec un total de 33 678 paires OD. L'échantillon B contient 13 447 paires OD et il y a 546 paires OD pour lesquelles aucune alternative n'a été générée (échantillon C).

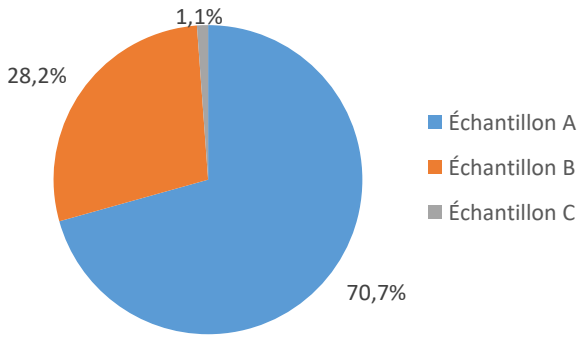

Figure 4.4 Répartition des paires OD selon l'échantillon

4.4 Comparaison des échantillons

Bien qu'elles puissent être nombreuses, l'objectif de ce mémoire n'est pas d'identifier les sources d'erreur provenant du calculateur de trajets de transport en commun ou de paramètres de calcul trop restrictifs, de la déclaration dans l'enquête, ni de la méthode conversion de numéros de lignes. Toutefois, il est pertinent d'effectuer une analyse comparative des trois échantillons pour des travaux futurs.

4.4.1 Caractéristiques des individus selon l'échantillon

Tout d'abord, afin de vérifier le potentiel biais du répondant de l'enquête OD, la part de répondants directs et indirects pour chacun des échantillons est présentée à la figure 4.5. Pour l'échantillon A, soit les paires OD pour lesquelles le trajet déclaré a été identifié parmi les alternatives générées, 49,0 % sont des répondants directs. Cette proportion est plus élevée pour l'échantillon B (dont le trajet déclaré n'a pas été identifié) avec 53,5 % de répondants directs et pour l'échantillon C (dont aucune alternative n'a été générée) avec 65,6 % de répondants directs. Cela signifie que le biais du répondant lié à l'enquête Origine-Destination ne semble pas nuire à l'identification du trajet déclaré, la majorité étant des répondants directs pour les échantillons B et C.

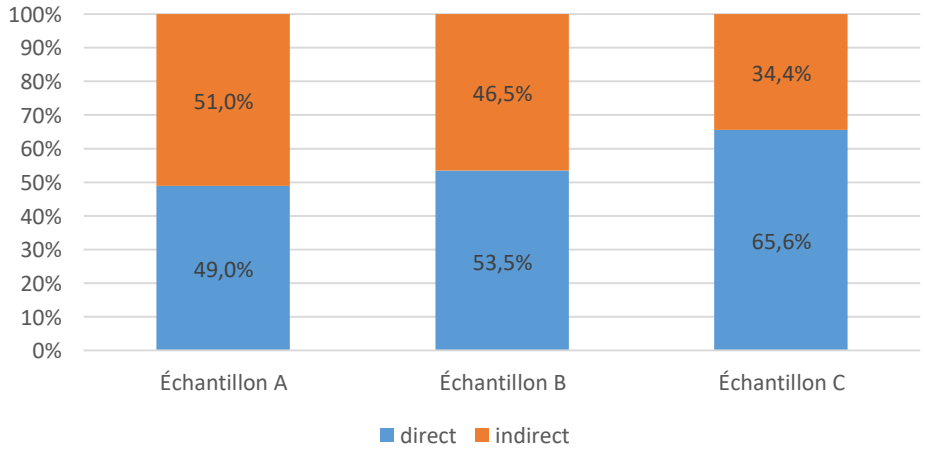

Figure 4.5 Part de répondants directs ou indirects selon l'échantillon

Le tableau 4.2 présente la part de paires OD par échantillon selon les caractéristiques de l'individu. On remarque que la proportion de femmes est plus élevée dans les échantillons A et B que dans l'échantillon C. De plus, dans l'échantillon C (paires OD pour lesquelles aucune alternative n'a été générée par l'algorithme de calcul), les cohortes des 15 à 19 ans et 20 à 24 ans représentent la plus forte proportion des observations, soit 26,9 % et 19,4 % respectivement, ce qui est nettement supérieur aux proportions observées pour ces groupes dans les deux autres échantillons. Par ailleurs, le statut étudiant est celui avec la plus forte proportion de paires OD pour lesquelles aucune alternative n'est générée, tandis que pour les échantillons A et B ce sont les déplacements à motif travail qui sont plus nombreux.

Tableau 4.2 Distribution des paires OD par échantillon selon les caractéristiques des individus

	Échantillon A		Échantillon B		Échantillon C	
Sexe						
Homme	15 206	45,2 %	6 137	45,6 %	281	51,5 %
Femme	18 472	54,8 %	7 310	54,4 %	265	48,5 %
Cohorte						
Moins de 15 ans	2 016	6,0 %	818	6,1 %	14	2,3 %
15 à 19 ans	4 525	13,4 %	2 086	15,5 %	147	26,9 %
20 à 24 ans	3 922	11,7 %	1 685	12,5 %	106	19,4 %
25 à 29 ans	2 940	8,7 %	956	7,1 %	42	7,7 %
30 à 34 ans	2 926	8,7 %	908	6,8 %	29	5,3 %
35 à 39 ans	2 866	8,5 %	937	7,0 %	34	6,2 %
40 à 44 ans	2 600	7,7 %	1 120	8,3 %	33	6,0 %
45 à 49 ans	2 052	6,1 %	846	6,3 %	26	4,8 %
50 à 54 ans	2 336	6,9 %	971	7,2 %	21	3,8 %
55 à 59 ans	2 197	6,5 %	892	6,6 %	31	5,7 %
60 à 64 ans	1 955	5,8 %	818	6,1 %	27	5,0 %
65 à 69 ans	1 295	3,9 %	532	4,0 %	10	1,8 %
70 à 74 ans	1 028	3,1 %	431	3,2 %	14	2,6 %
75 ans et plus	1 020	3,0 %	447	3,3 %	12	2,2 %
Statut						
Travailleur à temps complet	15 659	46,5 %	6 038	44,9 %	224	41,0 %
Travailleur à temps partiel	1 875	5,6 %	680	5,1 %	25	4,6 %
Étudiant	11 581	34,4 %	4 872	36,2 %	244	44,7 %
Retraité	3 458	10,3 %	1 459	10,9 %	38	7,0 %
Autre	1 105	3,3 %	398	3,0 %	15	2,7 %

4.4.2 Caractéristiques des déplacements selon l'échantillon

La distribution des paires OD par échantillon selon les caractéristiques du déplacement est présentée par le tableau 4.3. Les retours au domicile représentent la plus grande proportion des motifs de déplacement, puis la répartition des déplacements par motif est similaire pour les trois échantillons. Pour les heures de départ, les deux périodes de pointe (6h00 à 8h59 et 15h30 à 18h29) ont la plus forte proportion pour les trois échantillons. Toutefois, elle est légèrement plus faible pour l'échantillon C, soit les paires OD dont aucune alternative n'a été générée par Transition. En effet, il y a près de 10 % de moins d'observations en période de pointe pour ces paires OD. Cela s'explique par les déplacements en soirée (18h30 à 23h59) qui ont une proportion de 15,2 % de même que les déplacements de nuit (minuit à 5h59) avec 11,0 %.

Tableau 4.3 Distribution des paires OD par échantillon selon les caractéristiques du déplacement

	Échantillon A		Échantillon B		Échantillon C	
Motif						
Travail	8 205	24,4 %	3 124	23,2 %	141	25,8 %
Étude	5 190	15,4 %	2 041	15,2 %	102	18,7 %
Retour au domicile	14 781	43,9 %	6 427	47,8 %	257	47,1 %
Loisir	2 203	6,5 %	736	5,5 %	23	4,2 %
Magasinage	1 556	4,6 %	488	3,6 %	12	2,2 %
Autre	1 743	5,2 %	631	4,7 %	11	2,0 %
Heure de départ						
Minuit à 5h59	330	1,0 %	270	2,0 %	60	11,0 %
6h00 à 8h59	10 170	30,2 %	3 836	28,5 %	117	21,4 %
9h00 à 11h59	3 728	11,1 %	1 444	10,7 %	76	13,9 %
Midi à 15h29	5 281	15,7 %	2 191	16,3 %	86	15,8 %
15h30 à 18h29	10 670	31,7 %	4 212	31,3 %	112	20,5 %
18h30 à 23h59	3 349	9,9 %	1 376	10,2 %	83	15,2 %

En fait, pour les heures de départ entre 1h00 et 4h59, le trajet déclaré est identifié parmi les alternatives générées pour moins de la moitié des paires OD (figure 4.6). Entre 3h00 et 4h59, environ le tiers des paires OD n'ont aucune alternative générée. La plus grande proportion de paires OD dont le trajet déclaré est identifié est entre 8h00 et 8h59 avec 76 %. Lorsqu'on exclut les retours au domicile (figure 4.7), la proportion de paires OD pour lesquelles aucune alternative n'est générée (échantillon C) augmente considérablement, représentant 100 % entre 3h00 et 3h59.

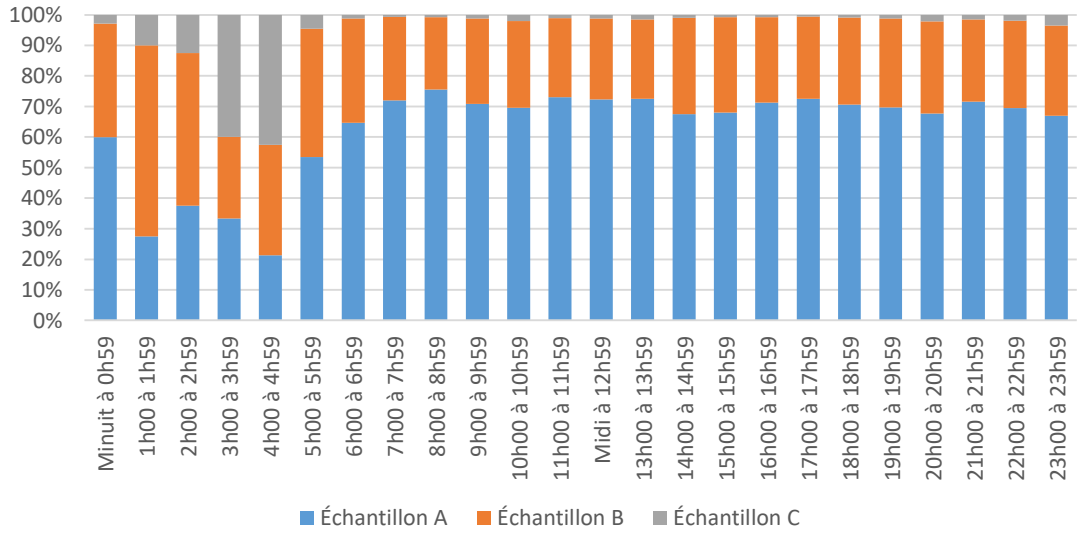

Figure 4.6 Part des paires OD par échantillon selon l'heure de départ, tous motifs

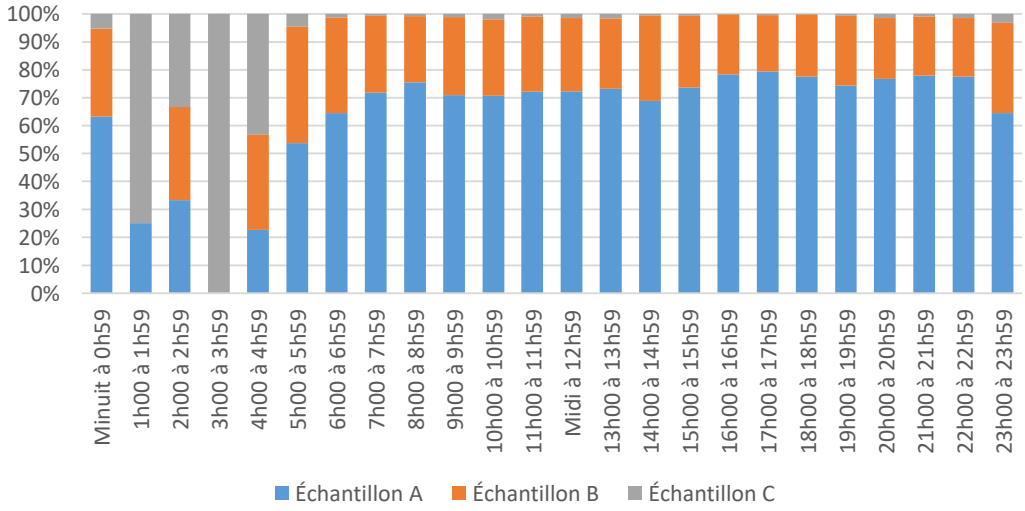

Figure 4.7 Part des paires OD par échantillon selon l'heure de départ, excluant les retours au domicile

Afin d'analyser la distribution spatiale par échantillon, des ellipses de dispersion ont été calculées. Elles servent à mesurer la tendance d'un ensemble de points. Les ellipses de dispersion ont été calculées dans QGIS à l'aide du plugin Standard Deviational Ellipse selon la méthode CrimeStat. Cette méthode est basée sur les travaux de Robert Yuill avec l'ajout de corrections pour les degrés

de liberté et avec la racine carrée (Håvard Tveite, 2020). L'outil *Standard Deviational Ellipse* crée un polygone elliptique à partir du centre moyen des origines ou des destinations pour chacun des trois échantillons. Les axes sont déterminés par l'écart-type des coordonnées x et y à partir du centre moyen.

Tel qu'illustré à la figure 4.8, la taille de l'ellipse est significativement plus grande pour l'échantillon C, soit les paires OD pour lesquelles aucune alternative de transport en commun n'a été générée par le calculateur. Les origines et destinations sont également plus éparpillées sur le territoire d'étude. Pour l'échantillon A, soit les paires OD dont le trajet déclaré a été identifié parmi le sous-ensemble d'alternatives, l'ellipse de dispersion est la plus petite, autant pour les lieux d'origine que les lieux de destination. Aussi pour l'échantillon A, la principale concentration des coordonnées géographiques se situe sur l'île de Montréal et en périphérie rapprochée. Pareillement pour l'échantillon B.

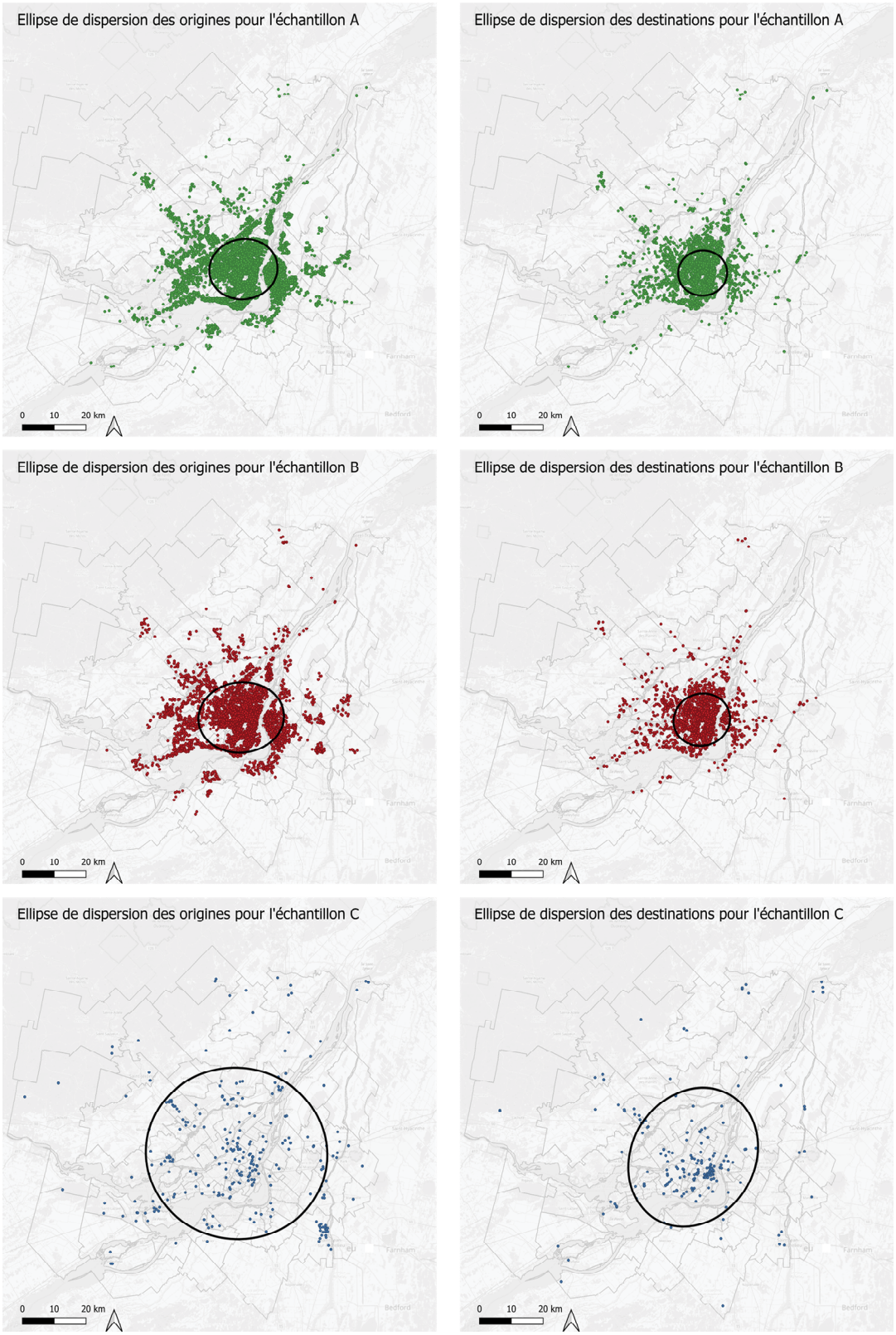

Figure 4.8 Ellipses de dispersion des origines ou destinations par échantillon (excluant les retours au domicile)

La figure 4.9 présente la proportion de paires OD pour lesquelles le trajet déclaré est identifié, par secteur d'origine ou de destination, excluant les retours au domicile[4]. Les secteurs municipaux pour lesquels moins de 30 déplacements ont été observés sont laissés en gris sur les cartes. On remarque que les secteurs périphériques de la couronne nord et sud n'ont pas assez de déplacements observés dans l'enquête OD de 2018 pour déterminer la proportion de trajets déclarés ayant été identifiés parmi les alternatives de transport en commun générées par Transition.

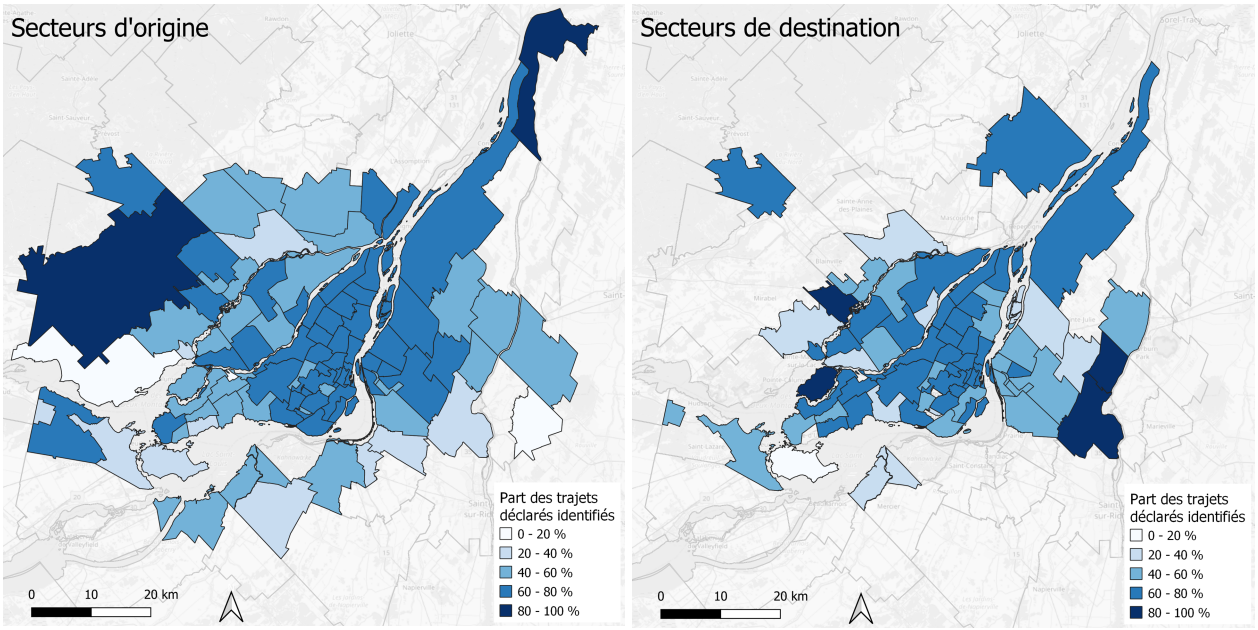

Figure 4.9 Part de trajets déclarés identifiés par secteur d'origine ou de destination (excluant les retours au domicile)

Pour les origines, la plus forte proportion de déplacements dont l'alternative déclarée a été identifiée est dans les secteurs 533 (St-Joseph-de-Sorel, St-Roch-de-Richelieu, Sorel-Tracy) et 651 (Mirabel), soit de 83,6 % et 85,5 % respectivement. Les plus faibles proportions se situent dans les secteurs 633 (Pointe-Calumet, Saint-Joseph-du-Lac, Oka, Sainte-Marthe-sur-le-Lac, Saint-Placide) avec 19,9 %, 133 (Montréal : Roxboro) avec 16,6 % et 502 (Marieville) avec 15,9 %. Sur l'île de Montréal, la proportion des trajets déclarés identifiés se situe entre 60 et 80 % pour la plupart des secteurs du centre et de l'Est, à l'exception de 120 (Mont-Royal), 122 (Westmount) et

[4] Les secteurs municipaux de l'enquête Origine-Destination de 2018 sont présentés à l'annexe D.

125 (Montréal-Ouest) qui se situent tout juste sous la barre des 60 %. Dans l'Ouest, les proportions se situent plutôt entre 40 et 60 %, sauf pour 144 (Sainte-Anne-de-Bellevue, Senneville) avec 67,8 % et 138 (Beaconsfield) avec 28,4 %.

Pour les destinations, excluant les retours au domicile, on retrouve les plus fortes proportions dans les secteurs 134 (Montréal : L'Île-Bizard) avec 84,0 %, 521 (Carignan, Chambly) avec 86,2 % et 641 (Boisbriand) avec 92,3 %. Le secteur 522 (Saint-Basile-le-Grand) atteint même 100 % de paires OD dont le trajet déclaré est identifié parmi les alternatives générées par Transition. La plus faible proportion se situe dans le secteur 572 (Notre-Dame-de-l'Île-Perrot, Pincourt, Terrasse-Vaudreuil, L'ile Perrot) avec 19,4 %. Sur l'île de Montréal, la majorité des secteurs affichent une proportion entre 60 et 80 %. Ceux avec une proportion plus faible variant de 40 à 60 % sont 103 (Montréal : Sud-Ouest), 112 (Montréal : Mercier), 115 (Montréal-Est), 120 (Mont-Royal), 124 (Côte-Saint-Luc), 128 (Montréal : LaSalle), 135 (Montréal : Sainte-Geneviève), 137 (Kirkland) et 144 (Sainte-Anne-de-Bellevue, Senneville). Deux secteurs ont des proportions encore plus faibles, soit 130 (Dorval, L'Île-Dorval) avec 30,6 % et 125 (Montréal-Ouest) avec 34,1 %.

Afin de comprendre ces différences, les trajets déclarés à l'enquête Origine-Destination sont regardés plus en détail. La figure 4.10 présente la part des paires OD par échantillon selon le nombre de lignes déclarées. On observe une relation inverse entre le nombre de lignes déclarées et la proportion de paires OD dont le trajet déclaré est identifié parmi le sous-ensemble d'alternatives de transport en commun. Les trajets directs, n'empruntant qu'une seule ligne, sont identifiés à 70,6 % tandis que les trajets avec 4 correspondances (5 lignes) ne sont identifiés qu'à 18,8%.

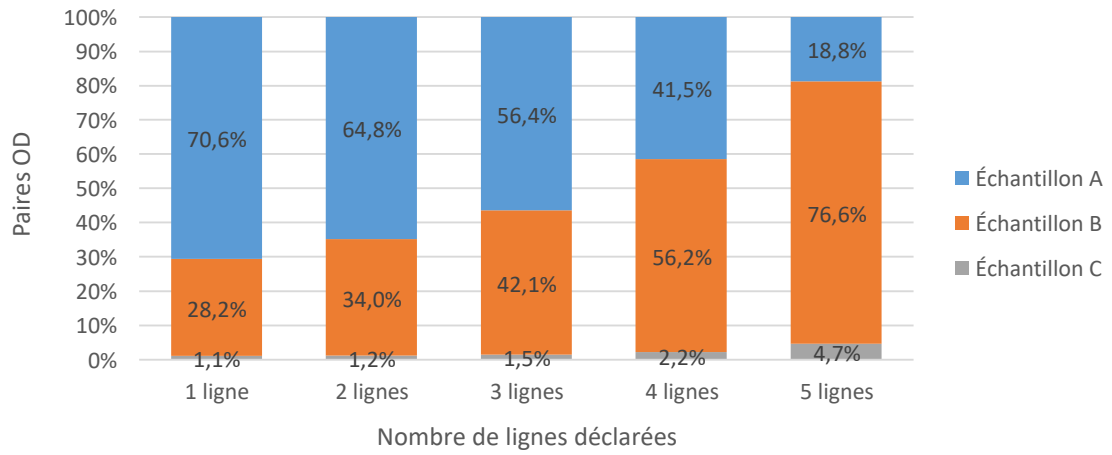

Figure 4.10 Part des paires OD par échantillon selon le nombre de lignes déclarées dans l'enquête Origine-Destination

Les modes déclarés ont également une incidence sur la part de paires OD dont le trajet déclaré a été identifié par Transition. Les paires OD qui empruntent uniquement le métro ou le bus ont une plus forte proportion de trajets déclarés identifiés. La proportion de trajets déclarés identifiés pour les déplacements à usage unique du métro est de 81,3% et celle du bus 70,8 %. Pour la combinaison du métro et du bus, cette proportion est légèrement plus faible, se situant à 66,3 %. Le train est le mode avec la plus faible proportion de trajets déclarés identifiés, soit 37,3 %. Cette proportion augmente lorsque l'usage du train est combiné avec un autre mode, soit le métro (50,5 %), le bus (48,5 %) ou les deux (52,9 %).

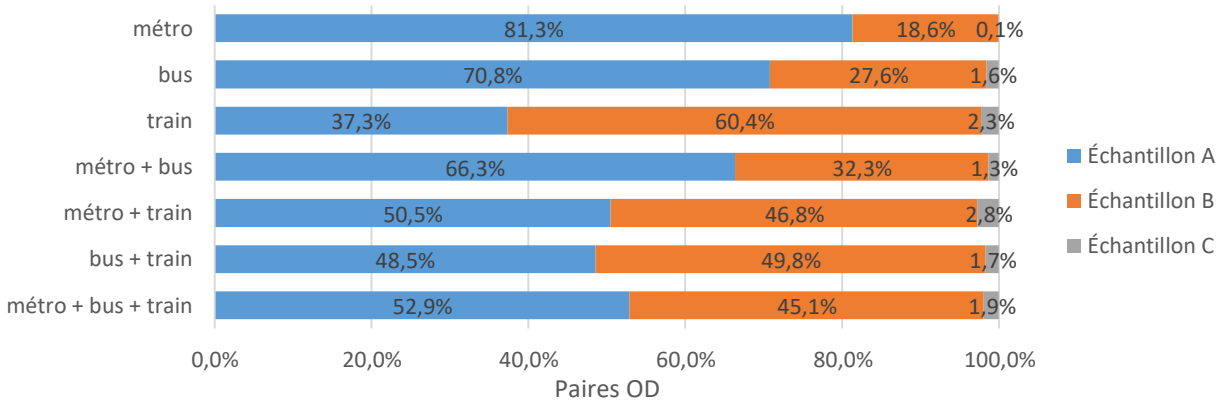

Figure 4.11 Part des paires OD par échantillon selon la combinaison des modes déclarés

Dans le cas du métro, pour les combinaisons de lignes avec au moins 30 observations, la ligne bleue est celle avec la plus forte proportion de trajets déclarés identifiés par le calculateur (90,5 %) et la ligne jaune la plus faible (47,4 %).

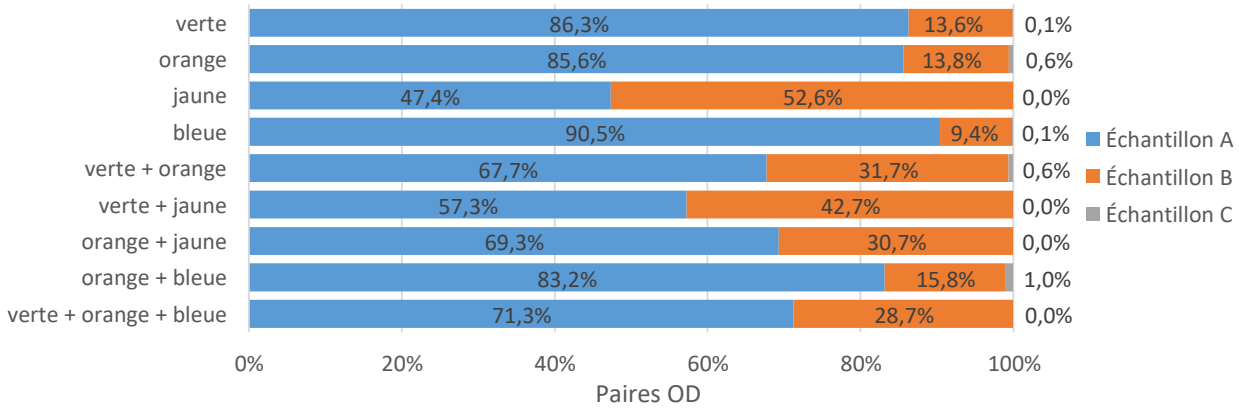

Figure 4.12 Part des paires OD par échantillon selon les lignes de métro déclarées dans l'enquête Origine-Destination

Pour le train, le taux d'identification du trajet déclaré parmi les alternatives générées par Transition est inférieur à 50 % pour chacune des lignes. Celle ayant la plus forte proportion de paires OD dont le trajet déclaré a été identifié est la ligne de Deux-Montagnes (41,6 %) et celle ayant la plus faible proportion est la ligne de Mascouche (24,7 %).

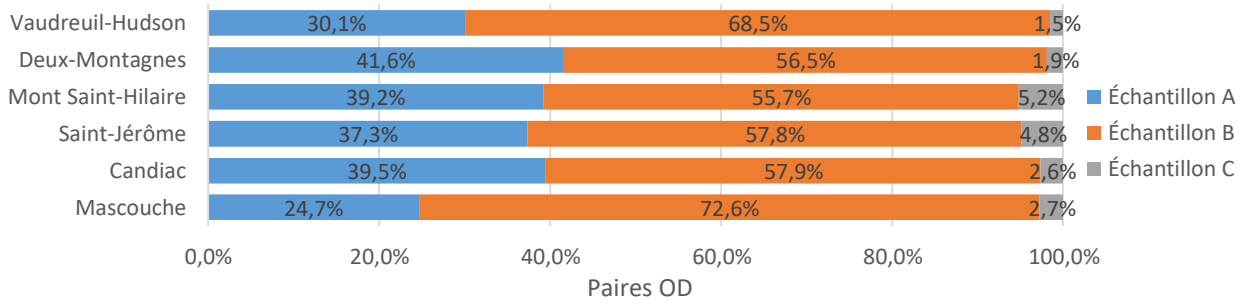

Figure 4.13 Part des paires OD par échantillon selon la ligne de train déclarée dans l'enquête Origine-Destination

Lorsqu'on regarde plus spécifiquement les agences empruntées pour lesquelles il y a au moins 30 déplacements observés parmi le sous-ensemble (figure 4.14), la part de paires OD avec la plus grande proportion de trajets déclarés identifiés est la STM individuellement (75,2 %), c'est-à-dire pour les déplacements qui n'empruntent que des lignes de la STM (métro et/ou autobus). L'usage seul de la STL et du RTL présente des proportions de 66,0 % et 63,4 % respectivement. Pour les autres agences, les plus faibles proportions de trajets déclarés identifiés sont pour le CRTL (27,3 %), le CITCRC (28,2 %), OMITSJU (32,4 %), le CITLR (38,9 %).

Pour les combinaisons d'agences, la part de paires OD dont le trajet déclaré est identifié diminue lorsque l'usage de la STM est combiné à celui d'une autre agence, par exemple la STL (70,8 %) ou le RTL (65,6 %). Cette proportion est la plus faible lorsque l'usage de la STM est combiné à celui de la MRCLM (36,4 %). Lorsque le train est combiné à une autre agence, la part de paires OD de l'échantillon A augmente, soit à 49,7 % combiné avec la STM, 43,6 % avec le RTL, 40,4 % avec la STL et 68,4 % avec la STM et la STL. De plus, pour les déplacements combinant TRAINS, STM et CITLA, cette proportion est aussi élevée que 73,4 %.

Pour l'échantillon C, soit les paires OD pour lesquelles aucune alternative n'a été générée par Transition, la part la plus élevée est associée aux agences suivantes : CITCRC (9,7 %), CITPI (16,0 %), CITSO (9,6 %), CITSV (10 %), CRTL (29,5 %), MRCLM (11,0 %), STM + CITSO (10,7 %), STM + CITVR (10,2 %), STM + MRCLASSO (9,6 %), STM + OMITSJU (11,4 %).

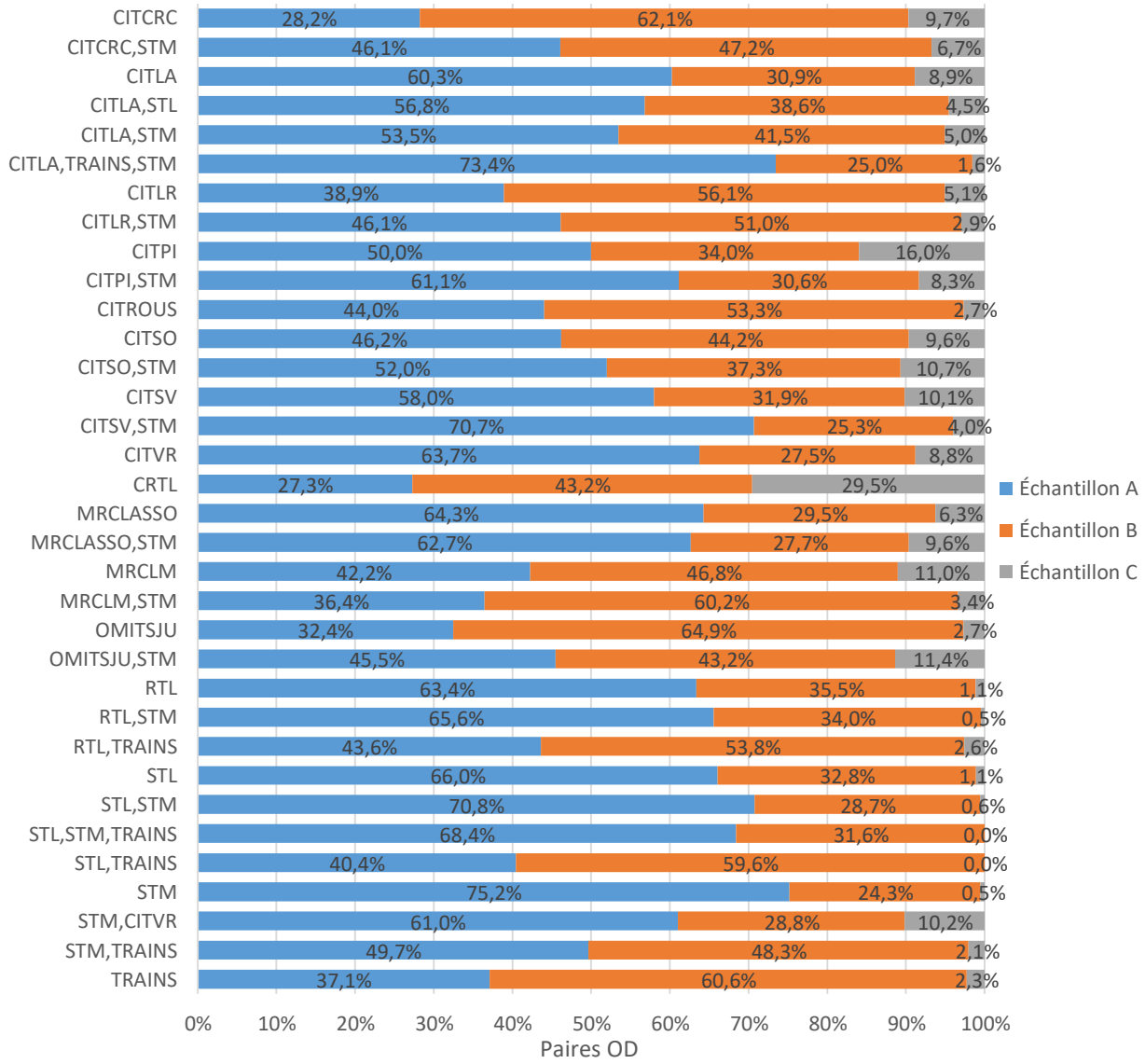

Figure 4.14 Part des paires OD par échantillon selon l'agence déclarée dans l'enquête OD

Le sous-ensemble sélectionné pour ce projet de recherche correspond aux déplacements déclarés en transport en commun unimodal dans l'enquête Origine-Destination de 2018 pour lesquels l'alternative choisie a été générée par l'algorithme de Transition (Échantillon A). Ce sous-ensemble comprend 33 678 observations. Les paires OD pour lesquelles le trajet déclaré n'a pas été généré et celles sans aucune alternative sont donc retirées du sous-ensemble pour la suite des analyses. Dans le futur, il faudrait mettre à l'épreuve un plus grand échantillon afin d'analyser davantage de déplacements de transport en commun.

4.5 Diversité d'alternatives de transport en commun

Tel que mentionné à la section 0, un total de 441 873 alternatives sont générées pour 33 678 paires OD observées dans l'enquête Origine-Destination. Le nombre moyen d'alternatives par paire OD est de 13,12 et la médiane se situe à 7 alternatives par paire OD. Dû aux paramètres initiaux du calculateur, le nombre maximal d'alternatives générées est de 50 par paire OD. Vu le sous-ensemble de paires OD utilisé, 100 % des paires OD ont accès à au moins une alternative de transport en commun, soit celle qui correspond au trajet déclaré dans l'enquête OD. Cependant, ce ne sont pas toutes les paires OD qui ont un plan B, c'est-à-dire accès à une seconde alternative pour effectuer ledit déplacement. En effet, la figure 4.15 illustre la distribution des déplacements selon le nombre d'alternatives TC disponibles. On remarque que 14,4 % des paires OD n'ont pas de plan B. Cela signifie qu'une seule alternative est disponible pour ces paires OD.

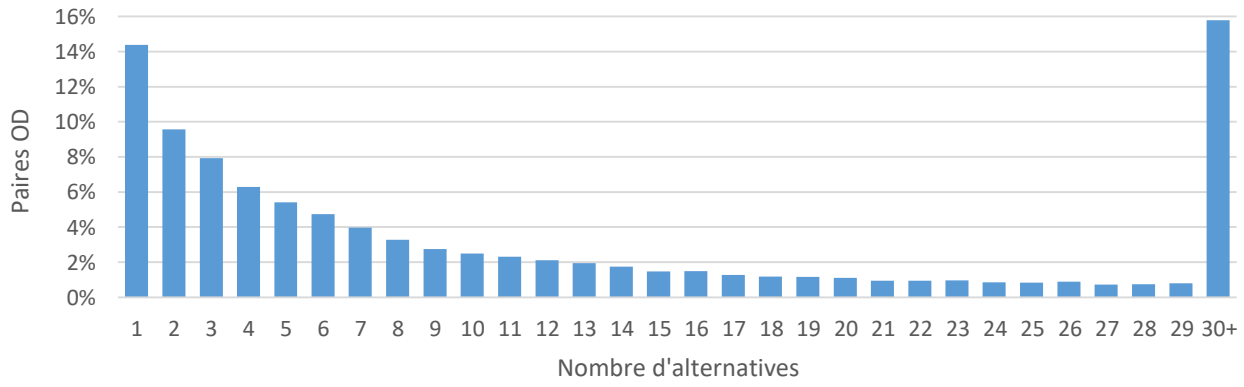

Figure 4.15 Distribution des paires OD selon le nombre d'alternatives de transport en commun

Cependant, tel qu'émis comme hypothèse, ces alternatives n'ont pas toutes le même niveau de qualité. Ainsi, bien que la diversité d'alternatives de transport en commun par paire OD semble élevée dans l'échantillon étudié, certaines alternatives sont meilleures que d'autres. D'ailleurs, plusieurs d'entre elles n'ont pas une qualité équivalente à l'alternative la plus rapide, celle-ci correspondant au trajet avec le plus faible temps de parcours réel, sans tenir compte de la valeur du temps perçu par l'usager. Sachant cela, restent-elles des alternatives intéressantes pour l'usager? Aussi, est-ce pertinent d'avoir plusieurs alternatives de qualité si l'usager choisit toujours l'alternative la plus rapide?

4.6 Alternative choisie

L'alternative choisie correspond au trajet déclaré dans l'enquête Origine-Destination. Parmi les 33 678 paires OD retenues dans l'échantillon, 4842 (14,4 %) d'entre elles n'ont qu'une seule alternative de transport en commun disponible. Cette seule alternative correspond donc inévitablement à l'alternative choisie. L'alternative la plus rapide, quant à elle, correspond à celle dont le temps de parcours non généralisé est le plus court. Dans le cas des 28 836 (85,6 %) paires OD pour lesquelles il existe un plan B, c'est-à-dire au moins 2 alternatives de TC, l'alternative la plus rapide a été choisie dans seulement 53,5 % des cas. Cela signifie que l'usager ne décide pas toujours d'emprunter l'alternative avec un temps total de parcours moindre.

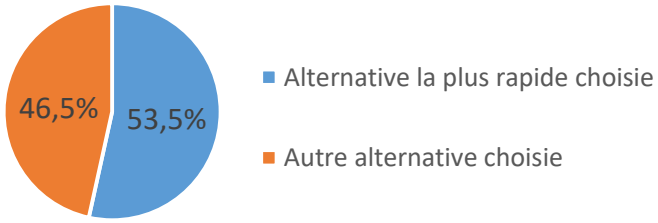

Figure 4.16 Répartition des paires OD avec un plan B selon l'alternative choisie

Considérant que les données de trajet déclaré issues de l'enquête Origine-Destination montrent que les usagers du transport en commun ne choisissent pas tous l'alternative la plus rapide pour leurs déplacements, les caractéristiques de l'individu et du déplacement sont analysées afin de comprendre les facteurs d'influence du choix d'alternative. Le tableau 4.4 présente la distribution des paires OD par genre, cohorte, statut, revenu du ménage, motif de déplacement et heure de départ selon l'alternative choisie. Ces distributions ne mettent pas en évidence de différence significative pouvant expliquer le choix d'alternative. La plus rapide est choisie en majorité, tout juste au-dessus des 50 %.

Tableau 4.4 Choix d'alternative selon les caractéristiques de l'individu et du déplacement

	La plus rapide choisie		Autre alternative choisie	
Caractéristiques de l'individu				
Sexe				
Homme	6953	53.4 %	6078	46.6 %
Femme	8464	53.6 %	7341	46.4 %
Cohorte				
Moins de 15 ans	945	54.8 %	778	45.2 %
15 à 19 ans	1966	50.6 %	1921	49.4 %
20 à 24 ans	1845	53.2 %	1623	46.8 %
25 à 29 ans	1364	54.3 %	1150	45.7 %
30 à 34 ans	1372	56.0 %	1080	44.0 %
35 à 39 ans	1322	54.7 %	1093	45.3 %
40 à 44 ans	1196	53.3 %	1046	46.7 %
45 à 49 ans	911	52.2 %	834	47.8 %
50 à 54 ans	1052	52.0 %	972	48.0 %
55 à 59 ans	979	51.8 %	912	48.2 %
60 à 64 ans	926	55.2 %	751	44.8 %
65 à 69 ans	584	54.5 %	488	45.5 %
70 à 74 ans	482	56.6 %	370	43.4 %
75 ans et plus	473	54.1 %	401	45.9 %
Statut				
Travailleur à temps complet	7102	53.1 %	6263	46.9 %
Travailleur à temps partiel	900	57.5 %	666	42.5 %
Étudiant	5311	52.8 %	4750	47.2 %
Retraité	1588	55.3 %	1284	44.7 %
Autre	516	53.1 %	456	46.9 %
Caractéristiques du déplacement				
Motif				
Travail	3701	52.6 %	3336	47.4 %
Étude	2471	54.0 %	2106	46.0 %
Retour au domicile	6686	52.8 %	5987	47.2 %
Loisir	1013	56.2 %	791	43.8 %
Magasinage	737	56.6 %	564	43.4 %
Autre	809	56.0 %	635	44.0 %
Heure de départ				
Minuit à 5h59	216	53.9 %	185	46.1 %
6h00 à 8h59	4610	51.8 %	4295	48.2 %
9h00 à 11h59	1811	57.9 %	1316	42.1 %
Midi à 15h29	2412	53.9 %	2059	46.1 %
15h30 à 18h29	4789	52.2 %	4379	47.8 %
18h30 à 23h59	1579	57.1 %	1185	42.9 %

La figure 4.17 illustre la répartition des alternatives selon la combinaison de modes empruntée. On remarque que pour 50,6 % des paires OD, l'alternative la plus rapide est une combinaison de segments de bus et de métro. Les alternatives où le métro est le seul mode représentent 6,4 %. Pour les alternatives choisies, la combinaison du bus et du métro est moins populaire, représentant 41,4 % alors que l'utilisation seule du bus ou du métro est en proportion plus élevée, soit de 38,5 % et 17,2 % respectivement. Pour ce qui est du train, les combinaisons avec le bus ou le métro représentent une proportion plus élevée que celle du train uniquement pour l'alternative la plus rapide. Cependant, pour l'alternative choisie, la proportion du mode train seul est plus élevée que celle de la combinaison avec d'autres modes de transport en commun. Ces observations signifient que l'usager est disposé à choisir une alternative moins rapide s'il peut effectuer son déplacement sans faire de correspondance impliquant un changement de mode.

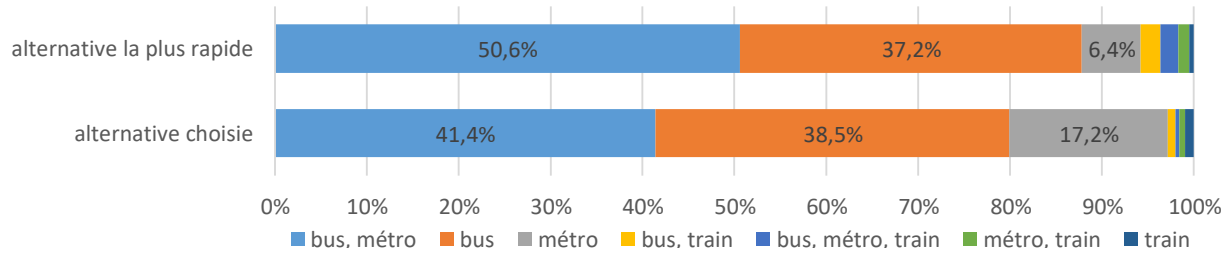

Figure 4.17 Répartition des combinaisons de modes selon l'alternative

À la suite de cette remarque, la répartition du nombre de correspondances a été analysée entre l'alternative la plus rapide et l'alternative choisie. La figure 4.18 met en évidence que la proportion de trajets directs est nettement supérieure pour l'alternative choisie (39,2 %) que pour l'alternative la plus rapide (24,4 %). De manière générale, les résultats démontrent que l'usager choisit une alternative qui comporte moins de correspondances, même si ce n'est pas la plus rapide pour effectuer son déplacement.

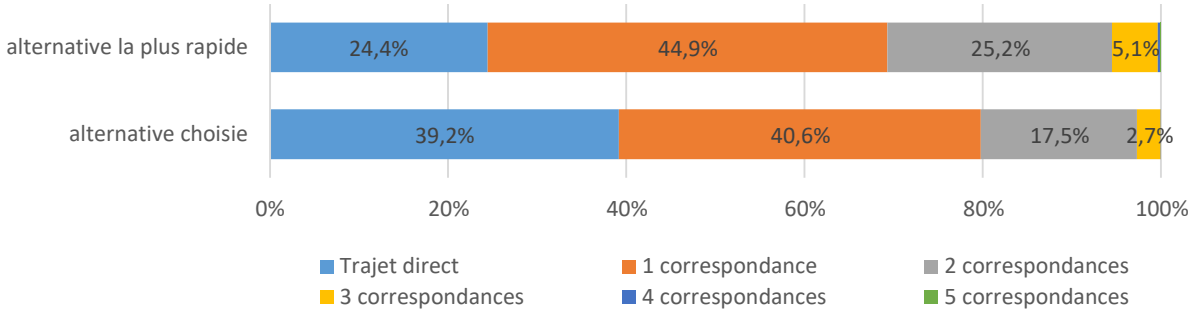

Figure 4.18 Répartition des correspondances selon l'alternative

Par ailleurs, la répartition des temps alloués à chaque segment du déplacement est assez semblable pour l'alternative la plus rapide et l'alternative choisie. Le temps de marche à l'origine et à la destination est légèrement supérieur dans le cas de l'alternative choisie, ce qui concorde avec la préférence d'éviter les correspondances. Cela laisse supposer que les usagers acceptent de marcher davantage afin d'éviter les alternatives avec correspondances. L'attente au premier arrêt est fixé par l'algorithme de calcul de Transition à un temps de 3 minutes. Ce temps d'attente n'a pas la même proportion pour l'alternative la plus rapide que pour celle choisie, mettant en évidence l'écart de temps. La durée moyenne de l'alternative la plus rapide parmi toutes les paires OD de l'échantillon étudié est de 31,9 minutes alors qu'il est de 36,1 minutes pour l'alternative choisie. L'alternative choisie est donc plus lente de 13 %.

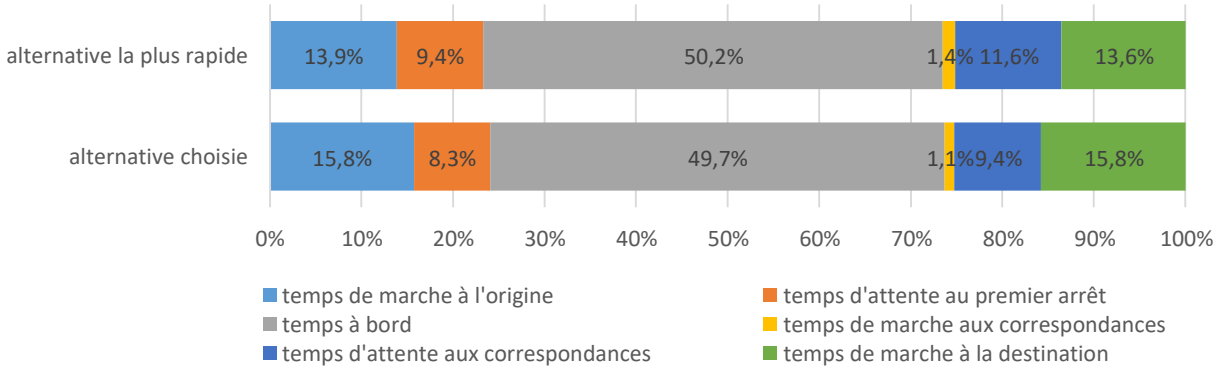

Figure 4.19 Répartition des temps de chaque segment du déplacement selon l'alternative

Le tableau 4.5 détaille la distribution des temps de chaque segment. La moyenne de temps pour chacun des segments est plus élevée pour l'alternative choisie que pour l'alternative la plus rapide, sauf dans le cas des correspondances. En effet, le principal constat est que la moyenne du temps de marche et du temps d'attente aux correspondances est plus faible pour l'alternative choisie que pour l'alternative la plus rapide. Cela démontre que dans le cas où une correspondance est inévitable, la pénalité associée incite l'usager à choisir une alternative qui minimise le temps de marche et d'attente aux correspondances, même si ce n'est pas l'alternative la plus rapide. De plus, le temps d'attente aux correspondances au 25^{e} percentile des observations est de 0 seconde pour l'alternative choisie et de 180 secondes pour l'alternative la plus rapide. Cela signifie que 25 % des alternatives choisies n'ont pas de correspondances et que 25 % des alternatives le plus rapides n'ont que les trois minutes imposées comme temps d'attente minimal. La médiane est également moindre, de même que la valeur du temps au 75^{e} percentile pour le temps d'attente aux correspondances.

Tableau 4.5 Distribution des temps de chaque segment de déplacement en secondes

Segment de temps	Alternative	Minimum	25^{e} percentile	Médiane	Moyenne	75^{e} percentile	Maximum
Marche à l'origine	Choisie	0	156	303	352.7	519	900
	Plus rapide	0	128	240	285.6	401	900
À bord du véhicule	Choisie	11	736	1295	1445.4	1992.5	8197
	Plus rapide	18	709	1158	1297.7	1741	5975
Marche aux correspondances	Choisie	0	0	0	34.6	0	841
	Plus rapide	0	0	0	40.5	0	909
Attente aux correspondances	Choisie	0	0	243	291.5	462	4812
	Plus rapide	0	180	259	308.0	468	2163
Marche à la destination	Choisie	0	160	310	357.0	527.5	900
	Plus rapide	0	125	231	279.6	395	900

La comparaison des distributions de la tortuosité pour l'alternative choisie et l'alternative la plus rapide vient confirmer ces constats. L'alternative choisie est légèrement plus tortueuse que le trajet le plus rapide, ce qui peut révéler un évitement des correspondances de la part de l'usager, celui-ci choisissant un trajet qui s'éloigne davantage de la ligne droite entre son origine et sa destination.

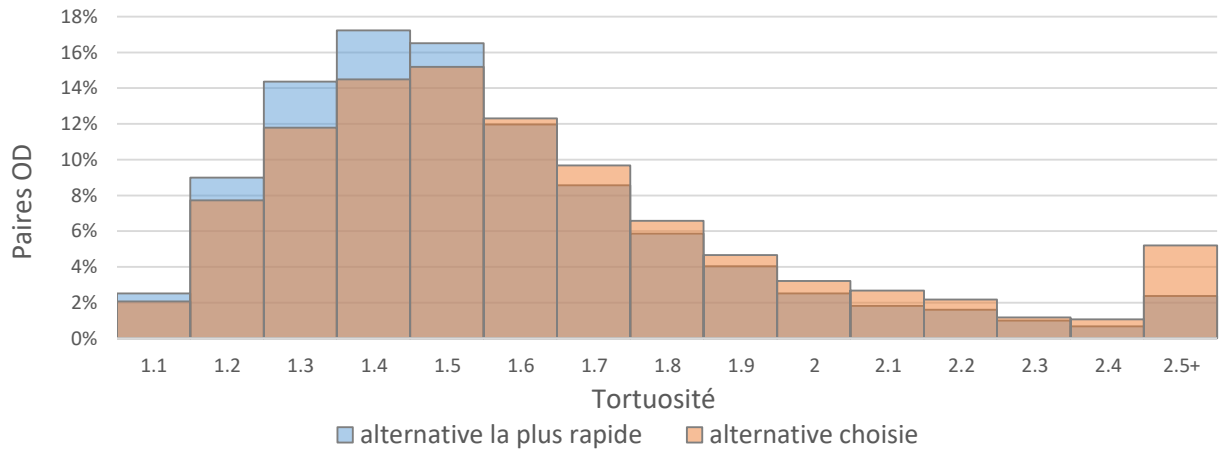

Figure 4.20 Distribution de la tortuosité

Ces résultats démontrent que lorsque plusieurs alternatives sont disponibles, le choix d'emprunter l'alternative la plus rapide ne représente pas la totalité des comportements. Cela signifie que les gens considèrent d'autres trajets pour effectuer leurs déplacements. Sachant cela, la présence d'une seule alternative de transport en commun entre une origine et une destination à un moment spécifique n'est pas suffisante puisque les gens n'ont pas tous les mêmes préférences. Il faut alors caractériser les réseaux en fonction de la disponibilité de plusieurs trajets. Il est donc pertinent d'analyser l'ensemble des alternatives de transport en commun disponibles et pas uniquement la plus rapide afin de comprendre la qualité globale des trajets et l'attractivité d'un réseau.

CHAPITRE 5 QUALITÉ DES ALTERNATIVES

Dans ce chapitre, des seuils de qualité suffisante d'une alternative de transport en commun sont proposés. Tout d'abord, selon une qualité relative (basée sur le temps de l'alternative la plus rapide), puis selon une qualité absolue (basée sur une vitesse théorique sur la ligne droite entre l'origine et la destination).

Les données présentées dans ce chapitre ne sont pas pondérées. Elles sont basées sur les déplacements observés dans l'enquête Origine-Destination de 2018 et ne sont pas représentatives de la population totale.

5.1 Qualité relative

5.1.1 Seuils de qualité relative

Pour chaque paire OD, l'alternative la plus rapide est identifiée. Contrairement au trajet le plus court généré par Transition, qui cherche à minimiser l'heure d'arrivée à partir du début de la période de ±15 minutes par rapport à l'heure déclarée, l'alternative la plus rapide est celle dont le temps de parcours total est le plus court. Puisque les temps réels sont utilisés, l'alternative la plus rapide est donc celle qui minimise le temps de parcours réel, non pas le temps perçu par l'usager.

Cette alternative la plus rapide devient donc la valeur de référence pour évaluer la qualité relative. À partir du temps de parcours de celle-ci, un facteur multiplicatif est calculé pour chaque alternative de transport en commun disponible par paire origine-destination tel que présenté à l'équation 5.1. De ce fait, il est possible de voir selon quelle mesure une alternative donnée est plus lente que la plus rapide.

$$\textit{facteur multiplicatif de temps de parcours} = \frac{\textit{temps total de l'alternative}}{\textit{temps total de l'alternative la plus rapide}}$$

Équation 5.1 Facteur multiplicatif de temps de parcours

La figure 5.1 présente la distribution fréquentielle des facteurs multiplicatifs de temps de parcours pour l'ensemble des alternatives du sous-ensemble (incluant la plus rapide) et pour l'alternative choisie. Un facteur de 1,0 correspond à l'alternative la plus rapide. La valeur maximale observée est de 5,26 (tableau 5.1), mais les alternatives avec un facteur multiplicatif supérieur ou égal à 2,0

ne représentent que 1,6 %. Pour 60,6 % des alternatives choisies, le facteur multiplicatif est inférieur à 1,1, soit moins de 10 % de temps de parcours supplémentaire au trajet le plus rapide. Cela signifie que même si les usagers ne choisissent pas tous l'alternative la plus rapide, ils choisissent d'emprunter une alternative qui a un temps très compétitif par rapport à celle-ci.

Dans le graphique ci-dessous, l'intervalle correspond aux facteurs multiplicatifs de temps de parcours égaux ou inférieurs au seuil. Par exemple, un facteur de 1,1 comprend les valeurs entre 1,0 (inclus) et 1,1 (exclus). Un facteur de 1,2 comprend les valeurs entre 1,1 (inclus) et 1,2 (exclus), et ainsi de suite.

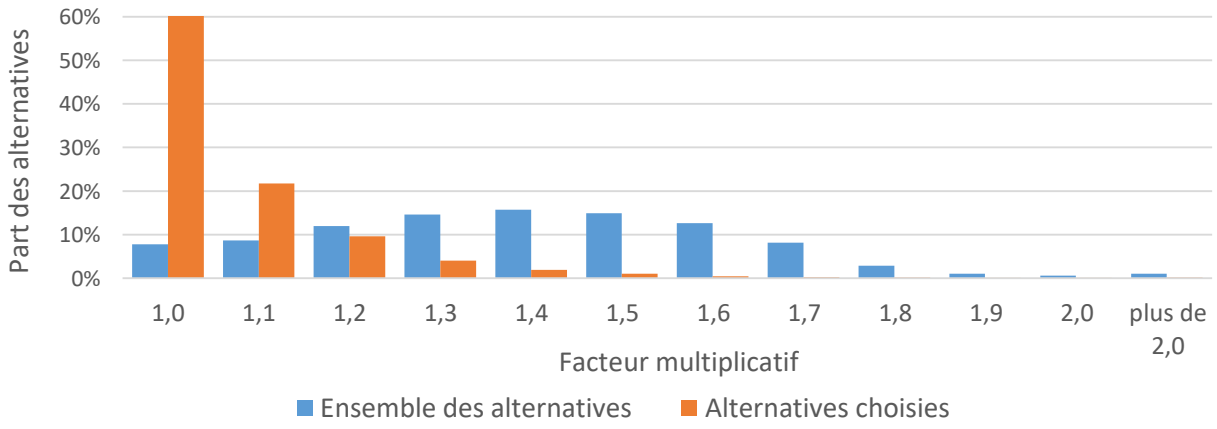

Figure 5.1 Distribution fréquentielle des facteurs multiplicatifs de temps de parcours

Il a été démontré qu'en présence de plus d'une alternative de transport en commun, l'usager ne choisit pas systématiquement l'alternative la plus rapide. La distribution des temps de déplacement montre que l'écart de temps entre l'alternative choisie et l'alternative la plus rapide n'est pas si élevé. Effectivement, le facteur multiplicatif de temps de parcours moyen est de 1,131, ce qui signifie que l'alternative choisie a, en moyenne, un temps supérieur de 13,1 % à la plus rapide. Le 75^{e} percentile se situe à 17,3 % de temps plus que pour l'alternative la plus rapide, tandis que pour l'ensemble des alternatives, il est plutôt 50,9 % de plus.

Tableau 5.1 Résumé statistique des facteurs multiplicatifs de temps de parcours

	Minimum	25^{e} percentile	Médiane	Moyenne	75^{e} percentile	Maximum
Ensemble des alternatives	1,000	1,174	1,344	1,353	1,509	5,260
Alternative choisie	1,000	1,036	1,085	1,131	1,173	3,078

À partir de ces résultats, les facteurs multiplicatifs de temps de parcours qui sont utilisés pour la suite des analyses varient entre 1,0 et 1,5. Les alternatives retenues ont donc un temps presque égal à celui du trajet le plus rapide, jusqu'à une fois et demie le temps de celui-ci.

5.1.2 Caractérisation des alternatives

Une analyse comparative entre les alternatives conservées et retirées est effectuée, par suite de l'ajout de seuils de qualité relative, afin d'identifier les attributs discriminants. D'abord, la part des trajets empruntant uniquement l'autobus, ou la combinaison entre l'autobus et le métro, est moindre pour les alternatives conservées que pour les alternatives retirées. La part d'alternatives en métro est nettement supérieure pour les trajets respectant les seuils de qualité relative. Cela laisse supposer que lorsque le trajet le plus rapide utilise un segment métro, les alternatives utilisant uniquement le bus n'arrivent pas à rivaliser avec le temps de déplacement. Selon les seuils de qualité relative minimale, ces alternatives sont retirées. Pour ce projet de recherche, l'indépendance entre les alternatives n'est pas étudiée, un important chevauchement peut donc être présent entre plusieurs trajets proposés pour une paire origine-destination.

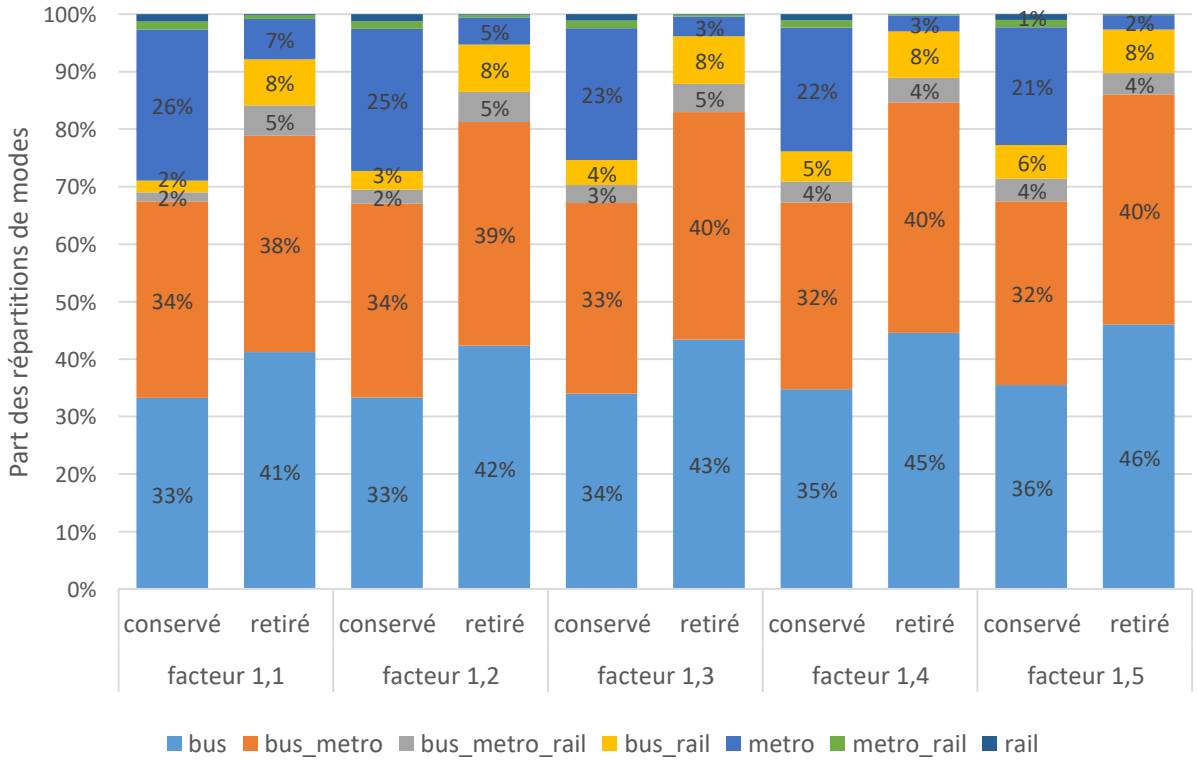

Figure 5.2 Répartition des combinaisons de modes selon l'alternative

Pour les alternatives respectant les cinq seuils de qualité relative, la part de trajets directs représente plus du double de celle des alternatives retirées. De plus, bien que la part des alternatives avec une correspondance soit similaire entre les trajets conservés ou retirés par les facteurs multiplicatifs de temps, la part des trajets avec deux correspondances ou plus est inférieure. Cela peut être dû au temps supplémentaire associé aux correspondances (marche et attente) qui peut faire augmenter significativement le temps de parcours, de ce fait ne respectant pas un critère de qualité minimale par rapport au temps de l'alternative la plus rapide.

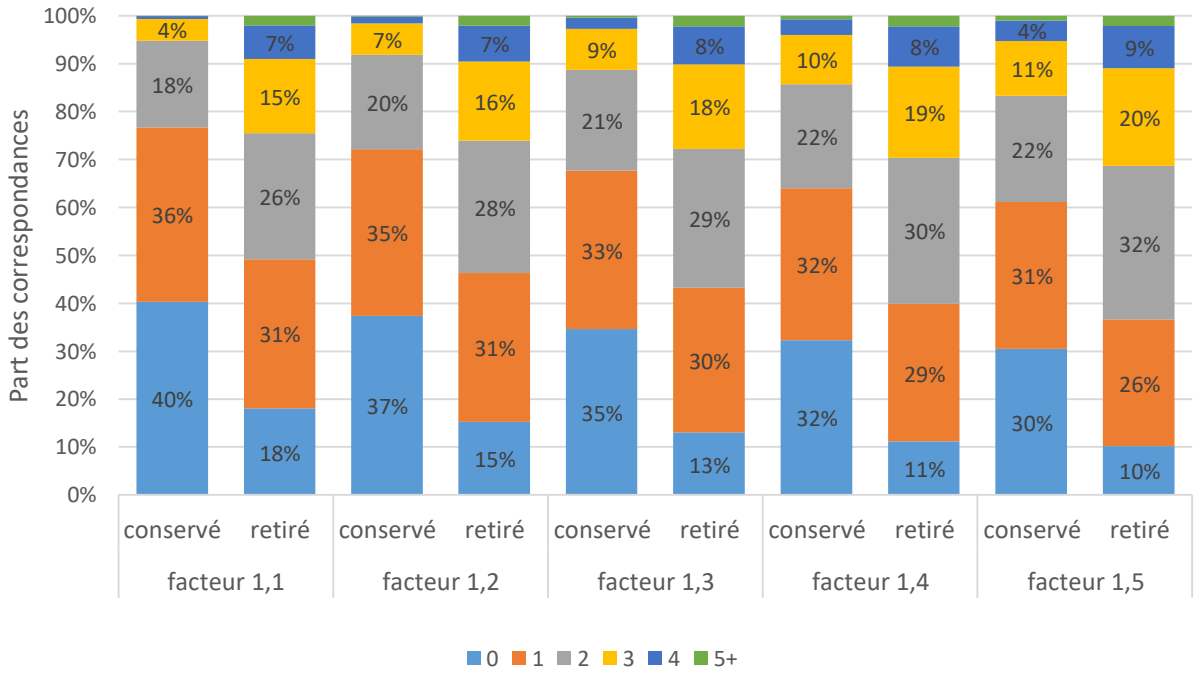

Figure 5.3 Répartition des correspondances selon l'alternative

Le temps de marche à l'origine et à la destination occupe une part légèrement plus importante du temps de parcours pour les alternatives respectant les critères de qualité minimale. Le temps à bord est similaire entre les alternatives conservées et retirées. Le temps de marche et d'attente aux correspondances semble être le facteur le plus discriminant de l'application des seuils de qualité relative.

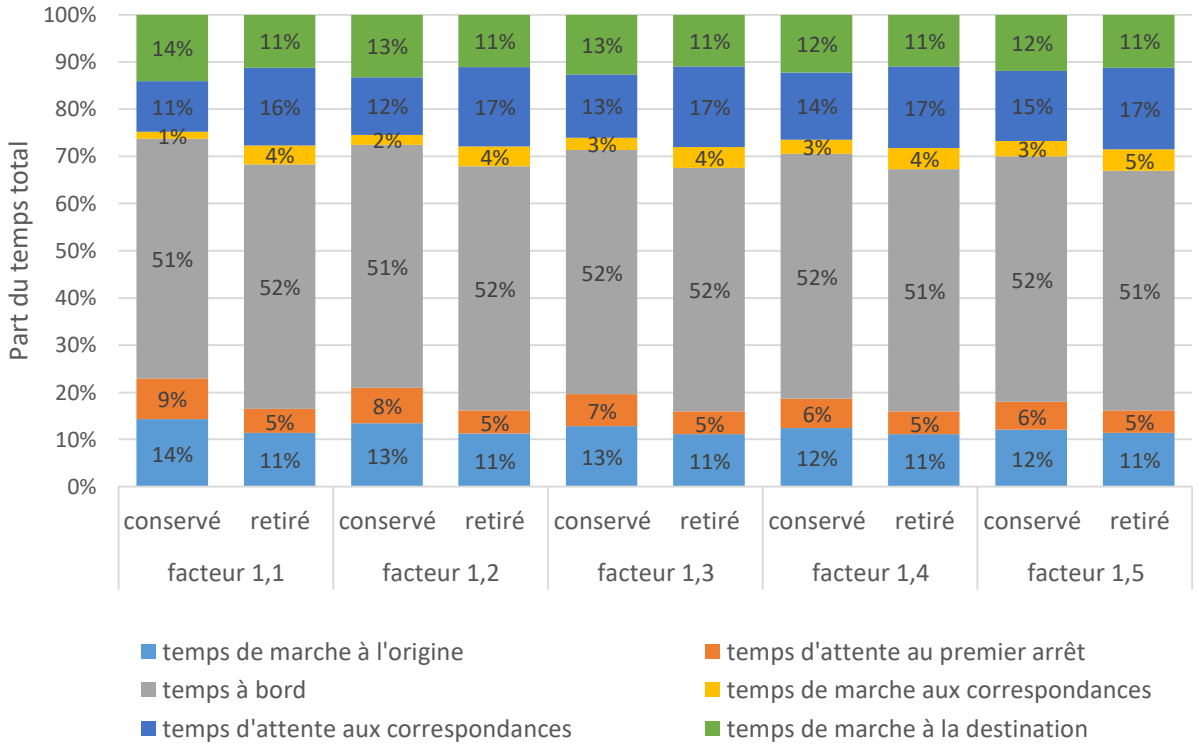

Figure 5.4 Répartition des segments de temps de déplacement selon l'alternative

5.1.3 Effet des seuils de qualité relative sur la diversité d'alternatives

Bien que certaines alternatives atteignent un facteur multiplicatif supérieur à 1,5, cette valeur a été fixée comme seuil minimal de qualité. Par exemple, la figure 5.5 illustre une paire OD pour laquelle il y a 3 alternatives de transport en commun. L'alternative la plus rapide, identifiée en bleu, a un temps de 30 minutes. Celle du haut a un temps de 40 minutes, donc un facteur multiplicatif de 1,33. Elle est donc 1,33 fois plus lente. Celle du bas a un temps de 65 minutes et un facteur de 2,17. Elle prend donc plus du double du temps de l'alternative la plus rapide. Cette dernière alternative est donc exclue, puisqu'elle n'atteint pas le seuil de qualité minimale d'un facteur de 1,5 par rapport au temps du trajet le plus rapide.

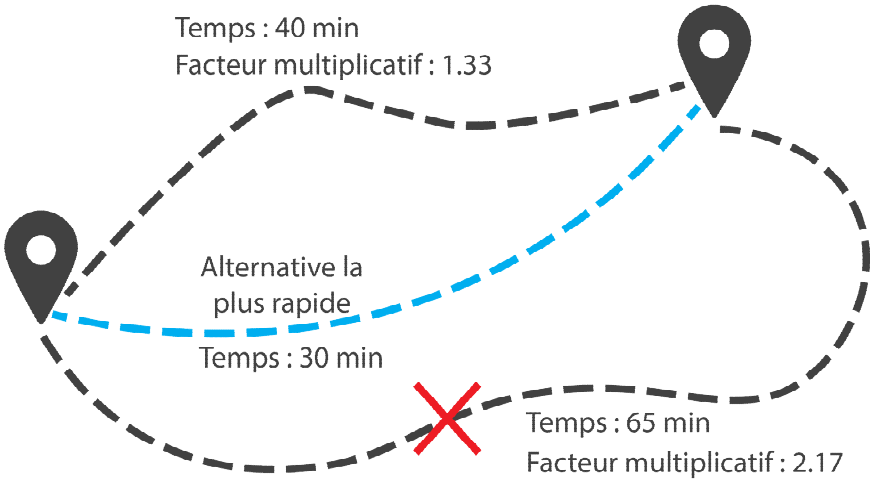

Figure 5.5 Exemple de facteurs multiplicatifs pour une paire OD

Afin de vérifier l'hypothèse selon laquelle certaines alternatives de transport en commun n'atteignent pas un seuil minimal de qualité, l'effet de seuils de qualité relative sur la diversité est étudié. Le tableau 5.2 montre que l'effet des critères de qualité cause la diminution du nombre d'alternatives dans le sous-ensemble. Un facteur de 1,1 retire 83,5 % des alternatives. Cela signifie que le temps de parcours de ces alternatives est supérieur de plus de 10 % au temps du trajet le plus rapide pour leurs paires OD correspondantes. Un facteur de 1,5, soit un ajout de temps de 50 % par rapport au trajet le plus rapide, retire 26,3 % d'alternatives qui ne respectent pas ce critère.

Tableau 5.2 Variation du nombre d'alternatives selon le facteur multiplicatif de temps de parcours par rapport au trajet le plus rapide

	Nombre total d'alternatives	Nombre d'alternatives retirées	Pourcentage d'alternatives retirées
Aucun facteur	441 873	-	-
Facteur de 1,5	325 597	116 276	26,3 %
Facteur de 1,4	259 629	185 244	41,9 %
Facteur de 1,3	190 348	251 525	59,9 %
Facteur de 1,2	125 738	316 135	71,5 %
Facteur de 1,1	72 739	369 134	83,5 %

Encore plus que la simple réduction du nombre total d'alternatives dans le sous-ensemble, le filtrage selon une qualité relative vient modifier la distribution du nombre d'alternatives par paire OD. La figure 5.6 présente la distribution des paires OD selon le nombre d'alternatives de transport en commun pour 5 facteurs multiplicatifs de temps de parcours par rapport au trajet le plus court. Chaque paire OD a au moins 1 alternative, celle-ci correspondant à la plus rapide.

Plus le seuil proposé est restrictif (facteur plus faible), plus on observe une diminution du nombre d'alternatives par paire OD. La moitié des paires OD ont une seule alternative pour un facteur multiplicatif de 1,1. La proportion de paires OD avec une seule alternative diminue avec un critère de qualité relative moins restrictif, pour n'atteindre que 19 % avec un facteur de 1,5. Cela signifie que lorsqu'un temps 50 % plus lent que le meilleur trajet est utilisé comme filtre, la part de paires OD avec un plan B est plus importante. En effet, pour ce facteur la proportion de paires OD avec au moins deux alternatives est de 81 %.

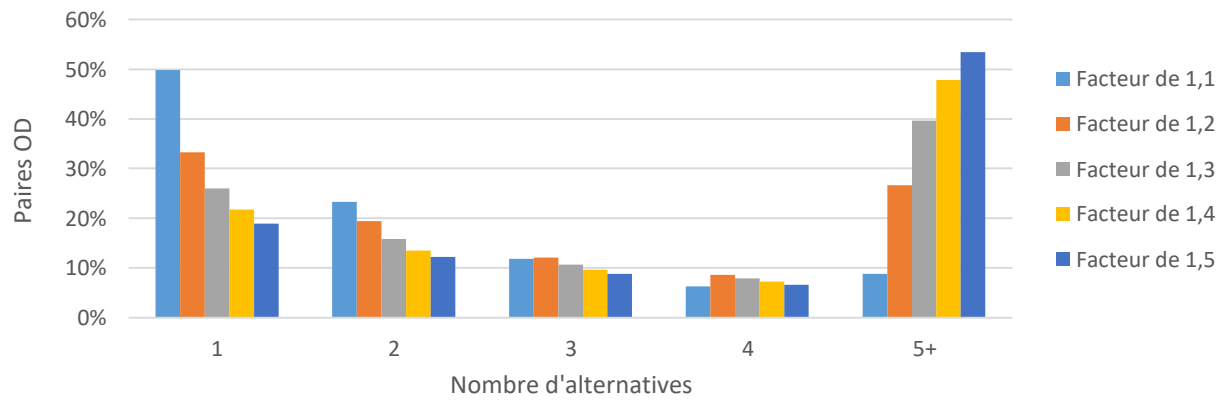

Figure 5.6 Distribution des paires OD selon le nombre d'alternatives par facteur multiplicatif de temps de parcours par rapport au trajet le plus rapide

Le tableau 5.3 présente le résumé statistique du nombre d'alternatives par paire OD selon les seuils de qualité relative. Puisque la valeur de référence de la qualité relative est l'alternative la plus rapide, chaque paire OD a, au minimum, 1 alternative disponible. Pour les déplacements pour lesquels seul ce trajet est disponible, il correspond donc au trajet déclaré dans l'enquête OD.

Un plan B est présent pour le 25^{e} percentile des paires OD seulement pour les facteurs de 1,4 et 1,5. Pour les facteurs multiplicatifs plus restrictifs, 25 % des paires OD n'ont qu'un seul trajet de qualité suffisante. Ces usagers sont donc plus vulnérables. Pour l'ensemble des seuils de qualité

relative testés, la médiane est inférieure à la moyenne, ce qui signifie que quelques paires OD avec une grande diversité tirent la moyenne à la hausse. Cependant, la médiane est de 2 alternatives ou plus pour tous les facteurs, ce qui signifie qu'au moins 50 % des paires OD ont un plan B.

Tableau 5.3 Résumé statistique du nombre d'alternatives par paire OD selon les seuils de qualité relative

	Minimum	25e percentile	Médiane	Moyenne	75e percentile	Maximum
Facteur de 1,1	1,0	1,0	2,0	2,2	3,0	25,0
Facteur de 1,2	1,0	1,0	2,0	3,7	5,0	50,0
Facteur de 1,3	1,0	1,0	3,0	5,7	7,0	50,0
Facteur de 1,4	1,0	2,0	4,0	7,7	10,0	50,0
Facteur de 1,5	1,0	2,0	5,0	9,7	13,0	50,0

Bref, l'introduction de seuils de qualité minimale, basés sur une qualité relative, diminue la diversité d'alternatives. Cette méthode permet de filtrer les alternatives qui, en comparaison avec l'alternative la plus rapide, n'ont pas une qualité suffisante. Cependant, cette méthode d'évaluation de la diversité basée sur la qualité relative ne suffit pas, puisqu'elle ne tient pas compte de la qualité du trajet le plus rapide. En effet, cette comparaison des alternatives TC disponibles par rapport au trajet le plus rapide n'est valide que si celui-ci est de qualité suffisante. Dans l'éventualité où il n'a pas une qualité suffisante, l'ensemble des alternatives proposées pour cette paire OD n'atteignent pas non plus un seuil de qualité suffisante, peu importe leur facteur multiplicatif de temps de parcours. Afin de pallier cette limitation, une mesure objective s'avère donc nécessaire pour vérifier le niveau de qualité du trajet le plus rapide pour chacune des paires OD.

5.2 Qualité absolue

Afin de standardiser la comparaison des alternatives de transport en commun, cette section présente une mesure de qualité absolue, basée sur une valeur objective. Une vitesse théorique sur la ligne droite entre l'origine et la destination est proposée comme valeur de référence. Le but est de déterminer une façon de comparer objectivement toutes les alternatives entre elles, nonobstant le temps associé à l'alternative la plus rapide, parce que cette dernière peut ne pas être efficace.

5.2.1 Seuils de qualité absolue

À partir d'une vitesse de référence donnée, un temps théorique est calculé. Celui-ci correspond au temps requis pour parcourir la distance euclidienne OD à cette vitesse. Ensuite, un ratio est calculé entre le temps total de l'alternative TC et ce temps théorique.

$$temps\ théorique = \frac{distance\ euclidienne}{vitesse\ théorique}$$

Équation 5.2 Temps théorique pour parcourir la distance OD à vol d'oiseau

$$ratio\ de\ temps = \frac{temps\ total\ de\ l'alternative}{temps\ théorique}$$

Équation 5.3 Ratio entre le temps total et le temps théorique

La figure 5.7 montre la part des paires OD dont l'alternative la plus rapide respecte les critères de vitesses et de ratios testés. Tel que supposé à la fin du chapitre précédent, le trajet le plus rapide peut ne pas atteindre un seuil de qualité minimale pour 100 % des paires OD. En fait, même pour une vitesse équivalente à celle de la marche (ratio de temps 1 à une vitesse de 5 km/h), une alternative de transport en commun de qualité n'est pas disponible pour la totalité des paires OD.

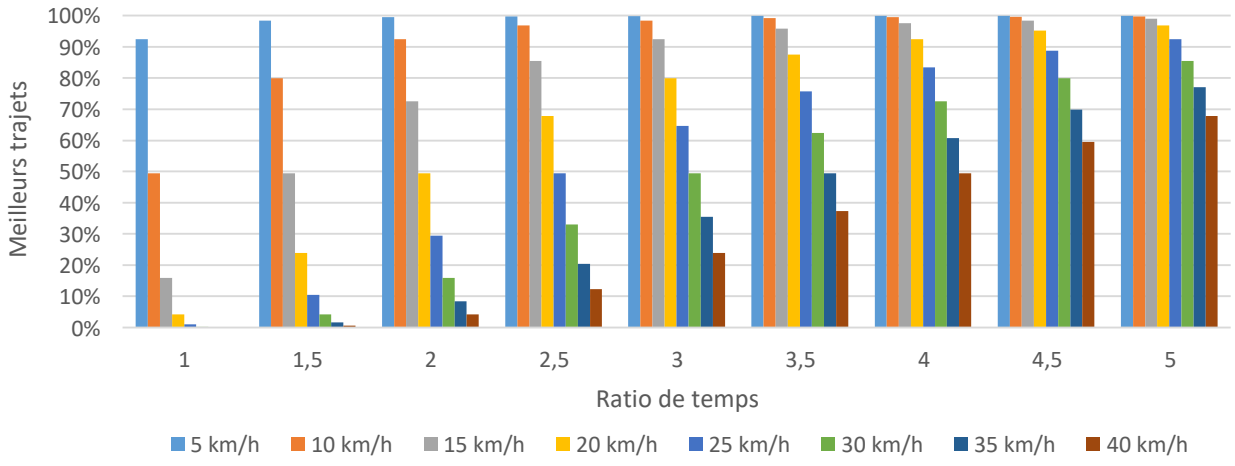

Figure 5.7 Part des alternatives les plus rapides ayant une qualité suffisante selon le ratio de temps pour une vitesse théorique sur la ligne droite

Le tableau 5.4 présente le résumé statistique des ratios calculés pour chacune des vitesses théoriques testées. On remarque que le minimum est situé sous la barre du 1 pour chacune des vitesses. Cela signifie que certaines alternatives sont plus rapides que ces vitesses sur la ligne droite. En effet, un ratio de 1 signifierait que le trajet le plus rapide a une vitesse équivalente à celle requise pour parcourir la ligne droite entre l'origine et la destination à la vitesse testée. Par exemple, pour une vitesse de 5 km/h, le ratio médian du trajet le plus rapide est de 0,50, ce qui veut dire que cette alternative est deux fois plus lente que de parcourir la ligne droite à 5 km/h pour 50 % des paires OD.

Tableau 5.4 Ratios de temps en fonction de la vitesse théorique pour les trajets les plus rapides

	Minimum	25e percentile	Médiane	Moyenne	75e percentile	Maximum
5 km/h	0,12	0,38	0,50	0,58	0,69	57,35
10 km/h	0,23	0,76	1,01	1,17	1,38	114,70
15 km/h	0,35	1,14	1,51	1,75	2,08	172,05
20 km/h	0,46	1,52	2,01	2,33	2,77	229,40
25 km/h	0,58	1,90	2,52	2,91	3,46	286,75
30 km/h	0,69	2,28	3,02	3,50	4,15	344,10
35 km/h	0,81	2,66	3,52	4,08	4,85	401,45
40 km/h	0,93	3,04	4,03	4,66	5,54	458,80

La comparaison des distributions des vitesses théoriques sur la ligne droite pour l'ensemble des alternatives, l'alternative la plus rapide et l'alternative choisie est présentée à la figure 5.8. Pour chaque alternative, le temps de parcours a été divisé par la distance à vol d'oiseau entre l'origine et la destination pour obtenir une vitesse théorique sur la ligne droite. On remarque que l'alternative choisie est légèrement plus lente que la meilleure alternative, alors que pour la totalité des alternatives de l'échantillon les vitesses sont beaucoup plus lentes. Le tableau 5.5 présente la vitesse théorique moyenne sur la ligne droite pour les 3 séries. Elle est d'un peu moins de 10 km/h pour l'alternative la plus rapide.

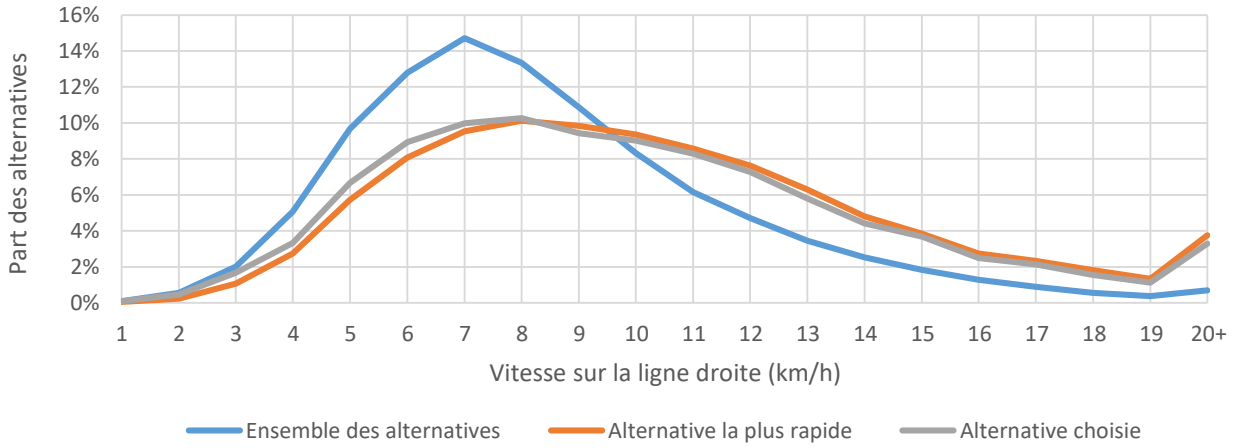

Figure 5.8 Distribution des vitesses théoriques sur la ligne droite

Tableau 5.5 Résumé statistique des vitesses théoriques sur la ligne droite OD

	Minimum	25e percentile	Médiane	Moyenne	75e percentile	Maximum
Ensemble des alternatives	0,03	5,62	7,36	7,95	9,67	40,35
Alternative la plus rapide	0,08	6,74	9,27	9,92	12,29	40,35
Alternative choisie	0,06	6,37	8,90	9,56	11,92	40,35

À partir d'une vitesse théorique sur la ligne droite OD, par exemple 20 km/h, on veut calculer pour chaque alternative le temps requis pour parcourir la distance euclidienne à cette vitesse. Ensuite, on calcule un ratio entre le temps total de l'alternative et ce temps théorique. Le ratio sert à évaluer de combien plus lente est une alternative par rapport à une vitesse théorique souhaitable, ayant été établie comme critère de qualité absolue. Ici, puisqu'on utilise comme critère de qualité absolue la vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite, cela signifie qu'un ratio de 1 est équivalent à cette vitesse. Une alternative a un ratio inférieur à 1 si elle est plus rapide que de parcourir la ligne droite à 20 km/h et un ratio supérieur à 1 si elle est plus lente.

Par exemple, sur le schéma à la figure 5.9 on voit que l'alternative du haut a un ratio de temps de 2, elle est donc 2 fois plus lente que de parcourir la ligne droite à 20 km/h, ce qui veut dire qu'elle a une vitesse équivalente à 10 km/h sur la ligne droite. De la même façon, l'alternative du centre avec un ratio de 1,25 correspond à une vitesse sur la ligne droite de 16 km/h. L'alternative du bas serait la plus lente, avec un ratio de 5, soit de 4 km/h.

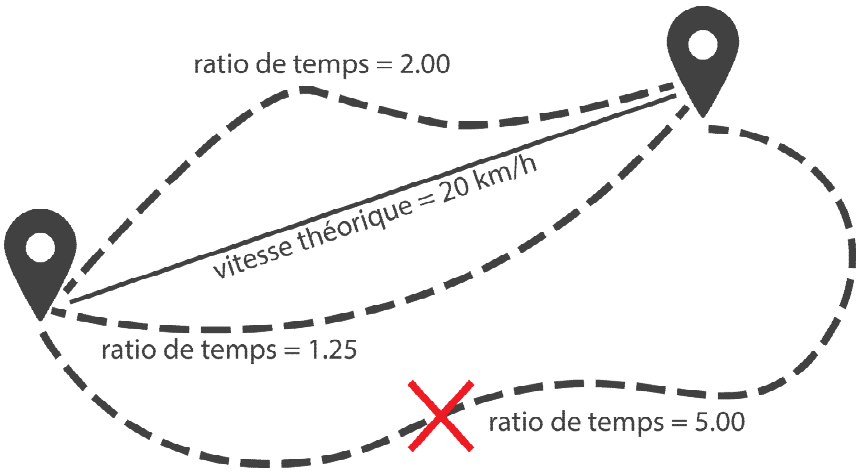

Figure 5.9 Exemple de ratios de temps pour les alternatives d'une paire origine-destination

Afin de sélectionner des seuils de qualité absolue pour une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite entre l'origine et la destination, les ratios de temps des alternatives de transport en commun (trajet le plus rapide et alternative choisie) ont été comparés avec les ratios de temps que le déplacement prendrait s'il était effectué en automobile (sous congestion) ou à vélo.

La figure 5.10 montre que près de la moitié des déplacements, soit 49,2% auraient un ratio inférieur ou égal à 1 par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite s'ils étaient effectués en automobile, en considérant la congestion routière. Cela signifie que le temps de déplacement serait égal ou plus rapide que de parcourir la distance euclidienne OD à 20 km/h. Si ces déplacements étaient effectués à vélo, 30% d'entre eux seraient plus lents que de se déplacer en transport en commun, mais au-delà de cette proportion, le vélo est plus rapide. Pour ces mêmes déplacements effectués en transport en commun, seulement 4,2 % des alternatives les plus rapides et 3,7 % des alternatives choisies atteignent un ratio de 1. Pour l'alternative la plus rapide, donc celle avec le meilleur temps, le 80^{e} percentile des paires OD correspond à un ratio de 3.0 par rapport à une vitesse théorique sur la ligne droite de 20 km/h. Ce ratio sera donc utilisé comme seuil de qualité minimale pour la suite des analyses.

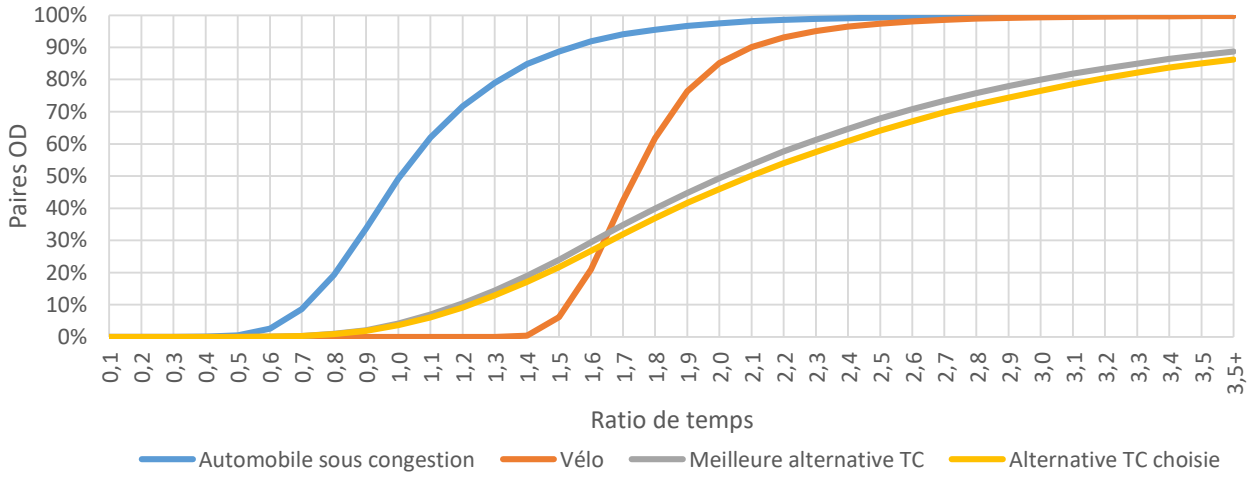

Figure 5.10 Distribution cumulée des ratios de temps par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite

De plus, le ratio minimum observé parmi les alternatives de transport en commun générées pour le sous-ensemble est de 0,46 fois la vitesse théorique de 20 km/h pour parcourir la ligne droite OD, soit environ deux fois plus rapide. Ce ratio descend aussi bas que 0,11 pour l'automobile et 0,36 pour le vélo. L'automobile reste le mode le plus rapide pour les paires OD du sous-ensemble de données, avec une vitesse moyenne plus de deux fois supérieure à celle de l'alternative de transport en commun la plus rapide. Cependant, dès le 25^{e} percentile des déplacements observés, le ratio de temps pour le transport en commun est plus avantageux que pour le vélo, mais ce dernier redevient plus rapide pour une majorité de paires OD après un ratio de temps de 1,6 tel qu'illustré par les distributions cumulées à la figure ci-haut.

Tableau 5.6 Résumé statistique des ratios de temps par mode par rapport à une vitesse de 20 km/h sur la ligne droite

	Min.	25^{e} percentile	Médiane	Moyenne	75^{e} percentile	Max.
Automobile sous congestion	0,11	0,94	1,01	1,09	1,24	93,18
Vélo	0,36	1,62	1,74	1,80	1,89	7,04
Alternative TC la plus rapide	0,46	1,52	2,01	2,33	2,77	229,40
Alternative TC choisie	0,46	1,57	2,10	2,48	2,93	307,29

5.2.2 Caractérisation des alternatives

Les alternatives ayant recours à l'usage du rail (train), soit seul, soit combiné avec l'autobus ou le métro, ou les deux, représentent une part plus importante pour les alternatives conservées par les critères de qualité absolue. Cela est probablement dû à la vitesse commerciale plus rapide pour ce mode et aux arrêts peu fréquents. Les trajets uniquement en métro ont une part modale inférieure pour les alternatives respectant les seuils de qualité absolue que celles retirées. Les trajets en autobus, quant à eux, représentent une plus grande part pour les alternatives retirées par les critères de qualité que pour celles conservées. Cela signifie que ce mode n'atteint probablement pas une vitesse suffisante pour respecter les ratios de temps par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h pour parcourir la distance euclidienne.

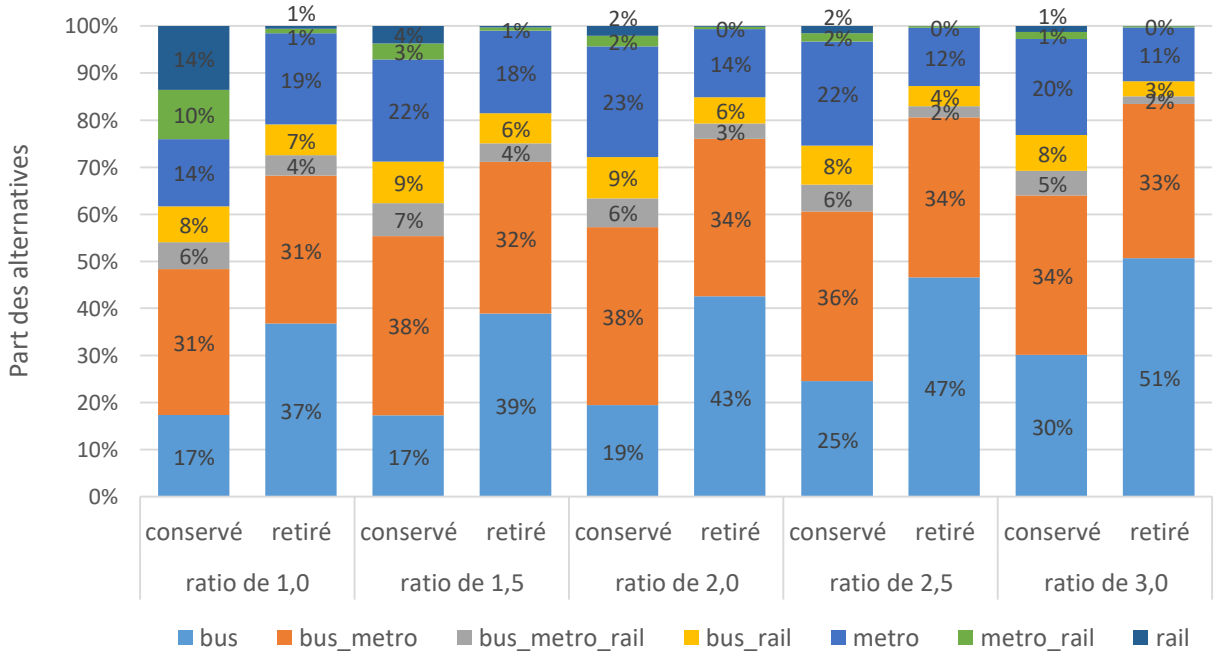

Figure 5.11 Part des alternatives conservées ou retirées par les seuils de qualité absolue selon les combinaisons de modes empruntées

Pour chacun des seuils de qualité absolue testés, une analyse comparative entre les alternatives conservées et retirées est effectuée dans le but d'identifier les attributs qui influencent la qualité des trajets. Premièrement, le nombre de correspondances des alternatives est comparé. Pour un ratio de temps de 1,0 par rapport à la vitesse de 20 km/h sur la ligne droite, un écart de 10 % est

observable entre la part des trajets directs pour les alternatives respectant ce critère de qualité et celles retirées (figure 5.12). Pour les autres seuils de qualité absolue, cet écart est moindre, jusqu'à atteindre une plus grande proportion de trajets directs dans les alternatives retirées pour les ratios de 2,5 et de 3,0. Il est intéressant de constater que la part des alternatives conservées par les filtres de qualité avec 1 ou plusieurs correspondances est plus élevée pour ces ratios. Cela signifie que ces alternatives sont assez rapides, malgré le temps de marche et d'attente aux correspondances, pour respecter les seuils de qualité suffisante selon une qualité absolue.

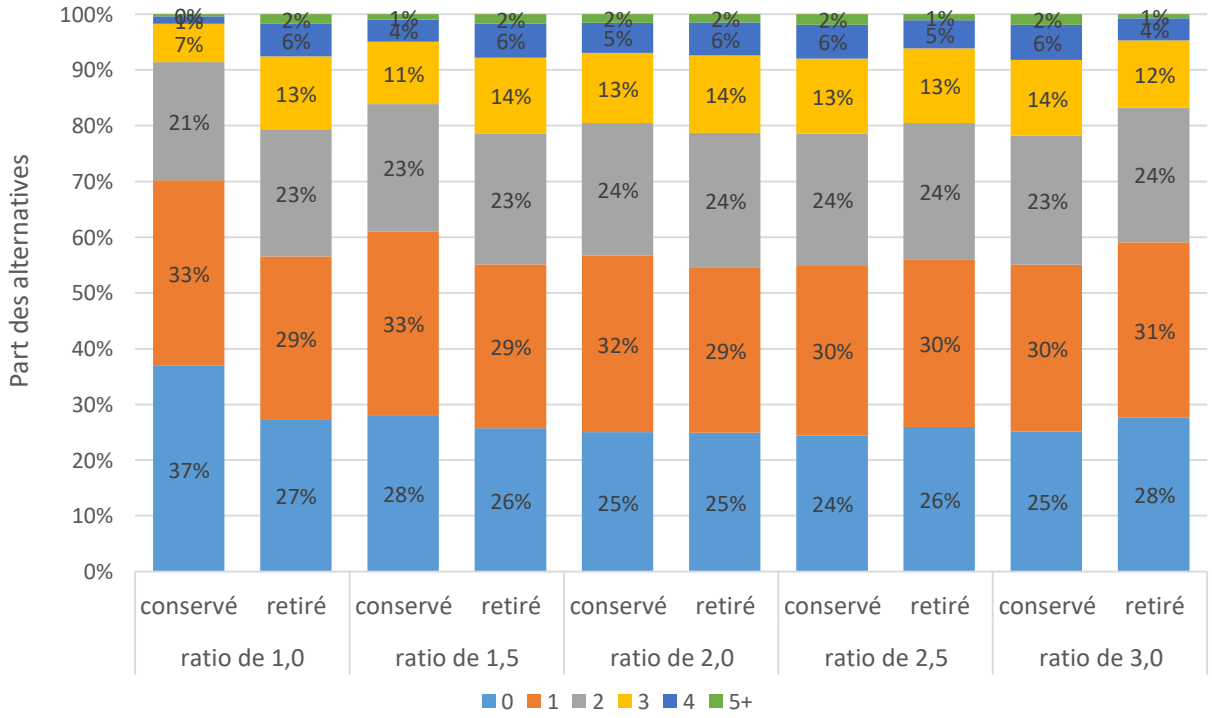

Figure 5.12 Part des alternatives conservées ou retirées par les seuils de qualité absolue selon le nombre de correspondances

Le temps à bord est supérieur d'au moins 10 % pour les alternatives conservées que pour les alternatives retirées pour l'ensemble des ratios de temps par rapport à une vitesse de 20 km/h sur la ligne droite. Cela signifie que les trajets avec une plus grande proportion de temps en véhicule ont une meilleure qualité absolue que ceux impliquant des longs segments de marche ou d'attente. Pour l'ensemble des alternatives (conservées ou retirées), le temps de marche à l'origine ou à la destination a une part du temps total supérieure à celle du temps de marche aux correspondances.

Néanmoins, pour les alternatives conservées par les seuils de qualité minimale, la part des temps de marche (à l'origine, aux correspondances et vers la destination) est moindre que pour les alternatives ne respectant pas les critères de qualité suffisante.

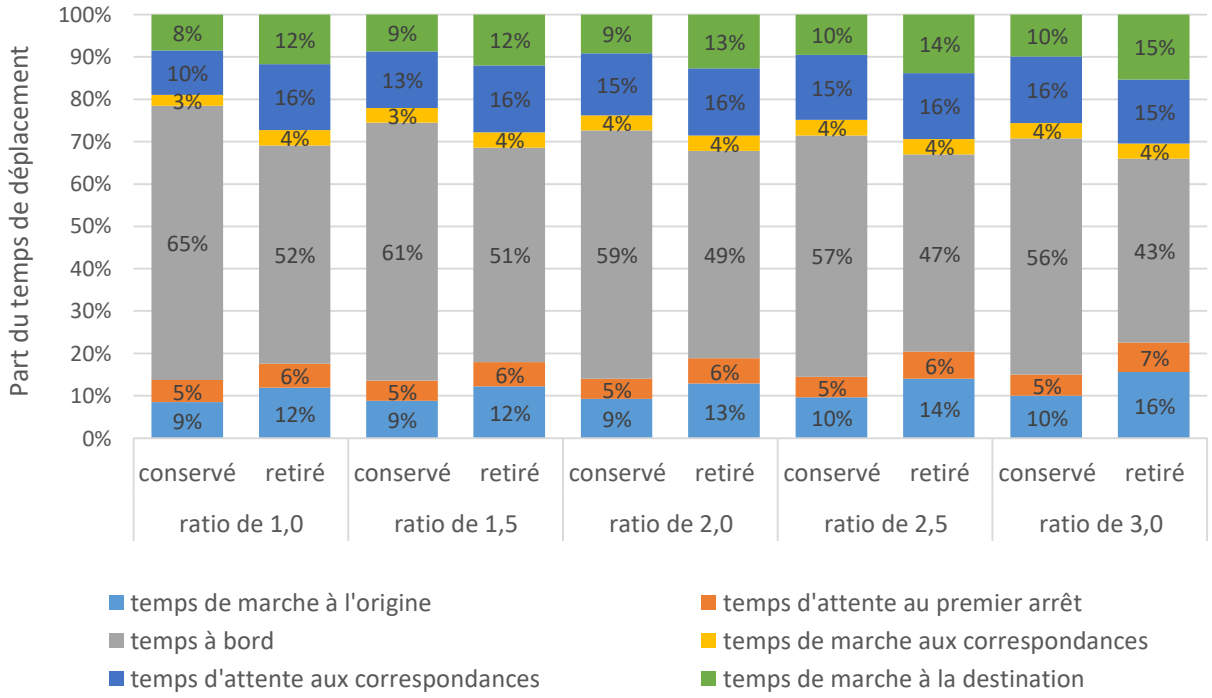

Figure 5.13 Part des alternatives conservées ou retirées par les seuils de qualité absolue selon les segments de temps

5.2.3 Effet des seuils de qualité absolue sur la diversité d'alternatives

L'effet des seuils de qualité absolue sur le nombre d'alternatives de transport en commun est étudié. Le tableau 5.7 présente la quantité d'alternatives retirées par chacun des ratios de temps par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite entre l'origine et la destination. Les paires OD retirées sont celles pour lesquelles même le trajet le plus rapide ne répond pas aux ratios de temps entre 1 et 3 fois la vitesse de 20 km/h sur la ligne droite. Cela signifie qu'il n'existe aucune alternative de qualité (selon les critères de qualité absolue) pour ces déplacements. Même l'alternative choisie par l'usager n'atteint pas une qualité suffisante.

Tableau 5.7 Alternatives retirées selon le ratio de temps pour une vitesse théorique de 20 km/h

	Nombre total d'alternatives	Nombre d'alternatives retirées	Pourcentage d'alternatives retirées	Nombre total de paires OD	Nombre de paires OD retirées	Pourcentage de paires OD retirées
Aucun ratio	441 873	-	-	33 678	-	-
Ratio de 3,0	293 955	147 918	33,5 %	26 923	6 755	20,0 %
Ratio de 2,9	279 890	161 983	36,7 %	26 267	7 411	22,0 %
Ratio de 2,8	264 894	176 979	40,0 %	25 516	8 162	24,2 %
Ratio de 2,7	248 900	192 973	43,7 %	24 709	8 969	26,6 %
Ratio de 2,6	232 204	209 669	47,5 %	23 830	9 848	29,2 %
Ratio de 2,5	214 933	226 940	51,4 %	22 861	10 817	32,1 %
Ratio de 2,4	196 868	245 005	55,5 %	21 778	11 900	35,3 %
Ratio de 2,3	178 152	263 721	60,0 %	20 639	13 039	38,7 %
Ratio de 2,2	159 621	282 252	63,9 %	19 425	14 253	42,3 %
Ratio de 2,1	141 075	300 798	68,1 %	18 043	15 635	46,4 %
Ratio de 2,0	122 813	319 060	72,2 %	16 622	17 056	50,6 %
Ratio de 1,9	105 161	336 712	76,2 %	15 082	18 596	55,2 %
Ratio de 1,8	88 566	353 307	80,0 %	13 425	20 253	60,1 %
Ratio de 1,7	72 866	369 007	83,5 %	11 707	21 971	65,2 %
Ratio de 1,6	57 612	384 261	87,0 %	9 895	23 783	70,6 %
Ratio de 1,5	43 985	397 888	90,0 %	8 054	25 624	76,1 %
Ratio de 1,4	32 139	409 734	92,7 %	6 385	27 293	81,0 %
Ratio de 1,3	21 866	420 007	95,1 %	4 864	28 814	85,6 %
Ratio de 1,2	13 491	428 382	97,0 %	3 505	30 173	89,6 %
Ratio de 1,1	7 344	434 529	98,4 %	2 358	31 320	93,0 %
Ratio de 1,0	3 579	438 294	99,2 %	1 411	32 267	95,8 %

On utilise donc les ratios de temps par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite pour filtrer les alternatives et voir l'effet sur la diversité. Le graphique présente 3 séries, soit la part des paires OD pour lesquelles aucune alternative ne respecte ce critère de qualité, la part des paires OD qui n'ont qu'une seule alternative qui respecte ce critère et la part des paires OD qui ont au moins 2 alternatives qui respectent ce critère (plan B).

Les distributions des paires OD selon le nombre d'alternatives respectant les seuils de qualité absolue suffisante montrent que pour un ratio de 1 par rapport à une vitesse de 20 km/h sur la ligne droite, 95,8 % des paires OD n'ont aucune alternative. Cela signifie que pour ce ratio, même le trajet le plus rapide n'atteint pas une qualité suffisante. Cette proportion diminue moins le ratio testé est restrictif. Pour un ratio de 3, soit trois fois plus lent que de parcourir la ligne droite à 20 km/h, il y a seulement 20,1 % des paires OD dont l'alternative la plus rapide n'atteint pas cette vitesse. Alors que pour 59,3 % des paires OD, au moins 2 alternatives (donc au minimum la plus rapide et une autre), atteignent cette vitesse de 6,6 km/h sur la ligne droite (soit 3 fois plus lent que 20 km/h).

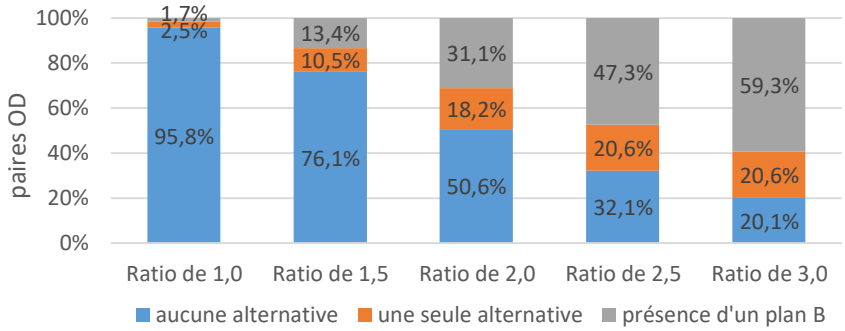

Figure 5.14 Distribution des paires OD selon le nombre d'alternatives de transport en commun en fonction du ratio de temps pour une vitesse théorique de 20 km/h

Contrairement à la qualité relative, l'introduction de seuils de qualité absolue ne nécessite pas de conserver au minimum 1 alternative par paire origine-destination. Effectivement, vu que le seuil de qualité minimale de 3,0 par rapport à 20 km/h sur la ligne droite ne permet que de conserver le 80^{e} percentile de paires OD avec un moins un trajet de qualité suffisante, cela signifie que 20 % des paires OD n'ont aucune diversité d'alternative. On observe cela au tableau 5.8, alors que le nombre minimum d'alternatives par paire OD est de 0 pour l'ensemble des seuils de qualité absolue. De plus, la médiane est de 0 jusqu'à un ratio de 2 par rapport à 20 km/h sur la ligne droite, ce qui signifie que 50 % des paires OD n'ont aucune alternative de transport en commun de qualité absolue suffisante pour ces ratios. La médiane est de 2 à partir d'un ratio de 2,6. La moitié des paires OD a donc accès à un plan B de qualité selon ces critères. Pour les ratios les plus restrictifs (ratio de 1 à 1,5), même le 75^{e} percentile des paires OD n'a aucune alternative de qualité absolue suffisante.

Tableau 5.8 Résumé statistique du nombre d'alternatives par paire OD selon les ratios de temps pour une vitesse théorique de 20 km/h

	25^{e} percentile	Médiane	Moyenne	75^{e} percentile
Ratio de 1.0	0	0	0.1	0
Ratio de 1.5	0	0	1.3	0
Ratio de 2.0	0	0	3.6	2
Ratio de 2.5	0	1	6.4	7
Ratio de 3.0	1	2	8.7	11

CHAPITRE 6 DIVERSITÉ DES ALTERNATIVES

Dans ce chapitre, la diversité d'alternatives de commun est évaluée selon la qualité relative et selon la qualité absolue. Les seuils de qualité suffisante développés au chapitre précédent sont utilisés afin de filtrer le sous-ensemble d'alternatives.

Les analyses des chapitres précédents ont été effectuées à partir des observations non pondérées de l'enquête Origine-Destination de 2018, puisque l'objectif était de développer une méthode d'évaluation de la qualité et de la diversité des alternatives de transport en commun. La présente section utilise les données pondérées, afin de poser un diagnostic de la qualité et de la diversité d'alternatives sur le territoire d'enquête qui soit représentatif de la population.

Tel qu'expliqué au chapitre précédent, la qualité relative est basée sur le temps de parcours de l'alternative la plus rapide. Un facteur multiplicatif de temps par rapport à ce trajet le plus rapide est calculé pour toutes les alternatives générées par paire OD. Les facteurs sélectionnés comme étant de bons seuils de qualité suffisante varient entre 1,1 et 1,5.

La qualité absolue, quant à elle, est basée sur une valeur de référence objective, et permet de filtrer les différents trajets générés pour une paire origine-destination indépendamment du trajet le plus rapide. Pour ce faire, un ratio de temps est calculé entre le temps de parcours de l'alternative concernée et le temps pour parcourir la distance euclidienne entre l'origine et la destination à une vitesse théorique donnée. La vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite a été préalablement définie au chapitre précédent. Des ratios de temps entre 1,0 et 3,0 sont testés afin d'évaluer la diversité d'alternatives de transport en commun selon ces seuils de qualité absolue.

La diversité d'alternatives de transport en commun qui respectent ces critères de qualité relative et absolue est évaluée, selon les caractéristiques spatio-temporelles du déplacement : origine, destination, heure de départ. Ces analyses ont pour objectif de vérifier si le même niveau de qualité des alternatives de transport en commun est observé pour une distribution spatiale et temporelle. Pour ce faire, la part des paires origine-destination avec un plan B (2 alternatives ou plus) est étudiée pour chacun des seuils de qualité établis au chapitre précédent. Ensuite, une analyse de l'équité dans la distribution des alternatives TC de qualité suffisante est présentée.

6.1 Analyse spatio-temporelle de la diversité

La diversité et la qualité d'alternatives de transport en commun ne sont pas distribuées équitablement sur le territoire de l'enquête Origine-Destination de 2018. La figure 6.1 présente la part des paires OD qui possèdent un plan B (au moins deux alternatives de TC de qualité suffisante), par secteur d'origine selon une qualité relative. Les déplacements pour motif retour au domicile sont exclus, de même que les secteurs municipaux pour lesquels il y a moins de 30 observations.

Pour un facteur multiplicatif de 1,1, seul le secteur d'origine 405 (Laval : Vimont, Auteuil) a entre 80 % et 100 % de paires OD avec un plan B. Le secteur avec la plus faible proportion de paires OD avec au moins deux alternatives est 643 (Blainville) avec 21,0 %. Les origines sur la couronne sud ont une plus forte diversité d'alternatives de transport en commun. Sur l'île de Montréal, la plupart des secteurs ont entre 40 % et 60 %, à l'exception de 103 (Montréal : Sud-Ouest), 115 (Montréal-Est), 107 (Montréal : Villeray), 101 (Montréal : Centre-ville) et 111 (Montréal : Sud-Ouest). Effectivement, le centre-ville de Montréal est parmi les secteurs d'origine sur l'île avec la moins grande proportion (38,7 %) de déplacement pour lesquels un plan B est disponible. Cette proportion serait probablement plus élevée si les déplacements pour motif retour au domicile étaient inclus dans l'analyse spatiale. Pour un facteur de 1,2 et de 1,3, le secteur avec la plus faible proportion de paires OD avec un plan B est également 643 (Blainville) avec respectivement 32,3 % et 38,4 %, puis la proportion la plus élevée est le secteur 546 (Châteauguay, Léry) avec 92,9 % et 94,0 %. Le seul secteur d'origine sur l'île de Montréal avec moins de 60 % de paires OD avec un plan B pour un seuil de qualité relative de 1,3 est 107 (Montréal : Villeray) avec 59,4 %.

Le secteur d'origine avec la plus faible proportion de paires OD avec un plan B pour un facteur de 1,4 est 631 (Saint-Eustache) avec 46,5 % et la part la plus élevée le secteur 546 (Châteauguay, Léry) avec 94,0 %. Tous les secteurs d'origine ont plus de 40 % de paires OD avec deux alternatives ou plus pour ce critère de qualité relative. Sur l'île de Montréal, la plus faible proportion se situe dans le secteur 107 (Montréal : Villeray) avec 63,7 %. Pour le facteur le moins restrictif de 1,5 par rapport au temps du trajet le plus rapide, le secteur d'origine avec la plus faible proportion de paires OD avec un plan B est 643 (Blainville) avec 46,9 % et la proportion la plus élevée dans le secteur 405 (Laval : Vimont, Auteuil) avec 95,1 %. Pour ce seuil de qualité relative, la majorité des secteurs d'origine ont plus de 80 % des paires OD avec un plan B, les plus faibles proportions se situant encore sur la couronne nord.

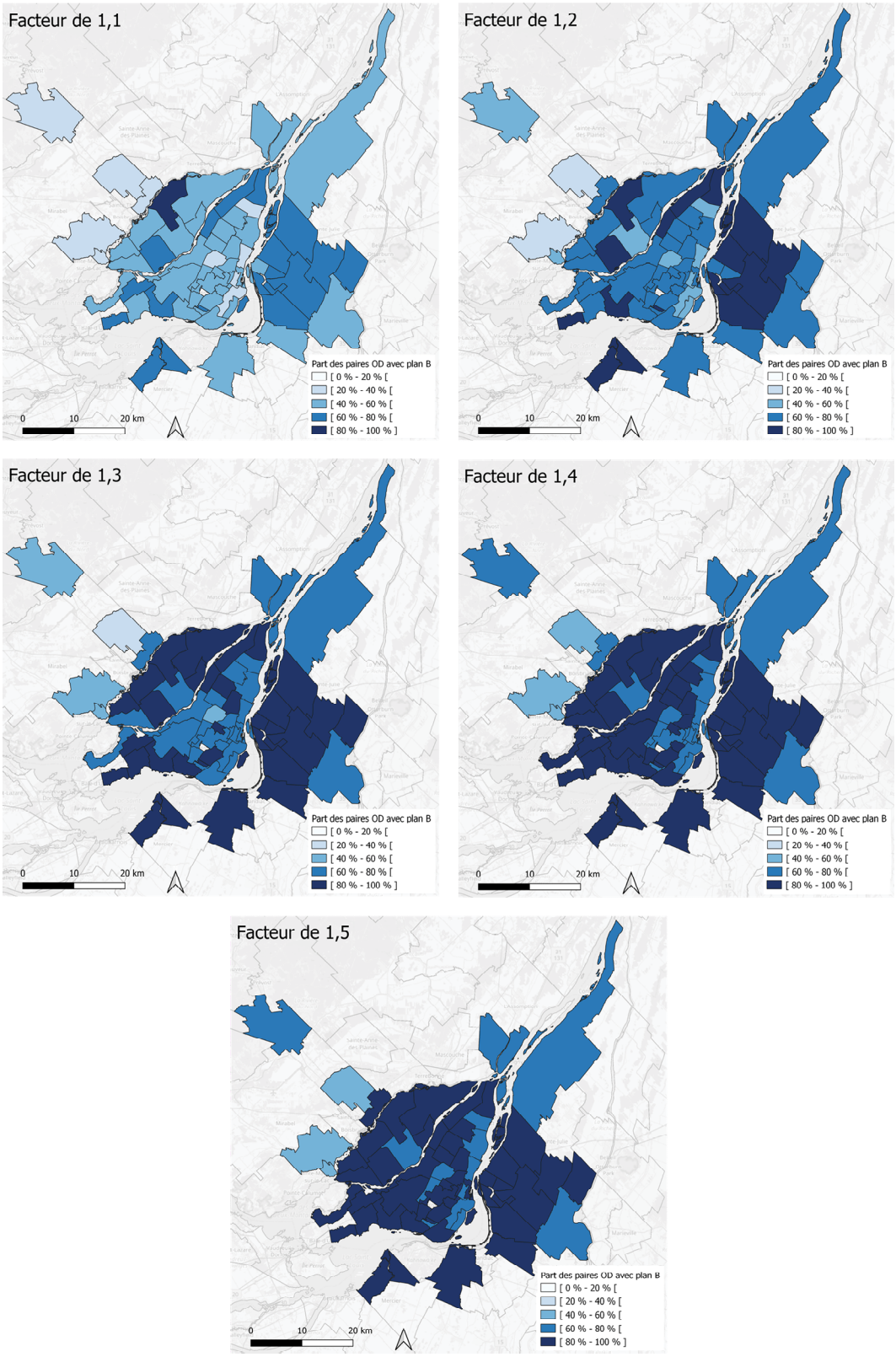

Figure 6.1 Part des paires OD avec un plan B selon le secteur d'origine et le facteur multiplicatif de temps de parcours (qualité relative), excluant les retours au domicile

La figure 6.2 présente la distribution spatiale des paires OD avec un plan B selon une qualité absolue par secteur d'origine, pour les déplacements sur 24h, excluant les retours au domicile, selon les ratios de temps par rapport à une vitesse de 20 km/h sur la ligne droite. Les parts de paires OD avec un plan B par secteur d'origine sont identiques pour les ratios de 1,0 et 1,5. Ces proportions sont assez faibles, avec leurs valeurs maximales dans les secteurs 522 (Saint-Basile-le-Grand) avec 48,2 %, 532 (Verchères, Calixa-Lavallée, Varennes, Contrecoeur) avec 46,2 % et 521 (Carignan, Chambly) avec 44,7 %. De plus, 41 % des secteurs d'origine n'ont aucune paire OD avec un plan B.

Dès que le seuil de qualité absolue est plus permissif et établi à un ratio de 2 par rapport à une vitesse de 20 km/h sur la distance euclidienne OD, aucun secteur n'a 0 % de paires OD avec un plan B. Par ailleurs, le secteur d'origine avec la plus faible proportion de paires OD avec un plan B est 122 (Westmount) avec 0,9 % pour un ratio de 2,0, 10,3 % pour un ratio de 2,5 et 32,3 % pour un ratio de 3,0. Pour un ratio de 2,0, le centre de Montréal a une plus faible proportion de paires origine-destination avec au moins deux alternatives que le reste de l'île. Le secteur 309 (Boucherville) a la plus grande part de paires OD avec un plan B pour les ratios de 2,5 et 3,0 avec 92,4 % et 93,1 % respectivement.

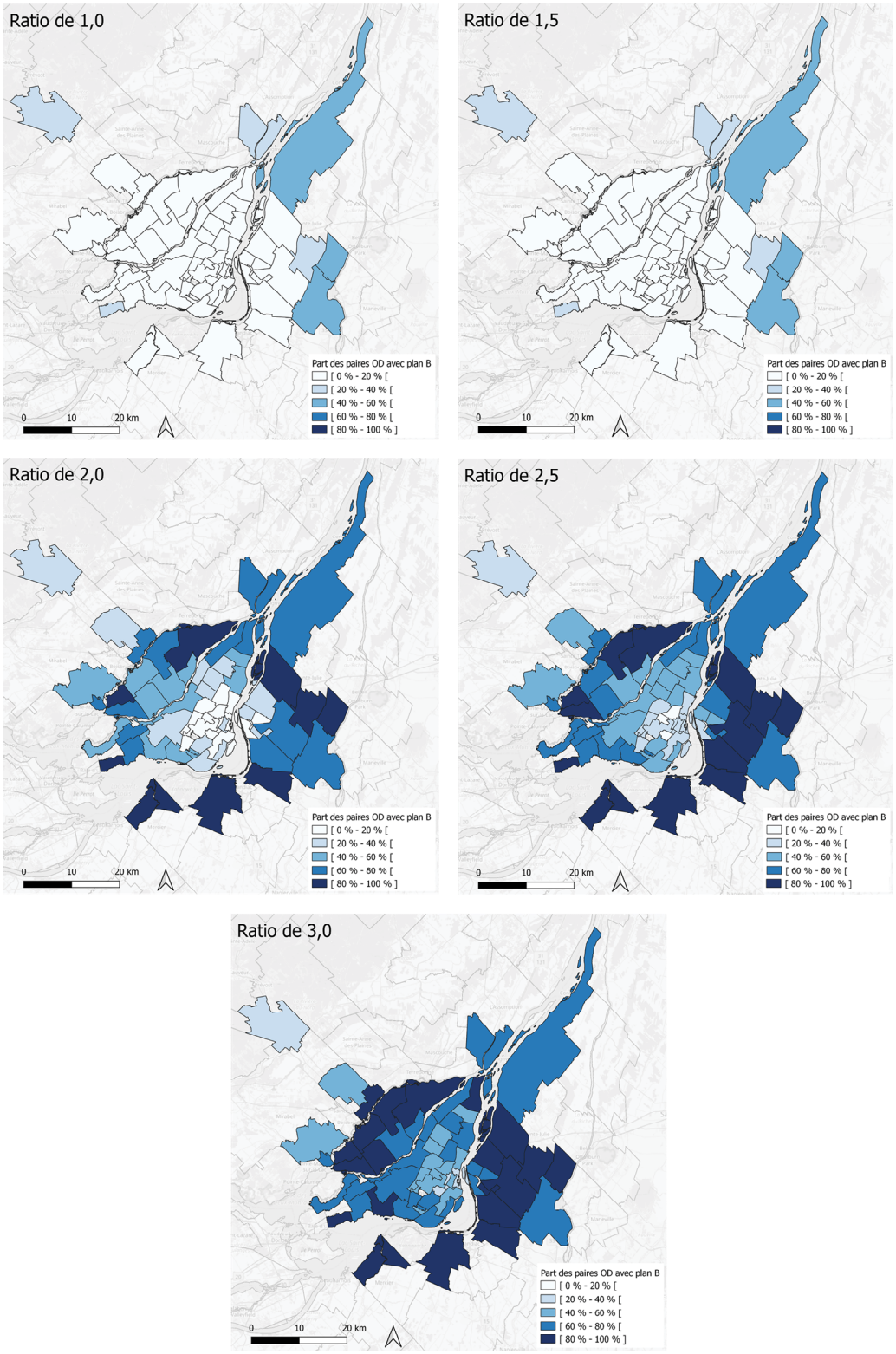

Figure 6.2 Part des paires OD avec un plan B selon le secteur d'origine et le ratio de temps par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite (qualité absolue), excluant les retours au domicile

Pour les destinations, selon une qualité relative (basée sur un facteur de temps par rapport au trajet le plus rapide), la distribution spatiale des secteurs avec un plan B est plus faible sur la couronne nord, soit pour les secteurs 642 (Sainte-Thérèse) et 661 (Saint-Jérôme). Pour un facteur de 1,1, moins de 20 % des paires OD possèdent un plan B pour ces deux secteurs, mais la majorité des secteurs ont entre 40 % et 60 % de paires OD avec un plan B. Le secteur avec la plus forte proportion est 130 (Dorval, L'Île-Dorval) avec 64,6 %. Pour un facteur de 1,2, le secteur avec la plus grande part de paires OD avec deux alternatives TC ou plus est 122 (Westmount) avec 77,4 %. Enfin, pour un facteur de 1,5, le secteur 110 (Montréal : Rosemont) est celui avec la plus grande part de paires OD avec un plan B, soit de 90,3 %.

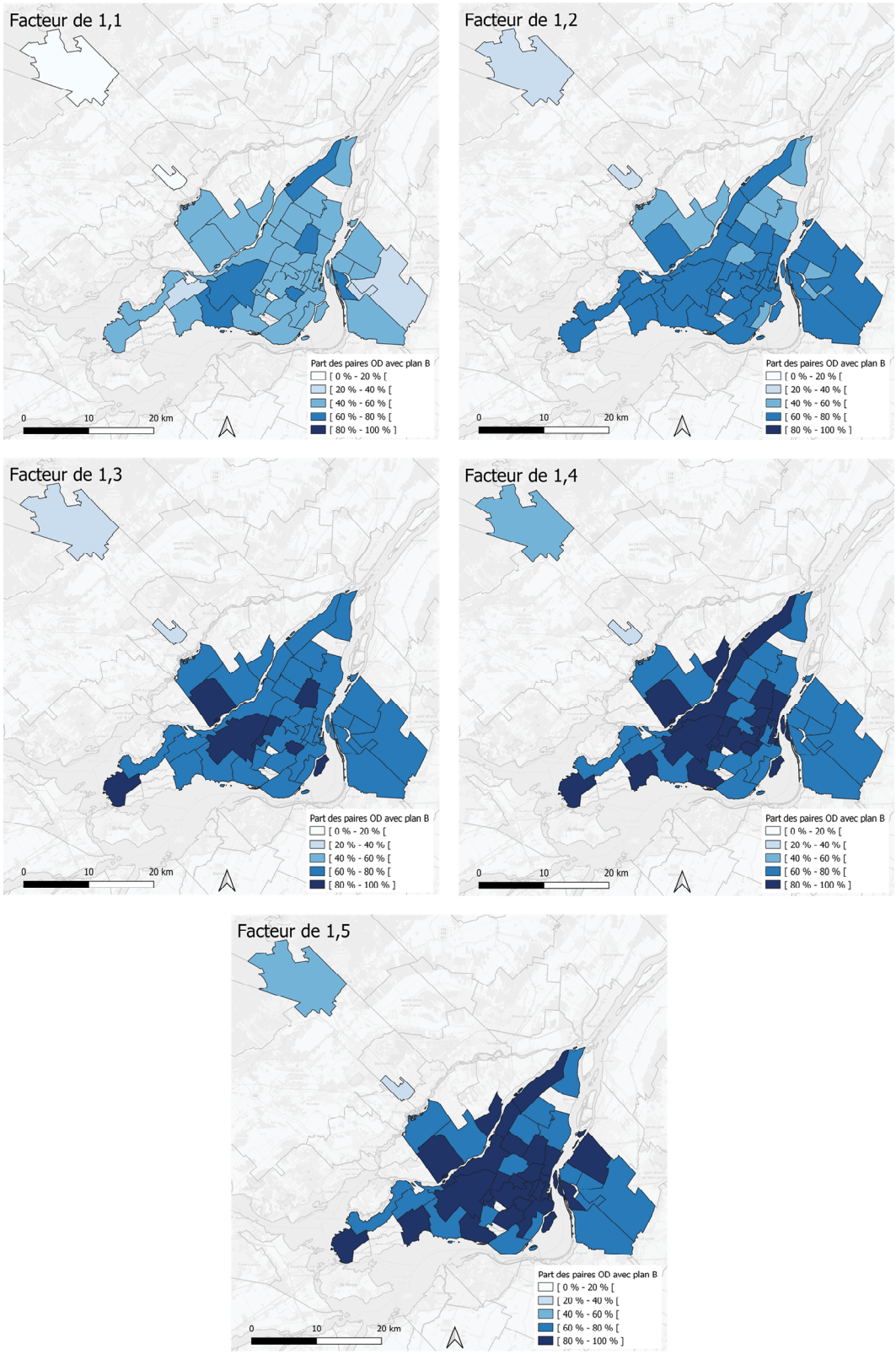

Figure 6.3 Part des paires OD avec un plan B selon le secteur de destination et le facteur multiplicatif de temps de parcours (qualité relative), excluant les retours au domicile

Selon une qualité absolue, soit basée sur une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite OD, 36,3 % des secteurs de destination n'ont aucune paire OD avec un plan B pour les ratios de temps de 1,0 et 1,5. Plus encore, 38,6 % des secteurs municipaux ont moins de 1% de paires OD pour lesquelles un plan B est disponible. Pour ces ratios, le secteur avec la plus forte proportion de paires OD avec au moins deux alternatives de transport en commun est 661 (Saint-Jérôme) avec 5,6 %, ce qui est très faible. En fait, tous ratios confondus, la couronne nord affiche les plus faibles proportions.

Déjà lorsque le seuil de qualité absolue minimale est augmenté à un ratio de 2,0, la part minimale observée de paires OD avec un plan B est de 8,6% dans le secteur 117 (Montréal : Saint-Léonard) et la part maximale de 65,1 % dans le secteur 144 (Sainte-Anne-de-Bellevue, Senneville). Au cœur de l'île de Montréal, le secteur 101 (Montréal : Centre-ville) est celui avec la plus forte proportion de paires OD avec un plan B (44,4 %) en tant que lieu de destination, contrairement aux déplacements qui y ont leur origine.

Pour les ratios de 2,5 et de 3,0, le secteur de destination avec la plus faible proportion est 661 (Saint-Jérôme) avec respectivement 11,7 % et 19,8 % de paires OD avec un plan B, puis la proportion la plus élevée dans le secteur 144 (Sainte-Anne-de-Bellevue, Senneville) avec 71,3 % et 79,8 %. Cela s'explique peut-être par la demande de déplacements vers le campus Macdonald de l'Université McGill. En effet, 82,2 % des déplacements à destination de ce secteur (excluant les retours au domicile) sont pour motif études.

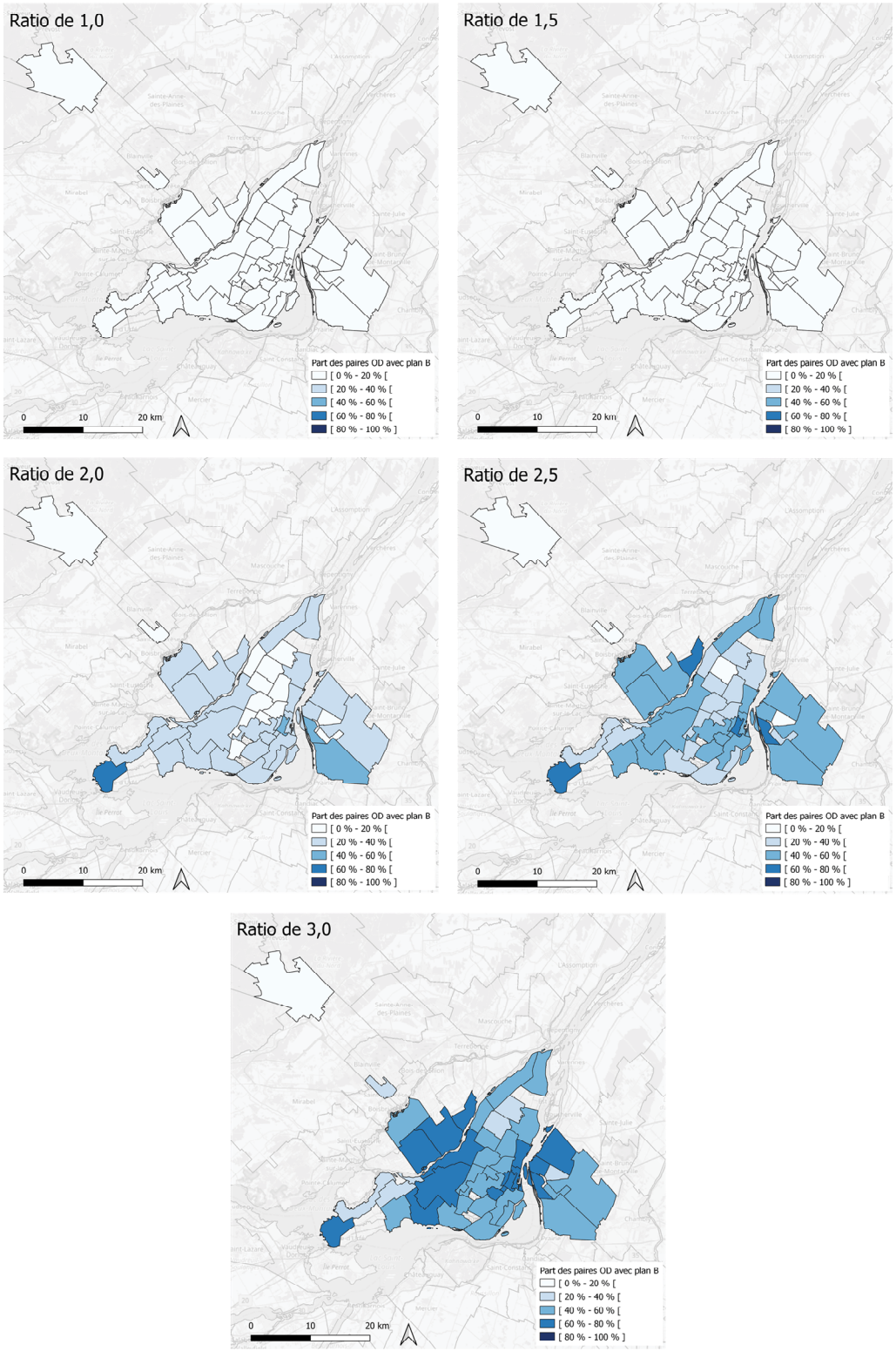

Figure 6.4 Part des paires OD avec un plan B selon le secteur de destination et le ratio de temps par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite (qualité absolue), excluant les retours au domicile

Néanmoins, l'un des déterminants majeurs dans le choix du transport en commun est sa disponibilité autant à l'origine qu'à la destination, au moment souhaité. Les matrices origine-destination montrent le nombre moyen d'alternatives par paire OD selon une qualité relative (figure 6.5) ou une qualité absolue (figure 6.6). Les cases sans coloration représentent les secteurs municipaux qui ne contiennent pas, ou trop peu (moins de 30), d'observations de déplacements en transport en commun déclarés dans l'enquête OD de 2018.

Selon une qualité relative, basée sur un facteur multiplicatif de temps par rapport à l'alternative la plus rapide, la part de paires OD avec un plan B augmente pour tous les secteurs moins le facteur est restrictif. Pour un facteur de 1,1, toutes les combinaisons de secteurs, à l'exception de celles à destination du centre-ville (1ère colonne de gauche) n'ont aucune paire OD avec un plan B. Déjà à partir d'un facteur de 1,2 on observe une augmentation de la diversité d'alternatives pour les déplacements sur l'île de Montréal (coin en haut à gauche). Les déplacements internes (la diagonale) atteignent des parts de paires OD avec un plan B qui dépassent les 50 % dès un facteur de 1,3.

Selon une qualité absolue, basée sur un ratio par rapport à la vitesse de 20 km/h sur la ligne droite OD, la part de paires OD avec un plan B n'augmente pas au même rythme pour tous les déplacements. Pour un ratio de 1,0, aucune paire OD n'a de plan B et pour des ratios de 1,5 et 2,0 seuls quelques déplacements à destination du centre-ville ont au moins deux alternatives TC de qualité. À partir d'un ratio de 2,5, on remarque une amélioration de la diversité pour plusieurs secteurs d'origine et de destination, à l'exception des déplacements internes.

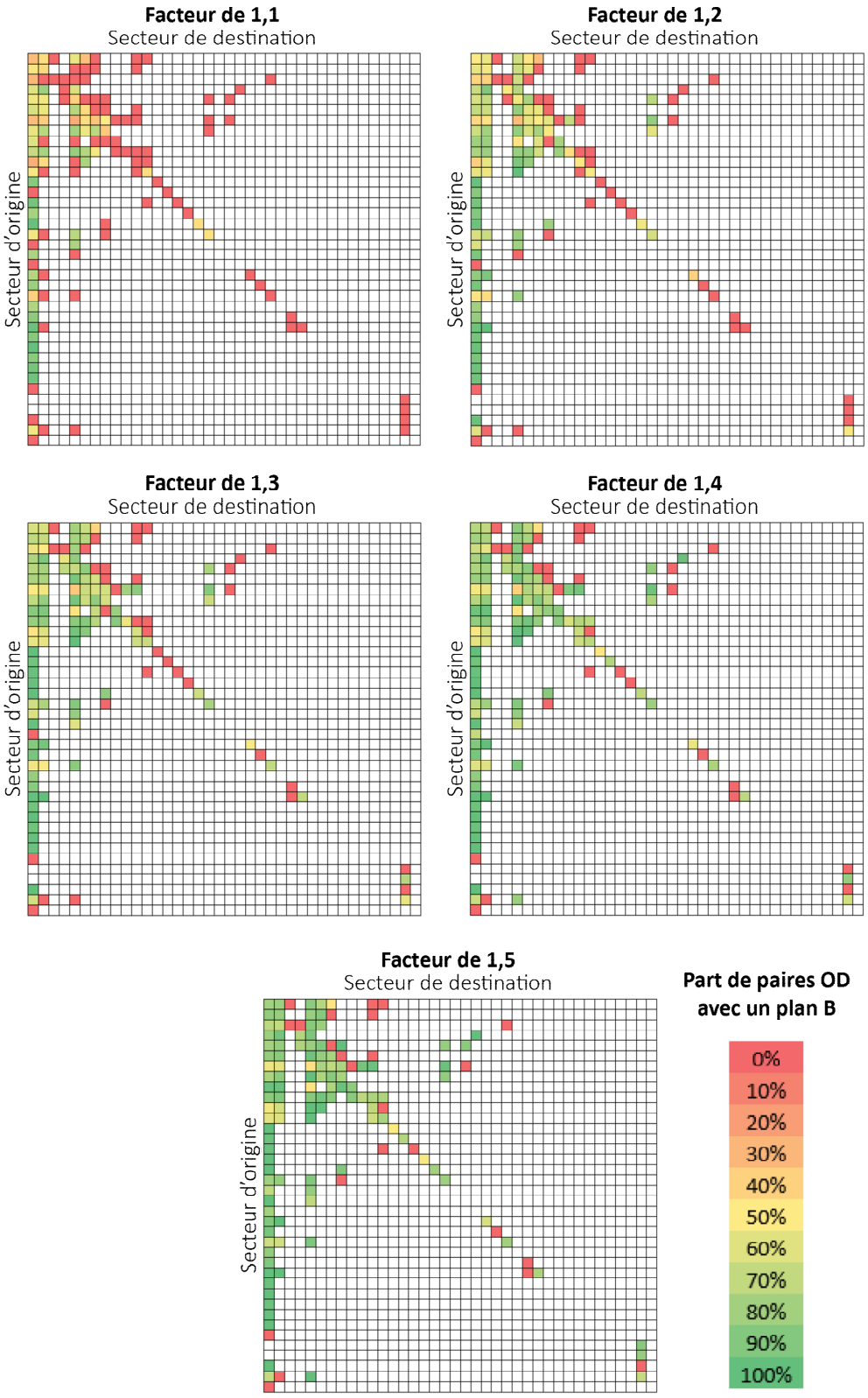

Figure 6.5 Matrices origine-destination de la part des paires OD avec plan B selon le facteur multiplicatif de temps de parcours (qualité relative)

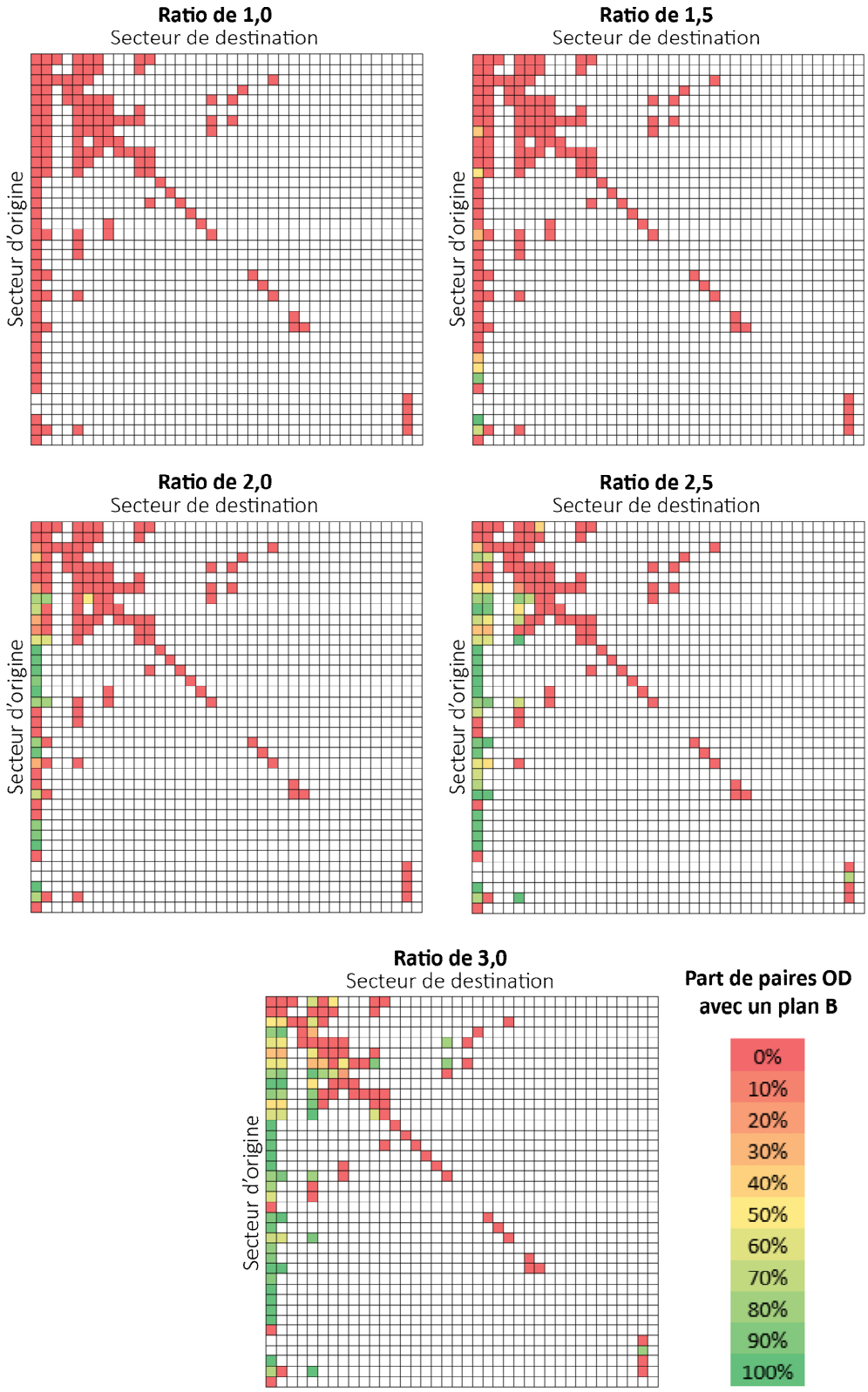

Figure 6.6 Matrices origine-destination de la part des paires OD avec plan B selon le ratio de temps par rapport à 20 km/h sur la ligne droite (qualité absolue)

La diagonale des matrices origine-destination représente les déplacements internes, soit 124 015 (13,2 %) des déplacements du sous-ensemble de données. Les tableaux ci-dessous (tableau 6.1 et tableau 6.2) présentent la part de paires OD avec un plan B pour les déplacements internes (origine et destination dans le même secteur municipal) et les déplacements externes (origine et destination dans deux secteurs municipaux distincts). Pour tous les seuils de qualité minimale testés, les déplacements internes ont une moins grande proportion de paires OD avec un plan B. L'écart est plus important pour les seuils de qualité absolue. En effet, pour des ratios de temps de 1,5 et de 2,0 par rapport à une vitesse de 20 km/h sur la ligne droite, moins de 1 % des paires OD ont un plan B pour les déplacements internes alors que pour les déplacements externes 15,6 % et 36,7 % ont un plan B pour ces ratios.

Tableau 6.1 Part des paires OD avec un plan B pour les déplacements internes et externes selon un facteur de temps de parcours par rapport à l'alternative la plus rapide (qualité relative)

	Observations		Population		Qualité relative				
	nb	%	nb	%	fac1.1	fac1.2	fac1.3	fac1.4	fac1.5
Déplacement interne	4421	13.1%	124015	13.2%	35.6%	51.2%	62.2%	69.0%	73.6%
Déplacement externe	29257	86.9%	818735	86.8%	53.1%	69.4%	76.4%	80.1%	82.7%

Tableau 6.2 Part des paires OD avec un plan B pour les déplacements internes et externes selon un ratio de temps par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite OD (qualité absolue)

	Observations		Population		Qualité absolue				
	nb	%	nb	%	r1.0	r1.5	r2.0	r2.5	r3.0
Déplacement interne	4421	13.1%	124015	13.2%	0.0%	0.1%	0.7%	5.3%	13.8%
Déplacement externe	29257	86.9%	818735	86.8%	1.6%	15.6%	36.7%	54.6%	67.3%

Ces cartes et matrices présentent les parts de paires OD avec un plan B par secteur d'origine ou de destination sur 24 heures. Cependant, la répartition de la qualité et de la diversité des alternatives de transport en commun varie dans le temps, pas uniquement dans l'espace. Une analyse par heure de départ est donc nécessaire afin de bien évaluer la diversité d'alternatives. Les déplacements

effectués entre minuit et 4h59 sont agrégés en tant que « nuit » puisqu'il n'y a pas assez de déplacements TC observés dans l'enquête Origine-Destination de 2018 pour ces heures de départ.

Pour les deux mesures de qualité des alternatives de transport en commun (qualité relative : tableau 6.3 et qualité absolue : tableau 6.4), la pointe AM (5h00 à 7h59) offre une meilleure diversité de trajets, suivie par la pointe PM (16h00 à 17h59). Selon une qualité relative, les plages horaires avec la plus faible proportion de paires OD avec un plan B sont de 22h00 à 4h49, tandis que selon une qualité absolue, ce sont plutôt les déplacements de milieu de journée qui ont une moins bonne diversité d'alternatives. En fait, pour les deux mesures de qualité, les déplacements en milieu de journée n'ont pas une grande part de paires OD avec deux alternatives ou plus.

Tableau 6.3 Part des paires OD avec un plan B selon l'heure de départ selon un facteur multiplicatif de temps de parcours par rapport à l'alternative la plus rapide (qualité relative)

	observations		population		qualité relative				
	nb	%	nb	%	fac1.1	fac1.2	fac1.3	fac1.4	fac1.5
nuit	177	0.5%	4968	0.5%	43.1%	57.6%	64.9%	67.4%	68.2%
5h00 à 5h59	316	0.9%	8970	1.0%	53.5%	74.3%	78.8%	80.7%	83.4%
6h00 à 6h59	1568	4.7%	45274	4.8%	65.2%	80.5%	86.1%	88.7%	89.7%
7h00 à 7h59	4636	13.8%	129625	13.7%	57.3%	74.0%	81.4%	85.0%	87.3%
8h00 à 8h59	3961	11.8%	114374	12.1%	51.0%	65.8%	73.1%	77.1%	80.2%
9h00 à 9h59	1478	4.4%	40741	4.3%	49.6%	65.3%	73.8%	78.3%	80.9%
10h00 à 10h59	1184	3.5%	31677	3.4%	44.8%	60.2%	69.4%	73.6%	76.5%
11h00 à 11h59	1065	3.2%	28312	3.0%	38.3%	57.3%	67.0%	72.3%	75.5%
12h00 à 12h59	1307	3.9%	34597	3.7%	44.6%	59.3%	68.0%	73.7%	76.7%
13h00 à 13h59	1154	3.4%	31502	3.3%	45.3%	61.8%	70.9%	75.1%	77.9%
14h00 à 14h59	1296	3.8%	34135	3.6%	46.4%	62.1%	71.2%	75.2%	78.8%
15h00 à 15h59	2780	8.3%	75731	8.0%	50.2%	67.5%	75.2%	79.0%	82.2%
16h00 à 16h59	4095	12.2%	111956	11.9%	54.8%	71.0%	77.4%	81.4%	83.9%
17h00 à 17h59	3898	11.6%	112332	11.9%	50.2%	67.4%	73.7%	77.9%	81.4%
18h00 à 18h59	1929	5.7%	55068	5.8%	49.6%	65.3%	72.5%	76.8%	79.4%
19h00 à 19h59	812	2.4%	23353	2.5%	44.5%	61.4%	68.4%	75.0%	78.1%
20h00 à 20h59	597	1.8%	16701	1.8%	42.7%	60.5%	69.6%	73.8%	77.1%
21h00 à 21h59	704	2.1%	21680	2.3%	46.6%	61.3%	69.4%	74.5%	77.5%
22h00 à 22h59	458	1.4%	13254	1.4%	36.5%	52.0%	62.4%	69.1%	76.8%
23h00 à 23h59	263	0.8%	8501	0.90%	40.9%	58.2%	68.2%	71.8%	76.0%
TOTAL	33678	100%	942750	100%	**50.8%**	**67.1%**	**74.5%**	**78.7%**	**81.5%**

Tableau 6.4 Part des paires OD avec un plan B selon l'heure de départ selon un ratio de temps par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite OD (qualité absolue)

	Observations		Population		Qualité absolue				
	nb	%	nb	%	r1.0	r1.5	r2.0	r2.5	r3.0
nuit	177	0.5%	4968	0.5%	0.0%	11.6%	32.1%	41.3%	53.5%
5h00 à 5h59	316	0.9%	8970	1.0%	4.6%	32.2%	55.5%	70.2%	76.4%
6h00 à 6h59	1568	4.7%	45274	4.8%	4.8%	31.3%	57.3%	73.4%	82.1%
7h00 à 7h59	4636	13.8%	129625	13.7%	1.9%	16.9%	38.8%	57.0%	69.1%
8h00 à 8h59	3961	11.8%	114374	12.1%	0.9%	11.3%	29.4%	45.5%	59.6%
9h00 à 9h59	1478	4.4%	40741	4.3%	0.5%	8.9%	25.6%	42.4%	56.2%
10h00 à 10h59	1184	3.5%	31677	3.4%	0.2%	7.5%	21.7%	37.2%	51.3%
11h00 à 11h59	1065	3.2%	28312	3.0%	0.3%	5.9%	19.4%	35.0%	47.9%
12h00 à 12h59	1307	3.9%	34597	3.7%	1.1%	9.6%	21.8%	34.7%	49.6%
13h00 à 13h59	1154	3.4%	31502	3.3%	0.9%	6.7%	22.9%	36.0%	47.1%
14h00 à 14h59	1296	3.8%	34135	3.6%	0.3%	8.0%	21.2%	35.5%	50.3%
15h00 à 15h59	2780	8.3%	75731	8.0%	0.8%	9.9%	24.8%	39.8%	51.7%
16h00 à 16h59	4095	12.2%	111956	11.9%	2.0%	16.7%	36.8%	52.4%	63.5%
17h00 à 17h59	3898	11.6%	112332	11.9%	1.6%	16.0%	35.2%	51.1%	62.6%
18h00 à 18h59	1929	5.7%	55068	5.8%	1.1%	12.8%	31.0%	49.3%	61.3%
19h00 à 19h59	812	2.4%	23353	2.5%	1.3%	10.5%	27.0%	43.5%	53.2%
20h00 à 20h59	597	1.8%	16701	1.8%	0.5%	11.6%	28.6%	47.2%	58.6%
21h00 à 21h59	704	2.1%	21680	2.3%	1.2%	10.7%	25.6%	45.6%	59.5%
22h00 à 22h59	458	1.4%	13254	1.4%	0.3%	9.8%	31.7%	47.1%	59.1%
23h00 à 23h59	263	0.8%	8501	0.90%	0.0%	8.0%	28.1%	46.9%	57.1%
TOTAL	33678	100%	942750	100%	**1.4%**	**13.6%**	**31.9%**	**48.1%**	**60.3%**

6.2 Analyse de la vulnérabilité

Il a été démontré que la distribution spatiotemporelle de la qualité et de la diversité des alternatives de transport en commun n'est pas équitable. Afin d'analyser l'équité d'accès à des alternatives TC de qualité en quantité suffisante parmi la population, les différences entre les segments de population avec au moins une vulnérabilité (incapacité physique ou intellectuelle, femme, moins de 16 ans, 65 ans et plus, ménage sans auto, ménage à faible revenu, ménage d'une personne ou ménage monoparental) et les segments de population n'ayant pas de telles vulnérabilités, sont étudiées.

Les segments de populations vulnérables ont une plus faible part de paires OD avec un plan B pour tous les seuils de qualité relative (tableau 6.5) et de qualité absolue (tableau 6.6) testés. Par

exemple, pour un facteur de 1,1 par rapport au temps du trajet le plus rapide (qualité relative), 49,4% des paires OD ont un plan B pour les personnes avec au moins une vulnérabilité et cette proportion est de 55,5 % pour les personnes n'ayant aucune vulnérabilité. Cet écart est encore plus significatif lorsque la qualité absolue est analysée, avec 56,8 % de paires OD avec un plan B pour les individus avec au moins une vulnérabilité contre 72,2 % pour les individus sans aucune vulnérabilité. Toutefois, les femmes et les hommes affichent des proportions similaires de paires OD avec un plan B pour les deux qualités, quoique légèrement supérieures chez les hommes.

Globalement, les personnes avec une incapacité physique ou intellectuelle, les personnes de moins de 16 ans, les personnes de 65 ans et plus, les ménages sans auto, les ménages à faible revenu et les personnes seules ont des parts de paires OD avec un plan B inférieures à celles de leur contrepartie. De plus, selon une qualité relative, les personnes de 65 ans et plus sont le groupe avec la moins bonne diversité d'alternatives. En effet, pour un facteur de 1,5 par rapport au temps de l'alternative la plus rapide, seulement 73,8 % des individus ont un plan B comparativement à 82,2% pour les 16 à 64 ans.

Le cas particulier des ménages monoparentaux, bien que le taux d'échantillonnage soit assez faible, démontre l'importance d'évaluer les alternatives selon une qualité absolue. En effet, les ménages monoparentaux ont une proportion de paires OD avec un plan B plus élevée que les ménages non monoparentaux pour les seuils de qualité relative, mais les pires proportions pour les seuils de qualité absolue. En fait, pour un ratio de temps de 3 par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite OD, seulement 22,9 % des paires OD ont un plan B pour les ménages monoparentaux alors que cette proportion est de 60,3 % pour les ménages non monoparentaux. Cela est dû au fait que leur trajet le plus rapide n'atteint pas une qualité suffisante par rapport à une vitesse de 20 km/h sur la ligne droite, leur plan B n'atteint donc pas lui non plus une qualité minimale souhaitable.

Tableau 6.5 Part des paires OD avec un plan B selon les indicateurs de vulnérabilité selon un facteur multiplicatif de temps de parcours par rapport à l'alternative la plus rapide (qualité relative)

		Qualité relative				
		fac1.1	fac1.2	fac1.3	fac1.4	fac1.5
Incapacité physique ou intellectuelle	Avec	47.6%	66.0%	72.7%	77.8%	81.1%
	Sans	50.8%	67.1%	74.6%	78.7%	81.5%
Sexe	Femme	50.8%	66.7%	74.2%	78.2%	81.3%
	Homme	50.8%	67.4%	75.0%	79.2%	81.8%
Âge	Moins de 16 ans	48.3%	63.2%	72.5%	77.5%	80.8%
	16 à 64 ans	51.6%	68.1%	75.4%	79.4%	82.2%
	65 ans et plus	43.1%	57.6%	65.8%	70.5%	73.8%
Possession automobile	Ménage sans auto	45.1%	61.3%	69.8%	74.8%	78.2%
	Ménage avec 1+ auto	53.6%	69.9%	76.9%	80.6%	83.2%
Revenu du ménage	30 000$ ou moins	45.8%	61.1%	69.9%	74.8%	78.4%
	Plus de 30 000$	51.8%	68.2%	75.4%	79.4%	82.2%
Taille du ménage	Personne seule	46.0%	61.2%	69.3%	74.3%	77.7%
	2+ personnes	51.9%	68.4%	75.8%	79.7%	82.4%
Ménage monoparental	oui	55.4%	69.1%	82.1%	82.8%	84.9%
	non	50.8%	67.0%	74.5%	78.7%	81.5%
Personnes avec au moins une vulnérabilité		49.4%	65.5%	73.3%	77.5%	80.5%
Personnes sans aucune vulnérabilité		55.5%	72.5%	78.8%	82.7%	85.0%
Population totale		**50.8%**	**67.1%**	**74.5%**	**78.7%**	**81.5%**

Tableau 6.6 Part des paires OD avec un plan B selon les indicateurs de vulnérabilité selon un ratio de temps par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite OD (qualité absolue)

		Qualité absolue				
		r1.0	r1.5	r2.0	r2.5	r3.0
Incapacité physique ou intellectuelle	Avec	0.9%	11.1%	24.8%	39.7%	47.1%
	Sans	1.4%	13.6%	32.0%	48.2%	60.5%
Sexe	Femme	1.3%	12.9%	30.9%	46.7%	58.8%
	Homme	1.6%	14.4%	33.2%	49.8%	62.1%
Âge	Moins de 16 ans	0.1%	2.5%	11.1%	24.0%	37.6%
	16 à 64 ans	1.6%	15.1%	34.8%	51.6%	63.6%
	65 ans et plus	0.7%	5.7%	17.6%	29.3%	42.0%
Possession automobile	Ménage sans auto	0.3%	4.8%	18.8%	34.9%	49.0%
	Ménage avec 1+ auto	2.0%	18.0%	38.4%	54.6%	65.9%
Revenu du ménage	30 000$ ou moins	0.6%	6.1%	19.5%	36.6%	50.5%
	Plus de 30 000$	1.6%	15.1%	34.4%	50.4%	62.2%
Taille du ménage	Personne seule	0.7%	7.3%	22.8%	39.5%	53.1%
	2+ personnes	1.6%	15.1%	34.1%	50.1%	62.0%
Ménage monoparental	oui	0.0%	1.5%	7.1%	15.4%	22.9%
	non	1.4%	13.6%	32.0%	48.1%	60.3%
Personnes avec au moins une vulnérabilité		1.1%	11.0%	28.0%	44.0%	56.8%
Personnes sans aucune vulnérabilité		2.5%	22.5%	45.4%	61.9%	72.2%
Population totale		**1.4%**	**13.6%**	**31.9%**	**48.1%**	**60.3%**

Bien que la part de paires OD avec un plan B fasse état des différences dans la répartition des alternatives de transport en commun de qualité suffisante, il est préférable de comparer les distributions de la diversité.

Pour ce faire, le test de Kolmogorov-Smirnov (KS) est utilisé. Ce test statistique non paramétrique sert à comparer des distributions fréquentielles cumulées, même si elles ne suivent pas des distributions normales. L'analyse statistique est basée sur la valeur de D, qui représente la distance maximale entre deux distributions cumulées.

L'équation suivante permet de déterminer la valeur critique de D au niveau de significativité α, où n est le nombre d'observations du premier échantillon et m le nombre d'observations du deuxième échantillon. Les nombres d'observations pour chaque segment de population sont présentés au tableau 6.7. La valeur de c(α) pour un α de 5 % est de 1,358 (Lall, 2015).

$$D_{n,m} > c(\alpha)\sqrt{\frac{n+m}{nm}}$$

Équation 6.1 Valeur critique de D

Tableau 6.7 Répartition des segments de population

		Observations		Population	
		Nb	%	Nb	%
Incapacité physique ou intellectuelle	Avec	459	1.4%	12001	1.3%
	Sans	33219	98.6%	930749	98.7%
Sexe	Femme	18472	54.8%	513489	54.5%
	Homme	15206	45.2%	429262	45.5%
Âge	Moins de 16 ans	2683	8.0%	65981	7.0%
	16 à 64 ans	27652	82.1%	810916	86.0%
	65 ans et plus	3343	9.9%	65854	7.0%
Possession automobile	Ménage sans auto	10860	32.2%	311689	33.1%
	Ménage avec 1+ auto	22818	67.8%	631061	66.9%
Revenu du ménage	30 000$ ou moins	4784	14.2%	154985	16.4%
	Plus de 30 000$	28894	85.8%	787765	83.6%
Taille du ménage	Personne seule	5871	17.4%	179281	19.0%
	2+ personnes	27807	82.6%	763469	81.0%
Ménage monoparental	oui	52	0.2%	1107	0.1%
	non	33626	99.8%	941643	99.9%
Personnes avec au moins une vulnérabilité		25920	77.0%	728502	77.3%
Personnes sans aucune vulnérabilité		7758	23.0%	214248	22.7%
Population totale		**33678**	**100%**	**942750**	**100%**

L'hypothèse nulle est qu'il n'y a aucune différence entre les deux distributions, donc que les distributions sont similaires. L'hypothèse nulle est rejetée si la valeur de D (distance maximale entre les deux courbes) est supérieure à la valeur critique de D pour ces mêmes distributions. Le cas échéant, les distributions sont significativement différentes.

Les distributions du nombre d'alternatives de qualité suffisante (c.-à-d. alternatives respectant les facteurs multiplicatifs de temps de parcours par rapport au trajet le plus rapide ou le ratio de temps par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite OD) sont comparées pour les heures de départ. L'objectif est de mettre en évidence les similitudes de qualité et de diversité d'alternatives entre les groupes. La figure 6.7 présente un exemple de distance D maximale (flèche noire) de 19,6 % entre deux distributions cumulées, soit pour les ménages avec ou sans motorisation, selon un ratio de temps de 2 par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite OD (qualité absolue).

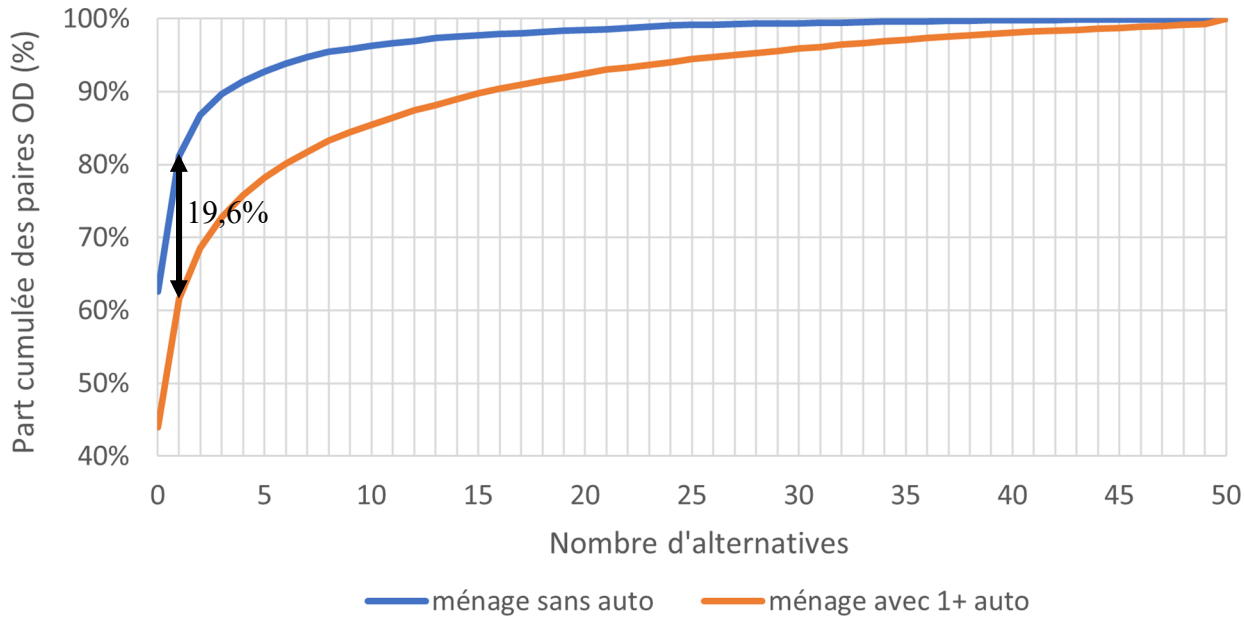

Figure 6.7 Distance (D) maximale entre les distributions cumulées de paires OD en fonction du nombre d'alternatives selon la motorisation du ménage pour un ratio de 2,0 par rapport à une vitesse de 20 km/h sur la ligne droite

Les distances D et la valeur critique de D pour chaque variable binaire sont présentées selon une qualité relative (tableau 6.8) et selon une qualité absolue (tableau 6.9). Lorsque l'écart entre les distributions cumulées est inférieur à la valeur critique de D, l'hypothèse nulle est acceptée, donc les distributions sont similaires. Par exemple, pour un facteur de 1,1, l'écart entre la distribution cumulée du nombre d'alternatives de qualité suffisante est de 5,1 % entre les individus avec une incapacité versus les individus sans incapacité. Certaines comparaisons dans les distributions entre les segments de vulnérabilité et les populations non vulnérables ne respectent pas l'hypothèse nulle pour l'ensemble des seuils de qualité relative et absolue testés. En effet, les moins de 16 ans ont une distribution différente du nombre d'alternatives par paire OD que les personnes de 16 ans et plus. Même chose pour les ménages sans auto (versus ménages avec 1+ auto), les ménages à faible revenu (versus les ménages à revenu plus élevé) et les ménages d'une personne (versus les ménages de deux personnes et plus).

Les distributions du nombre d'alternatives de transport en commun sont semblables pour les hommes et les femmes pour les facteurs multiplicatifs de 1,1 et 1,2, mais l'hypothèse nulle est rejetée dès le facteur de 1,3 puisque la distance D maximale entre les courbes cumulées est supérieure à la valeur critique de D de 1,49 %. Selon une qualité absolue, l'écart entre les distributions cumulées pour les hommes et les femmes est similaire uniquement pour un ratio de 1,0. Cependant, pour les autres seuils de qualité absolue, la valeur de D est supérieure à celle du D critique, l'hypothèse nulle est donc rejetée. Ce sont les femmes qui sont désavantagées dans la distribution du nombre d'alternatives de transport en commun par paires OD.

Tableau 6.8 Résultats du test KS pour les indicateurs de vulnérabilité : valeurs de $D < D_{critique}$ (en vert) selon un facteur multiplicatif de temps de parcours par rapport à l'alternative la plus rapide (qualité relative)

	Qualité relative					
	fac1.1	fac1.2	fac1.3	fac1.4	fac1.5	D critique
Avec vs sans incapacité physique ou intellectuelle	5.1%	5.5%	7.9%	10.6%	11.0%	6.4%
Femme vs homme	0.6%	1.3%	1.5%	1.6%	1.8%	1.5%
Moins de 16 ans vs 16 ans et plus	5.0%	8.4%	8.7%	9.5%	10.5%	2.7%
65 ans et plus vs moins de 65 ans	8.2%	11.0%	13.7%	15.2%	17.4%	2.6%
Ménage avec vs sans auto	8.7%	11.1%	12.2%	12.8%	13.6%	1.6%
Ménage avec vs sans faible revenu	5.6%	6.7%	8.0%	9.1%	10.0%	2.1%
Ménage d'une personne vs ménage de 2+ personnes	5.8%	8.4%	9.8%	10.3%	10.7%	2.0%
Ménage monoparental vs non-monoparental	3.8%	15.1%	18.4%	22.2%	24.3%	18.8%

Tableau 6.9 Résultats du test KS pour les indicateurs de vulnérabilité : valeurs de $D < D_{critique}$ (en vert) selon un ratio de temps par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite OD (qualité absolue)

	Qualité absolue					
	r1.0	r1.5	r2.0	r2.5	r3.0	D critique
Avec vs sans incapacité physique ou intellectuelle	2.5%	6.8%	14.7%	15.8%	14.6%	6.4%
Femme vs homme	1.1%	2.2%	2.7%	2.8%	3.0%	1.5%
Moins de 16 ans vs 16 ans et plus	3.5%	17.8%	28.7%	26.9%	22.2%	2.7%
65 ans et plus vs moins de 65 ans	2.4%	11.3%	18.2%	20.0%	19.5%	2.6%
Ménage avec vs sans auto	4.3%	15.2%	19.5%	20.1%	18.9%	1.6%
Ménage avec vs sans faible revenu	2.7%	11.6%	16.3%	13.9%	12.7%	2.1%
Ménage d'une personne vs ménage de 2+ personnes	2.3%	9.3%	12.0%	12.7%	12.1%	2.0%
Ménage monoparental vs non-monoparental	1.7%	20.1%	37.9%	39.1%	37.7%	18.8%

CHAPITRE 7 DÉSERTS D'ALTERNATIVES ET ÉQUITÉ

Ce chapitre vise à démontrer le potentiel de la méthode développée pour étudier l'équité d'accès à une qualité et une diversité d'alternatives de transport en commun. Les seuils des deux qualités proposées (qualité relative et qualité absolue) sont combinés afin de démontrer un exemple d'analyse possible. Pour évaluer la qualité et la diversité d'alternatives de transport en commun pour la population du territoire de l'enquête OD, les facteurs de pondération sont utilisés.

7.1 Définition de désert d'alternatives

Dans ce projet de recherche, on amène le concept de désert d'alternatives qui s'apparente à celui de désert de TC. On le définit comme étant un secteur où la population n'a pas accès à un plan B pour se déplacer en transport en commun, donc qui n'a pas de diversité d'alternatives de transport en commun. Il peut y avoir un seul, ou aucun, trajet disponible ayant un seuil de qualité suffisante.

7.2 Méthode

Les seuils de qualité suffisante des alternatives de transport en commun sont mis à l'épreuve afin d'identifier les déserts d'alternatives et les iniquités de diversité. Un seuil est choisi pour chacune des deux qualités proposées : la qualité relative (basée sur le temps du trajet le plus rapide) et la qualité absolue (basée sur une vitesse théorique sur la ligne droite). Les seuils testés dans ce chapitre sont les suivants :

- Qualité relative : facteur multiplicatif de 1,2 par rapport au temps de parcours de l'alternative la plus rapide
- Qualité absolue : ratio de temps de 2 par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite entre l'origine et la destination

Afin de créer le sous-ensemble d'alternatives, on filtre d'abord selon la qualité absolue du trajet le plus rapide. C'est-à-dire que seul ce trajet est évalué en fonction du seuil minimal de qualité par rapport à la vitesse théorique sur la distance euclidienne OD (ratio de 2 pour 20 km/h). Ensuite, pour les paires OD dont le trajet le plus rapide a une qualité suffisante, les autres alternatives sont évaluées en fonction de leur qualité relative. Seuls les trajets qui respectent un facteur multiplicatif de temps de parcours de 1,2 fois (20 % plus lent) celui de l'alternative la plus rapide sont conservés.

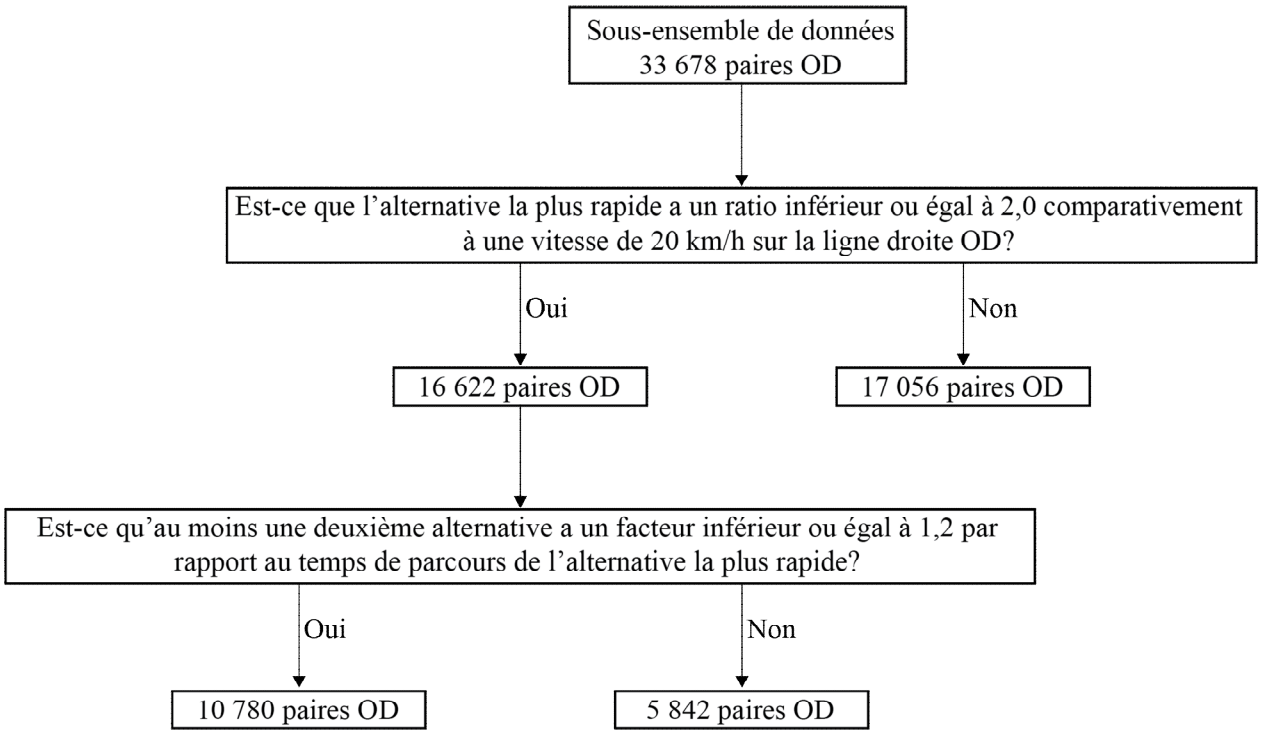

Figure 7.1 Processus d'identification des paires OD respectant les seuils de qualité combinés

Le tableau 7.1 présente l'effet des seuils de qualité suffisante sur la quantité de paires OD. On peut voir que, pour 50,1 % des paires OD, le trajet le plus rapide ne respecte pas un ratio de 2 par rapport à une vitesse de 20 km/h sur la distance euclidienne. Selon ce critère, aucune alternative de qualité suffisante n'est disponible pour effectuer ces déplacements. Lorsqu'on ajoute un seuil de qualité relative de 1,2 par rapport au trajet le plus rapide, cela retire 17,3 % paires OD supplémentaires. Cela signifie que seulement 32,6 % des paires OD du sous-ensemble ont au moins 2 alternatives de qualité suffisante selon ces critères combinés.

Tableau 7.1 Quantité de paires OD selon les seuils de qualité suffisante

	Observations			Population		
	Nb total	Nb retiré	% retiré	Nb total	Nb retiré	% retiré
Aucun	33 678	-	-	942 750	-	-
Le trajet le plus rapide a un ratio inférieur ou égal à 2 par rapport à 20 km/h sur la ligne droite OD	16 622	17 065	50,7 %	470 270	472 480	50,1 %
Présence d'un Plan B avec un facteur multiplicatif inférieur ou égal à 1,2 par rapport au temps du trajet le plus rapide	10 780	22 898	68,0 %	307 320	635 430	67,4 %

Tel qu'illustré à la figure 7.2, la moitié des paires OD n'ont aucune alternative de qualité suffisante selon les critères testés. C'est-à-dire que pour 50 % des paires OD, le trajet le plus rapide n'atteint pas une qualité absolue d'un ratio de 2 par rapport à une vitesse de 20 km/h sur la ligne droite entre l'origine et la destination. Seulement 33 %, soit le tiers, des paires OD ont un plan B, donc leur alternative la plus rapide respecte le seuil de qualité absolue et au moins une alternative respecte le seuil de qualité relative d'un facteur de 1,2 par rapport au temps de parcours du trajet le plus rapide.

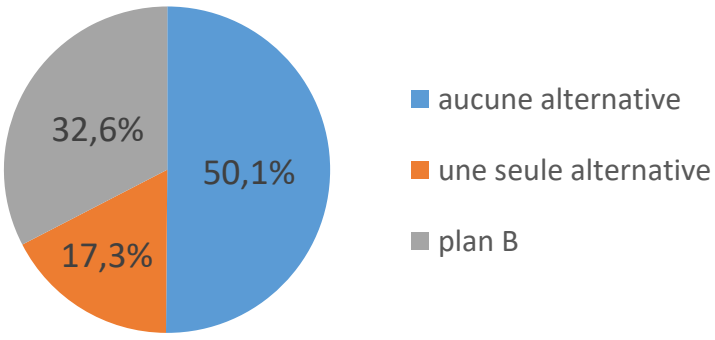

Figure 7.2 Distribution des paires OD selon la diversité d'alternatives de qualité suffisante

7.3 Évaluation de l'équité

7.3.1 Identification des déserts d'alternatives

Tel que démontré à la section 6.1, la part de paires OD avec un plan B n'est pas répartie équitablement sur le territoire[5]. La figure 7.3 illustre cette distribution par secteur d'origine et de destination selon les seuils de qualité absolue (trajet le plus rapide avec un ratio de 2 par rapport à 20 km/h sur la ligne droite OD) et relative (facteur de temps de 1,2 par rapport au trajet le plus rapide).

Ces analyses visent à vérifier si le niveau de qualité est homogène dans l'espace et dans le temps. Pour ce faire, la part de paires OD avec un plan B (au moins deux alternatives de transport en commun) est analysée par secteur d'origine et de destination. Les secteurs municipaux comptant moins de 30 déplacements TC observés dans l'enquête OD sont retirés de l'analyse. Pour les secteurs d'origine, la part de paires OD avec un plan B varie entre 2,5 % et 88,2 %. Certains secteurs, principalement sur la Rive-Sud, ont une proportion plus élevée de paires OD avec une seconde alternative de qualité suffisante. Le centre de l'île de Montréal a une très faible part de paires OD avec un plan B selon les seuils de qualité relative et absolue testés, la plus faible proportion étant de 2,5 % dans le secteur 122 (Westmount). Pour les destinations, la part de paires OD avec un plan B est plus équitablement répartie sur le territoire, avec des proportions qui varient entre 20 % et40 % pour la plupart des secteurs, la moyenne étant de 26,6 % tous secteurs confondus. Le secteur avec la plus faible proportion de paires OD avec un plan B est 661 (Saint-Jérôme) avec 7,3 % et le secteur avec la plus forte proportion est 144 (Sainte-Anne-de-Bellevue, Senneville) avec 61,6 %.

[5] Toutes les cartes excluent les déplacements à motif retour au domicile et n'affichent que les secteurs municipaux pour lesquels il y a un minimum de 30 observations dans le sous-ensemble de données.

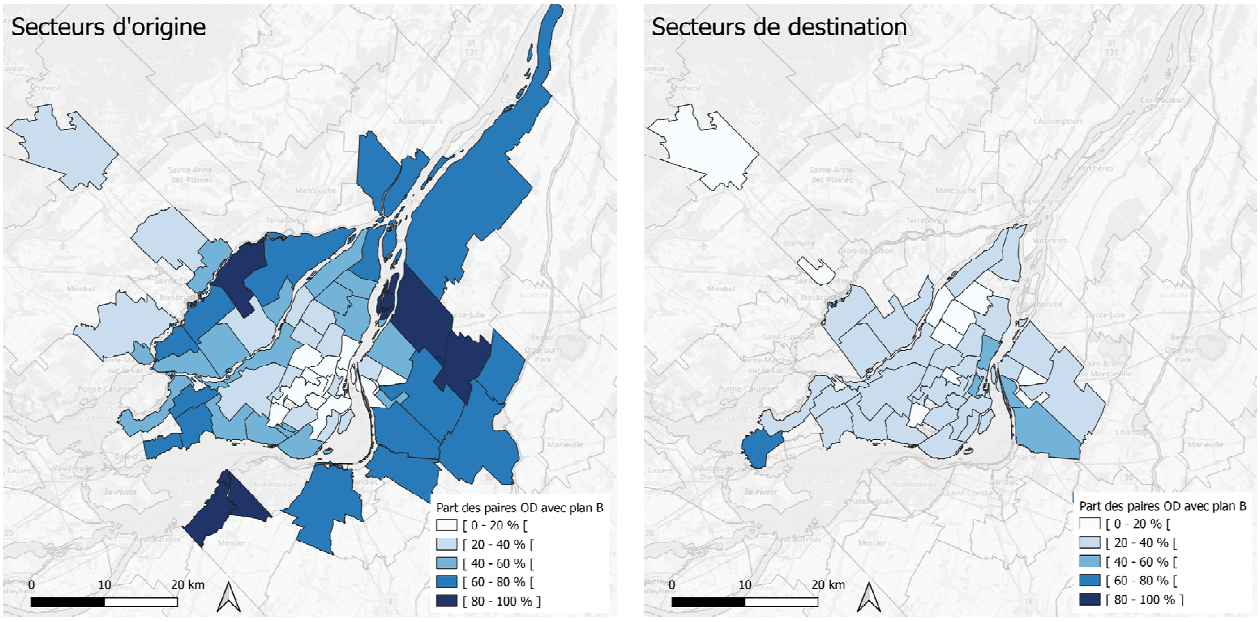

Figure 7.3 Part des paires OD avec plan B respectant les seuils de qualité minimale par secteur d'origine et de destination sur 24h, excluant les retours au domicile

Pour les déplacements internes, c'est-à-dire avec le même secteur d'origine et de destination, la part maximale de paires OD avec un plan B est de 5,5 % pour le secteur 113 (Montréal : Pointe-aux-Trembles). On remarque que la plupart des déplacements internes observés dans le sous-ensemble de paires OD, du moins pour les secteurs avec un minimum de 30 observations, se situent sur l'île de Montréal. Cela suggère que l'offre de déplacements internes pour les secteurs de banlieue n'est pas suffisante ou n'atteint pas une qualité souhaitable pour que les usagers empruntent le transport en commun, puisqu'il y a moins de 30 observations de déplacements internes pour ces secteurs.

De plus, 0 % des paires OD ont un plan B de qualité suffisante pour effectuer des déplacements internes en transport en commun pour les secteurs suivants : 101 (Montréal : Centre-ville), 102 (Montréal : Centre-ville périphérique), 105 (Montréal : Côte-des-Neiges), 106 (Montréal : Plateau Mont-Royal), 107 (Montréal : Villeray), 108 (Montréal : Ahuntsic), 110 (Montréal : Rosemont), 111 (Montréal : Sud-Est), 116 (Montréal : Anjou), 117 (Montréal : Saint-Léonard), 129 (Montréal : Lachine),142 (Montréal : Verdun (terrestre) et 301 (Longueuil : Vieux-Longueuil). Cela suggère que la qualité et la diversité d'alternatives de transport en commun est moindre pour les déplacements courts.

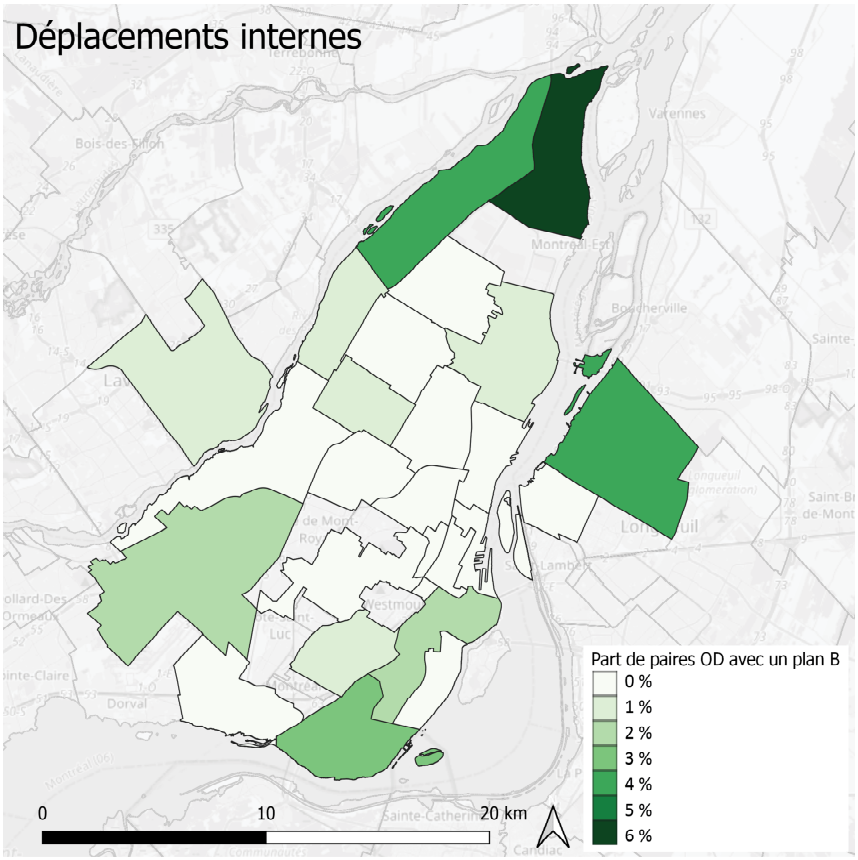

Figure 7.4 Part des paires OD avec plan B respectant les seuils de qualité minimale pour les déplacements internes, excluant les retours au domicile

En effet, les déplacements courts ont une moins bonne qualité et diversité des alternatives de transport en commun. La figure 7.5 illustre la part de paires OD n'ayant aucune alternative, une seule alternative ou un plan B, selon la distance euclidienne entre l'origine et la destination. Les déplacements courts ont une plus faible proportion de paires OD avec au moins une alternative. C'est-à-dire que l'alternative la plus rapide n'atteint pas un seuil de qualité suffisante pour la plupart des déplacements courts. Cela est probablement dû au temps de marche et d'attente qui rendent les déplacements courts moins efficaces. En effet, si une importante proportion du temps total est allouée à la marche et à l'attente, la vitesse du déplacement est diminuée. Il est donc plus difficile pour l'alternative la plus rapide d'atteindre un seuil de qualité absolue suffisante (c'est-à-dire un ratio de 2 par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite OD). Néanmoins, à partir d'une distance euclidienne de 6,5 km, la part de paires OD avec un plan B est supérieure à celles des paires OD sans aucune alternative ou avec une seule alternative.

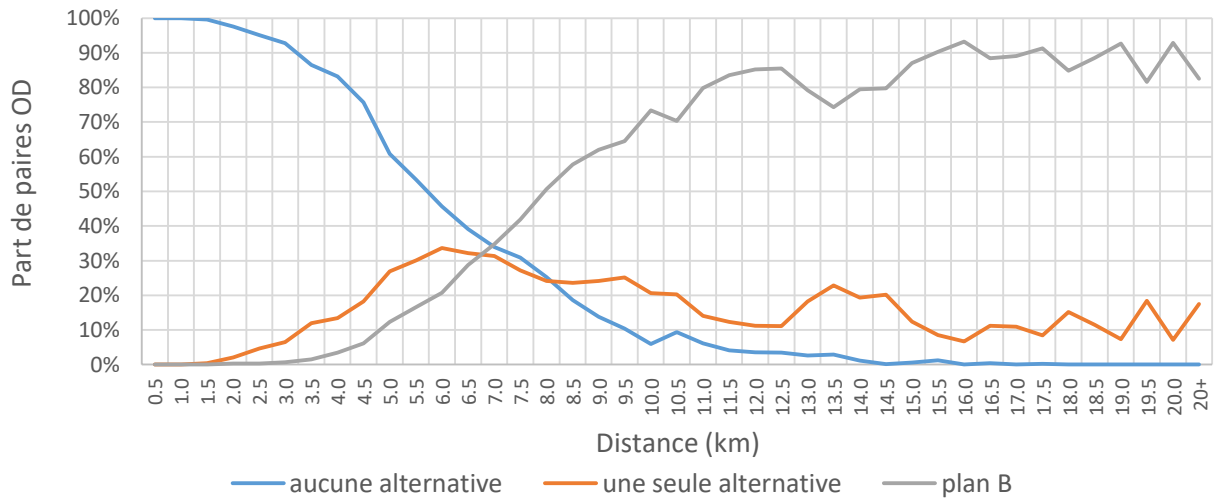

Figure 7.5 Part des paires OD selon le nombre d'alternatives et la distance euclidienne entre l'origine et la destination

La plupart des déplacements à destination du centre-ville (secteur 101 : Montréal – Centre-ville) ont une plus grande proportion de paires OD avec un plan B que les déplacements à destination d'autres secteurs, tel qu'illustré à la figure 7.6. Les secteurs d'origine pour les déplacements qui se rendent au centre-ville ont en moyenne 51,3 % de paires OD avec un plan B, tandis que les déplacements vers d'autres destinations ont une moyenne 35,7 % de paires OD avec un plan B. Malgré cela, le secteur 122 (Westmount) est celui avec la moins bonne diversité d'alternatives de transport en commun, autant vers le centre-ville (0,7 %) que vers d'autres secteurs (3,7 %). Pour les déplacements à destination du centre-ville, la plus grande proportion de paires OD avec un plan B est observée à partir des secteurs 405 (Laval : Vimont, Auteuil) avec 98,6 % et 113 (Montréal : Pointe-aux-Trembles) avec 98,7 %. Les déplacements ne se rendant pas au centre-ville affichent une part maximale de 82,6 % paires OD avec un plan B pour le secteur 546 (Châteauguay, Léry).

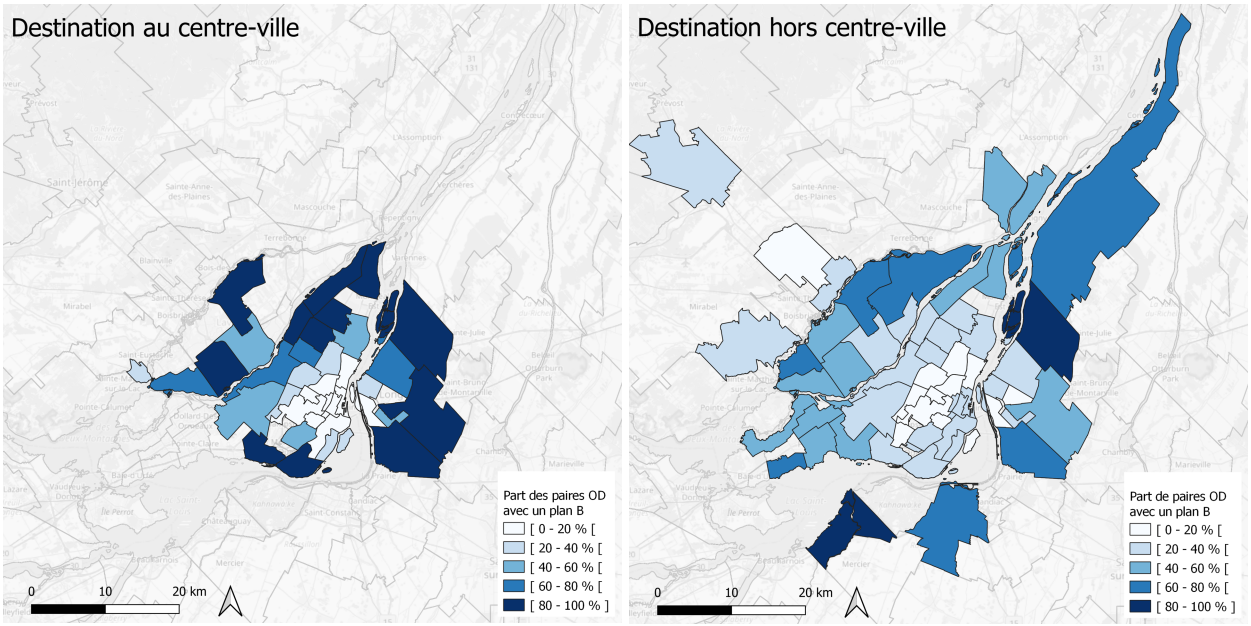

Figure 7.6 Part des paires OD avec plan B respectant les seuils de qualité minimale par secteur d'origine pour les déplacements vers le centre-ville ou hors centre-ville, excluant les retours au domicile

La figure 7.7 compare la part de paires OD avec un plan B par secteur d'origine pour les déplacements en pointe AM versus le reste de la journée. On remarque que pour les déplacements en pointe, le secteur 122 (Westmount) est celui avec la moins bonne proportion de paires OD avec un plan B (3,7 %) et le secteur 310 (Saint-Bruno-de-Montarville) la proportion la plus élevée (95,7 %). Toutefois, cette proportion diminue à 56,1 % hors pointe. Par ailleurs, pour les déplacements hors pointe, le secteur d'origine avec la plus faible part de paires OD avec un plan B est également 122 (Westmount) avec 1,6 %, puis la valeur la plus élevée est observée pour le secteur 113 (Montréal : Pointe-aux-Trembles) avec 77,7 %. Les déplacements en heure de pointe, pour les secteurs d'origine, ont une meilleure diversité d'alternatives de transport en commun que les autres périodes horaires. En effet, la moyenne pour les secteurs d'origine est de 48,4 % de paires OD avec un plan B en pointe AM alors qu'elle est de 31,4 % pour les autres heures de départ.

Pour les secteurs de destination, présentés à la figure 7.8, la moins grande part de paires OD avec un plan B en pointe du matin est dans le secteur 116 (Montréal : Anjou) avec 8,4 %, tandis que hors pointe c'est plutôt le secteur 122 (Westmount) avec 1,6 %. Un écart significatif est observé entre la plus grande part de paires OD avec un plan B de 57,7 % pour le secteur 144 (Sainte-Anne-

de-Bellevue, Senneville) seulement en pointe AM versus 77,7 % pour le secteur 113 (Montréal : Pointe-aux-Trembles) hors pointe. Toutefois, les moyennes sont très similaires, soit de 30,9 % en pointe AM et de 29,0 % hors pointe.

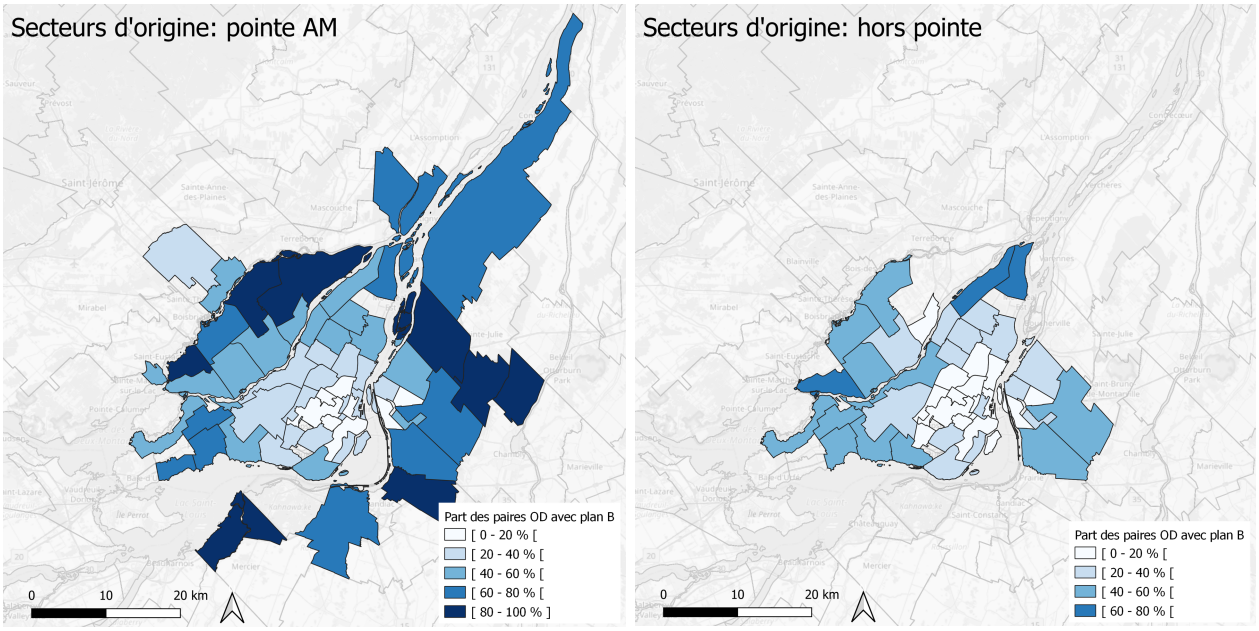

Figure 7.7 Part des paires OD avec plan B respectant les seuils de qualité minimale par secteur d'origine selon le moment de la journée, excluant les retours au domicile

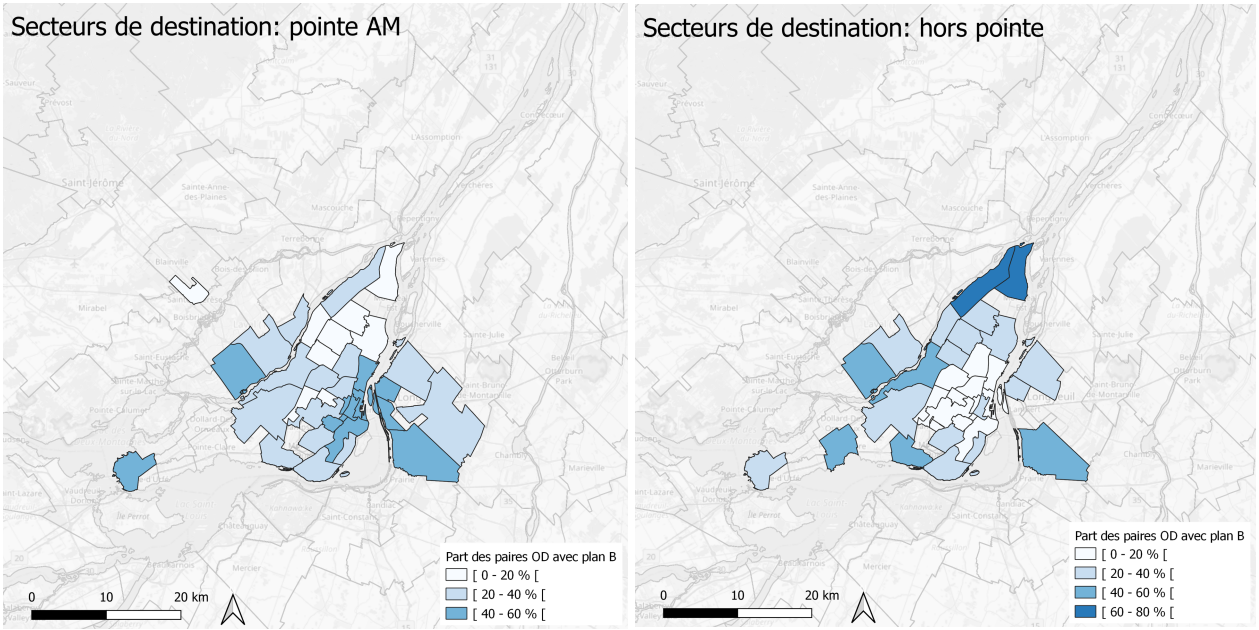

Figure 7.8 Part des paires OD avec plan B respectant les seuils de qualité minimale par secteur de destination selon le moment de la journée, excluant les retours au domicile

Ces analyses démontrent que la part de paires OD avec un plan B (c.-à-d. au moins deux alternatives TC de qualité suffisante), varie spatialement. Les secteurs dans lesquels il y a peu ou pas de paires OD avec un plan B sont des déserts d'alternatives. Leur localisation change selon les périodes horaires et la destination du déplacement. Cela signifie que les secteurs caractérisés en tant que déserts d'alternatives ne sont pas les mêmes selon le type de déplacement effectué ni l'heure de départ.

7.3.2 Diversité d'alternatives pour les populations vulnérables

Tel que démontré au tableau 7.2, les usagers n'ont pas tous la même qualité et diversité d'alternatives. Les populations vulnérables, parfois captives du transport en commun, n'ont pas une aussi grande accessibilité à un plan B. Pour tous les indicateurs de vulnérabilité, plus de la moitié des paires OD n'ont aucune alternative de transport en commun de qualité suffisante. La plus grande proportion de paires OD sans aucune alternative est observée chez les ménages monoparentaux (89,9 %) et les personnes de moins de 16 ans (78,2 %). Ces groupes sont également ceux avec le plus grand écart par rapport aux populations non vulnérables, de même que les plus faibles proportions de paires OD avec un plan B, soit 5,6 % et 11,9 % respectivement. De plus, le nombre moyen d'alternatives de transport en commun est inférieur pour toutes les populations vulnérables en comparaison avec les individus sans ces vulnérabilités. Par ailleurs, les populations avec au moins une vulnérabilité n'ont que 28,9 % de paires OD avec un plan B alors que cette proportion augmente à 45,2 % pour les populations sans aucune vulnérabilité.

Tableau 7.2 Diversité d'alternatives de transport en commun respectant les seuils de qualité minimale selon les indicateurs de vulnérabilité

		% paires OD avec 0 alt.	% de paires OD avec 1 alt.	% paires OD avec plan B (2+ alt.)	Nombre moyen d'alt.
Incapacité physique ou intellectuelle	Avec	62.2%	11.8%	26.0%	1.5
	Sans	50.0%	17.4%	32.7%	2.0
Sexe	Femme	51.5%	16.9%	31.5%	1.9
	Homme	48.4%	17.7%	33.9%	2.0
Âge	Moins de 16 ans	78.2%	10.0%	11.9%	0.7
	16 à 64 ans	46.5%	18.1%	35.4%	2.2
	65 ans et plus	67.2%	14.7%	18.1%	1.1
Possession automobile	Ménage sans auto	62.6%	17.1%	20.3%	1.1
	Ménage avec 1+ auto	44.0%	17.4%	38.7%	2.3
Revenu du ménage	30 000$ ou moins	63.8%	15.3%	20.9%	1.3
	Plus de 30 000$	47.4%	17.7%	34.9%	2.1
Taille du ménage	Personne seule	57.7%	18.6%	23.8%	1.3
	2+ personnes	48.3%	17.0%	34.7%	2.1
Ménage monoparental	Oui	89.9%	4.5%	5.6%	0.2
	Non	50.1%	17.3%	32.6%	2.0
Personnes avec au moins une vulnérabilité		54.0%	17.1%	28.9%	1.7
Personnes sans aucune vulnérabilité		36.8%	18.0%	45.2%	2.7
Population totale		50.1%	17.3%	32.6%	1.9

Une des hypothèses est que la qualité et la diversité d'alternatives de transport en commun ne sont pas les mêmes pour tous les usagers. Ainsi, les populations vulnérables, parfois captives du transport en commun, peuvent ne pas avoir accès à un plan B. Les populations vulnérables sont les personnes avec une incapacité physique ou intellectuelle, les femmes, les enfants, les aînés, les ménages sans voiture ou à faible revenu, les ménages d'une personne et les ménages monoparentaux. Ces derniers (ménages monoparentaux) sont exclus de l'analyse par groupe d'heure dû au nombre insuffisant d'observations.

La part de paires OD avec un plan B est présentée par groupe d'heure au tableau 7.3 selon les indicateurs de vulnérabilité. Seules les combinaisons avec un minimum de 30 observations par segment de population et groupe horaire sont prises en compte. Sur 24h, les populations vulnérables ont une plus faible part de paires OD avec un plan B que les populations n'ayant pas de limitation.

En effet, la part de paires OD avec un plan B pour les personnes ayant au moins une vulnérabilité est de 28,9 % alors qu'elle est de 45,2 % pour les personnes sans aucune vulnérabilité. Cela signifie que moins de la moitié de ces personnes ont une seconde alternative qui atteint un seuil de qualité minimum. En fait, ils n'en ont peut-être même pas si l'alternative la plus rapide n'est pas de qualité suffisante. Cette proportion est significativement réduite pour les populations vulnérables, la valeur la plus faible pour toute la journée étant de 11,9 % pour les moins de 16 ans. Les jeunes ne peuvent pas conduire et sont dépendants des modes actifs et collectifs. Pourtant, ils ont la pire qualité et la plus mauvaise diversité d'alternatives de transport en commun. Le deuxième groupe avec la plus faible part de paires OD avec un plan B est celui des personnes âgées de 65 ans et plus avec seulement 18,5%. La diversité semble varier considérablement selon les cohortes d'âges.

Pour les groupes d'heure de départ, les personnes avec une incapacité ont une part de paires OD avec plan B plus importante de 6h à 9h (pointe AM) que les personnes sans incapacité, mais ont tout de même une proportion inférieure sur 24h. Par ailleurs, entre minuit et 6 heures du matin, les femmes ont une proportion plus élevée de paires OD avec un plan B que les hommes. En fait, il n'y a presque pas de différence entre les femmes et les hommes quant à la diversité d'alternatives de qualité suffisante; le groupe dominant varie selon les périodes et leur proportion de paires OD avec un plan B est similaire sur toute la journée. On n'observe donc pas de différence dans leur qualité et diversité de routes de transport en commun.

Tableau 7.3 Part des paires OD avec un plan B par période horaire selon les indicateurs de vulnérabilité

		0h00 à 5h59	6h00 à 8h59	9h00 à 11h59	12h00 à 15h29	15h30 à 18h29	18h30 à 23h59	Total sur 24h
Incapacité physique ou intellectuelle	Avec	-	55.7%	15.2%	19.8%	25.8%	-	26.0%
	Sans	48.7%	38.4%	23.9%	23.1%	35.3%	27.9%	32.7%
Sexe	Femme	53.8%	37.9%	22.3%	22.3%	34.0%	26.5%	31.5%
	Homme	42.9%	39.3%	25.5%	24.2%	36.7%	29.2%	33.9%
Âge	Moins de 16 ans	-	11.3%	17.4%	13.1%	11.2%	17.4%	11.9%
	16 à 64 ans	48.0%	41.8%	25.5%	25.8%	38.3%	28.2%	35.4%
	65 ans et plus	-	32.6%	15.9%	14.8%	17.7%	25.9%	18.5%
Possession automobile	Ménage sans auto	30.8%	25.8%	14.9%	16.3%	20.8%	19.8%	20.3%
	Ménage avec 1+ auto	57.6%	42.7%	31.2%	27.6%	41.2%	34.2%	38.7%
Revenu du ménage	30 000$ ou moins	34.4%	27.5%	15.7%	16.9%	20.7%	21.9%	20.9%
	Plus de 30 000$	51.4%	40.0%	26.5%	25.0%	37.4%	29.4%	34.9%
Taille du ménage	Personne seule	28.7%	34.0%	16.3%	17.5%	25.4%	22.0%	23.8%
	2+ personnes	53.2%	39.3%	26.6%	25.0%	37.2%	29.7%	34.7%
Personnes avec au moins une vulnérabilité		43.6%	34.8%	21.3%	21.1%	30.8%	25.2%	28.9%
Personnes sans aucune vulnérabilité		59.6%	49.3%	34.9%	33.7%	48.6%	37.1%	45.2%
Population totale		47.8%	38.5%	23.7%	23.1%	35.2%	27.9%	32.6%

L'analyse présentée dans ce chapitre n'est qu'un exemple d'application des deux mesures de qualité développées dans ce projet de recherche. On y met en évidence le fait que la diversité d'alternatives de transport en commun atteignant un seuil de qualité minimale n'est pas distribuée équitablement dans l'espace, dans le temps, ni parmi les différents segments de population. De plus, les populations vulnérables ont la qualité et la diversité d'alternatives la plus faible. Il est important de noter que ces résultats ne permettent pas un diagnostic exhaustif de l'équité, mais sont plutôt une démonstration de la façon dont la qualité relative et la qualité absolue peuvent être utilisées à cette fin.

CHAPITRE 8 CONCLUSION

8.1 Synthèse

L'objectif de ce projet de recherche était de développer une méthode d'évaluation de la qualité et de la diversité d'alternatives de transport en commun. Deux mesures de qualité sont proposées : une mesure de qualité relative et une mesure de qualité absolue. La première a pour valeur de référence le temps de parcours de l'alternative la plus rapide. La seconde est basée sur un ratio de temps par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite entre l'origine et la destination.

La méthode de génération des alternatives de transport en commun permet d'obtenir les meilleurs trajets disponibles pour l'ensemble des déplacements déclarés en transport en commun unimodal à l'enquête Origine-Destination de 2018. Il est pertinent d'étudier la qualité et la diversité simultanément, car une simple évaluation de la diversité basée sur les résultats d'un calculateur de chemins laisse penser que plusieurs alternatives sont disponibles alors que certaines peuvent ne pas avoir un niveau de qualité acceptable. Bien que des paramètres de l'algorithme de calcul effectuent un premier filtrage des alternatives, certains trajets proposés n'atteignent pas un seuil de qualité suffisante. De plus, tel que démontré dans ce projet de recherche, l'ajout de critères de qualité a un effet non négligeable sur la quantité d'alternatives disponibles entre une origine et une destination à un moment spécifique.

Le sous-ensemble de paires origine-destination sélectionnées, composé uniquement des déplacements dont le mode déclaré est le transport en commun unimodal, permet d'assurer qu'au moins une alternative est trouvée par paire OD. Cependant, le trajet déclaré n'a pas été identifié pour toutes les paires OD respectant ce critère, possiblement en raison du processus de conversion des numéros de lignes ou des paramètres de calcul de l'algorithme de routage. L'analyse préliminaire de ce sous-ensemble de paires OD a permis de mettre en évidence que les usagers n'empruntent pas tous le trajet le plus rapide. Effectivement, l'alternative la plus rapide n'est choisie que pour 53,5 % des paires OD.

L'ajout de seuils de qualité a démontré que les alternatives générées par Transition ne respectent pas toutes une qualité minimale. Afin d'évaluer la qualité des alternatives de transport en commun, deux mesures ont été proposées, une qualité relative et une qualité absolue. Toutefois, l'analyse

présentée dans ce mémoire a démontré que l'évaluation de la diversité basée uniquement sur une qualité relative ne suffit pas, puisqu'elle ne tient pas compte de la qualité du trajet le plus rapide. En effet, cette comparaison des alternatives TC disponibles uniquement par rapport au trajet le plus rapide n'est valide que si celui-ci est de qualité suffisante. Une mesure objective (qualité absolue) a donc été proposée afin de pallier cette limitation et standardiser la comparaison des alternatives de transport en commun. Celle-ci est basée sur un ratio de temps par rapport à une vitesse théorique de 20 km/h sur la ligne droite entre l'origine et la destination. Aucun des ratios testés n'a permis de conserver le trajet le plus rapide pour la totalité des paires OD, ce qui justifie notre hypothèse selon laquelle l'alternative la plus rapide peut ne pas être de qualité suffisante.

L'évaluation de la diversité d'alternatives, en fonction de ces seuils de qualité suffisante (relative et absolue), a permis de mettre en évidence les disparités dans la distribution spatiotemporelle des alternatives. La part de paires OD avec un plan B a une grande variabilité entre les secteurs d'origine ou de destination, de même que pour les différentes périodes horaires.

Enfin, une étude des déserts d'alternatives et de l'équité a été effectuée en jumelant les deux mesures de qualité; d'abord en évaluant la qualité de l'alternative la plus rapide selon une qualité absolue (basée sur un ratio de temps de 2,0 par rapport à 20 km/h sur la ligne droite OD), puis en évaluant les autres trajets disponibles (pour les paires OD dont ce trajet est de qualité suffisante) selon une qualité relative pour un facteur multiplicatif de temps de parcours de 1,2 par rapport à l'alternative la plus rapide. À partir de ces critères, les déserts d'alternatives, pouvant varier dans le temps, sont mis en évidence, de même que les iniquités de qualité et de diversité des alternatives de transport en commun pour les populations vulnérables.

8.2 Contributions

La principale contribution de ce mémoire est d'avoir proposé deux concepts de qualité et d'avoir démontré leur capacité à mieux évaluer l'offre de transport en commun. De plus, il a été démontré que la qualité relative (basée sur un facteur de temps par rapport à l'alternative la plus rapide) ne permet pas, à elle seule, de bien évaluer les alternatives de transport en commun. Effectivement, l'ajout d'une mesure objective, ici un seuil de qualité absolue basé sur un ratio de temps par rapport à une vitesse théorique sur la ligne droite entre l'origine et la destination, met en évidence que le trajet le plus rapide n'est pas de qualité suffisante pour plusieurs paires OD.

Il a été démontré que l'ensemble des alternatives générées par Transition n'atteignent pas des seuils de qualité suffisante. Les seuils de qualité relative et absolus développés dans ce projet de recherche pourront être implantés dans l'algorithme de calcul afin de permettre la génération d'alternatives respectant des critères de qualité minimale et mieux faire état de la diversité.

La méthode développée va pouvoir servir aux décideurs dans l'exercice de planification et de modification de réseaux de transport en commun. D'une part, ils pourront identifier les territoires et les populations vulnérables en termes de qualité et de diversité d'alternatives. D'autre part, ils pourront adopter des politiques de transport en fonction des seuils de qualité minimale qu'ils visent afin de répondre aux cibles gouvernementales en matière d'accessibilité aux modes de transport durables.

8.3 Limitations

Les principales limites de ce projet de recherche proviennent des choix méthodologiques. D'abord, le choix d'étudier uniquement les déplacements de l'enquête OD pour lesquels le mode déclaré est le transport en commun unimodal ne permet pas une évaluation exacte de la diversité d'alternatives, puisque la demande latente et les déplacements pour lesquels aucune alternative de transport en commun n'est disponible ne sont pas étudiés. De plus, le choix de conserver uniquement les paires OD pour lesquelles l'alternative choisie a été générée parmi l'ensemble de données limite également l'analyse à ces déplacements spécifiques. Surtout que l'alternative choisie n'a pas été identifiée pour toutes les paires OD du sous-ensemble de données. Outre les biais de l'enquête OD, cela peut être causé par la conversion des numéros de lignes de GTFS à MADITUC pour le jumelage (dû à une numérotation incompatible entre les deux sources de données) ou aux paramètres initiaux de l'algorithme de routage qui sont potentiellement trop restrictifs. Notamment la limite de temps de 15 minutes de marche pour l'accès à l'origine et à la destination.

Le choix des seuils de qualité suffisante (qualité relative et qualité absolue) constitue une autre limite, ceux-ci pouvant ne pas être les meilleurs afin d'évaluer la qualité des alternatives de transport en commun. En effet, ils ont été établis à partir du sous-ensemble de données et des alternatives générées pour ces paires OD. Pour la qualité relative, un facteur de 1,5 par rapport au temps de l'alternative la plus rapide a été choisi comme seuil de qualité minimale puisque cette valeur correspond au 75^{e} percentile du total des alternatives générées. Pour la qualité absolue, des vitesses théoriques sur la ligne droite OD entre 5 km/h et 40 km/h ont été testées, mais une vitesse

de 20 km/h a été choisie puisque les alternatives les plus rapides (une par paire OD) ont une vitesse moyenne d'environ 10 km/h. Cela correspond à un ratio de 2 par rapport à une vitesse de 20 km/h. un ratio maximal de 3 comparativement à cette vitesse sur la ligne droite OD a été choisi puisque l'alternative la plus rapide a un ratio inférieur ou égal pour 80 % des paires OD. Ces seuils de qualité suffisante seraient différents si d'autres paramètres de génération des alternatives ou une autre source de données de déplacements étaient utilisés.

Également, la méthode ne permet pas de tenir compte de l'indépendance des alternatives, puisque les données utilisées n'ont pas de composante spatiale permettant d'évaluer le niveau de chevauchement entre les alternatives. En effet, un chevauchement, plus ou moins important, entre les routes ou segments de routes de transport en commun peut être présent. Dans l'éventualité d'un important chevauchement entre les alternatives de TC pour une paire OD, par exemple si une même ligne de métro est commune à toutes les alternatives, il peut y avoir une bonne diversité de trajets de qualité suffisante, mais l'usager est tout aussi vulnérable aux perturbations sur ce lien que s'il n'avait qu'un seul trajet disponible.

Par ailleurs, les déplacements ont été étudiés de manière individuelle, c'est-à-dire que les chaînes de déplacement n'ont pas été prises en compte. Toutefois, une bonne qualité et diversité d'alternatives doit être présente pour tous les liens de la chaîne pour que le transport en commun soit une option viable.

D'autres limites proviennent des données et outils utilisés, notamment des biais liés à l'enquête Origine-Destination et des paramètres de l'algorithme de génération des alternatives. Également, le fait que les données recueillies à l'enquête OD soient des déplacements représentant un jour moyen de semaine d'automne limite l'analyse, puisque cela ne permet pas d'évaluer la qualité et la diversité des alternatives de transport en commun pour les déplacements de fin de semaine ni des autres saisons. De plus, cette enquête est quinquennale, donc ce ne sont pas les meilleures données à utiliser afin de mesurer les changements de qualité et de diversité à la suite de modifications ou ajouts de liens sur le réseau de transport en commun.

8.4 Perspectives de recherche

Indépendance des alternatives

Un aspect qui a été omis dans cette recherche est l'indépendance des alternatives et leur chevauchement. Il a été mentionné dans la revue de littérature que la présence d'une 2e alternative de transport en commun de qualité diminue la vulnérabilité de l'usager. Toutefois, si les deux seules alternatives disponibles empruntent un même segment, soit la même ligne de transport en commun ou simplement un même tronçon de rue, et qu'un incident s'y produit, l'usager est tout aussi vulnérable que si une seule alternative était disponible. À l'avenir, il faudrait utiliser l'indépendance comme critère de filtrage des alternatives de transport en commun, avant d'étudier leur qualité et leur diversité.

Chaînes de déplacement

Les paires OD utilisées pour ce projet de recherche ont été analysées individuellement. C'est-à-dire que la distinction n'a pas été faite entre les déplacements de type « aller », « retour » ou ceux faisant partie d'une chaîne de déplacement. Il peut donc y avoir une bonne qualité et diversité des alternatives de transport à l'aller, mais aucune alternative de qualité pour le retour ou vice-versa, ce qui peut influencer la vulnérabilité. À l'avenir, il faudrait étudier les déplacements sous forme de chaînes, soit simples (aller-retour) ou complexes, afin d'évaluer la qualité et la diversité d'alternatives de transport en commun pour l'ensemble de la chaîne.

Alternatives bimodales, intermodales et multimodales

Dans ce projet de recherche, seules les alternatives de transport en commun unimodales ont été étudiées. Toutefois, il serait pertinent d'analyser également la qualité et la diversité des alternatives bimodales et intermodales. D'autres modes d'accès que la marche pourraient être étudiés, afin de voir si cela bonifie la qualité et la diversité de trajets. Il faudrait alors, au préalable, déterminer des distances seuil d'accès spécifiques à chaque mode qui seraient considérées comme respectant une qualité suffisante. Également, les alternatives multimodales, soit les trajets possibles par d'autres modes que le transport en commun, pourraient être analysés dans l'éventualité où aucune alternative de TC n'est pas de qualité suffisante.

Choix modal

Tel que mentionné dans les travaux de Frappier (2015), une bonne qualité et diversité d'alternatives de transport en commun devrait augmenter l'attractivité du transport en commun. Afin de vérifier cette hypothèse, il faudrait développer un modèle de choix modal incluant une variable de diversité pour différents seuils de qualité suffisante. Deux variables pourraient être testées afin de prédire la probabilité de choisir le transport en commun : la présence d'un plan B (variable binaire) et le nombre d'alternatives (variable continue). Il faudrait alors tester différentes façons de tenir compte de la qualité et de la diversité d'alternatives de transport en commun afin de voir ce qui explique le mieux le choix modal. Cela permettrait de comparer la diversité d'alternatives de qualité suffisante entre ceux qui ont choisi le transport en commun et ceux qui empruntent un autre mode.

Demande latente

Seuls les déplacements observés dans l'enquête Origine-Destination de 2018 pour lesquels le mode déclaré est le transport en commun unimodal ont été étudiés pour ce projet de recherche. Dans une perspective d'analyse des réseaux de transport en commun, il serait pertinent d'analyser également la demande latente; par exemple, pour un nombre de destinations potentielles à partir d'une origine spécifique, un nombre d'origines potentielles pour aller à une destination spécifique ou un nombre d'origines potentielles et de destinations potentielles (Liao & van Wee, 2016).

Bien que celle-ci soit plus difficile à quantifier, elle permettrait de mieux évaluer la qualité et la diversité d'alternatives de transport en commun pour un territoire ou une population. Pour ce faire, il faudrait définir des pôles générateurs de déplacements, par exemple des universités ou hôpitaux, et étudier la qualité et diversité d'alternatives de transport en commun avec ces endroits comme origine ou destination.

Saisonnalité

Les paires OD provenant de l'enquête Origine-Destination 2018 correspondent à des déplacements effectués pour un jour moyen de semaine d'automne. Il serait intéressant d'avoir recours à d'autres types de données, par exemple les données de carte à puce, afin de générer des alternatives de transport en commun la fin de semaine ou pour différentes saisons ou années que la période limitée d'une enquête quinquennale.

Équité

La notion d'équité a été brièvement introduite dans ce mémoire au chapitre 7 sur les déserts d'alternatives et l'équité. Il serait intéressant de poursuivre la réflexion et de développer des typologies de personnes et de voisinages afin de comparer les niveaux de qualité et de diversité, dans une optique de sufficientarisme. Pour l'instant, la part de paires OD avec un plan B selon les indicateurs de vulnérabilité (incapacité, femme, moins de 16 ans, 65 ans et plus, ménage sans auto, ménage à faible revenu, personne seule, famille et famille monoparentale) a été étudiée individuellement. Il serait pertinent de regarder l'effet de la combinaison de plusieurs facteurs de vulnérabilité sur la qualité et diversité d'alternatives de transport en commun. La demande latente pourrait être utilisée afin de mieux représenter la réalité de ces populations qui peuvent être sous représentées puisqu'aucune alternative TC ne leur est offerte, donc elles ne sont pas dans le sous-ensemble de données (celui-ci comprenant uniquement les déplacements déclarés en transport en commun unimodal à l'enquête OD de 2018).

RÉFÉRENCES

Anderson, M. K., Nielsen, O. A., & Prato, C. G. (2014). Multimodal route choice models of public transport passengers in the Greater Copenhagen Area. *EURO Journal on Transportation and Logistics, 6*(3), 221-245. doi:10.1007/s13676-014-0063-3

Arentze, T. A., & Molin, E. J. E. (2013). Travelers' preferences in multimodal networks: Design and results of a comprehensive series of choice experiments. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 58*, 15-28. doi:10.1016/j.tra.2013.10.005

Autorité régionale de transport métropolitain. (2021). Enquête Origine-Destination 2018. Tiré de https://www.artm.quebec/planification/enqueteod/

Bagheri, M., Mladenovic, M. N., Kosonen, I., Nurminen, J. K., Roncoli, C., & Ylä-Jääski, A. (2020). A Computational Framework for Revealing Competitive Travel Times with Low-Carbon Modes Based on Smartphone Data Collection. *Journal of Advanced Transportation, 2020*, 1-20. doi:10.1155/2020/4693750

Bates. (2008). History of demand modelling. Dans K. J. B. David A. Henser (édit.), *Handbook of Transport Modelling*: Elsevier Ltd.

Beimborn, E. A., Greenwald, M. J., & Jin, X. (2003). Accessibility, connectivity, and captivity - Impacts on transit choice. *Transit: Planning and Development, Management and Performance, Marketing and Fare Policy, and Intermodal Transfer Facilities,* (1835), 1-9. doi:Doi 10.3141/1835-01

Ben-Akiva, M., & Bierlaire, M. (1999). Discrete Choice Methods and their Applications to Short Term Travel Decisions. Dans *Transportation Science Handbook*.

Bosea, T., & Pandita, D. (2020). Heterogeneity in perception of service quality attributes of bus transit across various user categories- A case of Kolkata. *Transportation Research Procedia, 48*, 2784-2799. doi:10.1016/j.trpro.2020.08.239

Bourbonnais, P.-L., Verreault, H., & Morency, C. (2019). *Which Public Transit Routing Alternatives are Worth Calculating? A Transit Lines Filtering Algorithm to Generate Alternatives*. Communication présentée à Transportation Research Board 98th Annual Meeting, Washington DC, United States.

Bovy, P. H. L., & Hoogendoorn-Lanser, S. (2005). Modelling route choice behaviour in multi-modal transport networks. *Transportation, 32*(4), 341-368. doi:10.1007/s11116-004-7963-2

Bozyigit, A., Alankus, G., & Nasiboglu, E. (2017). Public transport route planning: Modified dijkstra's algorithm. *2017 International Conference on Computer Science and Engineering (Ubmk)*, 502-505. doi:10.1109/UBMK.2017.8093444

Cascetta, E., Nuzzolo, A., Russo, F., & Vitetta, A. . (1996). *A modified logit route choice model overcoming path overlapping problems: specification and some calibration results for interurban networks.* Communication présentée à 13th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Lyon, France: Pergamon (p. 697-711).

Cats, O., & Jenelius, E. (2015). Planning for the unexpected: The value of reserve capacity for public transport network robustness. *Transportation Research Part a-Policy and Practice, 81*, 47-61. doi:10.1016/j.tra.2015.02.013

Ceder, A., Chowdhury, S., Taghipouran, N., & Olsen, J. (2013). Modelling public-transport users' behaviour at connection point. *Transport Policy, 27*, 112-122. doi:10.1016/j.tranpol.2013.01.002

Chan, H.-Y., Chen, A., Li, G., Xu, X., & Lam, W. (2021). Evaluating the value of new metro lines using route diversity measures: The case of Hong Kong's Mass Transit Railway system. *Journal of Transport Geography, 91*. doi:10.1016/j.jtrangeo.2020.102945

Chowdhury, S., Ceder, A., & Schwalger, B. (2015). The effects of travel time and cost savings on commuters' decision to travel on public transport routes involving transfers. *Journal of Transport Geography, 43*, 151-159. doi:10.1016/j.jtrangeo.2015.01.009

Daisy, N. S., Liu, L., & Millward, H. (2018). Trip chaining propensity and tour mode choice of out-of-home workers: evidence from a mid-sized Canadian city. *Transportation, 47*(2), 763-792. doi:10.1007/s11116-018-9915-2

de Dios Ortúzar, J., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport* (Fourth Edition^{e} éd.): John Wiley & Sons, Ltd.

de Grange, L., Raveau, S., & González, F. (2014). A Maximum Entropy Fixed-Point Route Choice Model for Route Correlation. *Entropy, 16*(7), 3635-3654. doi:10.3390/e16073635

De Vos, J. (2019). Satisfaction-induced travel behaviour. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 63*, 12-21. doi:10.1016/j.trf.2019.03.001

dell'Olio, L., Ibeas, A., & Cecin, P. (2011). The quality of service desired by public transport users. *Transport Policy, 18*(1), 217-227. doi:10.1016/j.tranpol.2010.08.005

Dibbelt, J., Pajor, T., Strasser, B., & Wagner, D. (2018). Connection Scan Algorithm. *Journal of Experimental Algorithmics, 23*, 1-56. doi:10.1145/3274661

El-Geneidy, A., Grimsrud, M., Wasfi, R., Tétreault, P., & Surprenant-Legault, J. (2013). New evidence on walking distances to transit stops: identifying redundancies and gaps using variable service areas. *Transportation, 41*(1), 193-210. doi:10.1007/s11116-013-9508-z

Ergün, G., Stopher, P. R., & Al-Ahmadi, H. M. (1999). Captivity Revisited. *Journal of Transportation Engineering 125*(1).

Exel, N. J. A. v., & Rietveld, P. (2001). Public transport strikes and traveller behaviour. *Transport Policy 8*, 237-246.

Foda, M. A., & Osman, A. O. (2010). Using GIS for Measuring Transit Stop Accessibility Considering Actual Pedestrian Road Network. *Journal of Public Transportation, 13*(4).

Frappier, A. (2015). *Méthode d'évaluation de la diversité et de la qualité des alternatives de déplacement de transport en commun.* (Mémoire de maitrise, École Polytechnique de Montréal, Montréal).

Garcia-Martinez, A., Cascajo, R., Jara-Diaz, S. R., Chowdhury, S., & Monzon, A. (2018). Transfer penalties in multimodal public transport networks. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 114*, 52-66. doi:10.1016/j.tra.2018.01.016

Gauthier, M.-A. (2020). *Impact du confort sur le choix des trajets en transport collectif.* (Polytechnique Montréal).

Geurs, K. T., & van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography, 12*(2), 127-140. doi:10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005

Gouvernement du Québec, m. d. T., de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports. (2018). *Politique de mobilité durable 2030: Transporter le Québec vers la modernité*: Bibliothèque et Archives nationales du Québec.

Grison, E., Burkhardt, J.-M., & Gyselinck, V. (2017). How do users choose their routes in public transport? The effect of individual profile and contextual factors. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 51*, 24-37. doi:10.1016/j.trf.2017.08.011

Hadas, Y., & Ranjitkar, P. (2012). Modeling public-transit connectivity with spatial quality-of-transfer measurements. *Journal of Transport Geography, 22*, 137-147. doi:10.1016/j.jtrangeo.2011.12.003

Håvard Tveite, N. (2020). QGIS Python Plugins Repository: Standard Deviational Ellipse. Tiré de https://plugins.qgis.org/plugins/SDEllipse/

Hoogendoorn-Lanser, S., van Nes, R., & Bovy, P. (2005). Path size modeling in multimodal route choice analysis. *Travel Demand 2005,* (1921), 27-34.

Hussain, E., Bhaskar, A., & Chung, E. (2021). A novel origin destination based transit supply index: Exploiting the opportunities with big transit data. *Journal of Transport Geography, 93*. doi:10.1016/j.jtrangeo.2021.103040

Iacono, M., Krizek, K., & El-Geneidy, A. (2008). *Access to Destinations: How Close is Close Enough? Estimating Accurate Distance Decay Functions for Multiple Modes and Different Purposes*.

Jánošíková, L., Slavík, J., & Koháni, M. (2014). Estimation of a route choice model for urban public transport using smart card data. doi:10.1080/03081060.2014.935570

Jiao, J. (2017). Identifying transit deserts in major Texas cities where the supplies missed the demands. *Journal of Transport and Land Use, 10*(1), 529-540. doi:10.5198/jtlu.2017.899

Jiao, J., & Dillivan, M. (2013). Transit Deserts: The Gap between Demand and Supply. *Journal of Public Transportation, Vol. 16*(3), 23-39. doi:Doi 10.5038/2375-0901.16.3.2

Jomehpour Chahar Aman, J., & Smith-Colin, J. (2020). Transit Deserts: Equity analysis of public transit accessibility. *Journal of Transport Geography, 89*. doi:10.1016/j.jtrangeo.2020.102869

Jong, G. D., Daly, A., Pieters, M., & VanderHoorn, T. (2005). *The logsum as an evaluation measure - review of the literature and new results*. Communication présentée à 45th Congress of the European Regional Science Association: "Land Use and Water Management in a Sustainable Network Society", Amsterdam, The Netherlands.

Kaeoruean, K., Phithakkitnukoon, S., Demissie, M. G., Kattan, L., & Ratti, C. (2020). Analysis of demand–supply gaps in public transit systems based on census and GTFS data: a case study of Calgary, Canada. *Public Transport, 12*(3), 483-516. doi:10.1007/s12469-020-00252-y

Kash, G., & Mokhtarian, P. L. (2021). *The Cost of Not Having a Choice: Captive Transit and Nonmotorized Travel in the National Household Travel Survey Georgia Subsample.* Communication présentée à Transportation Research Board 100th Annual Meeting, Washington DC, United States.

Kim, I., Kim, H. C., Seo, D. J., & Kim, J. I. (2020). Calibration of a transit route choice model using revealed population data of smartcard in a multimodal transit network. *Transportation, 47*(5), 2179-2202. doi:10.1007/s11116-019-10008-8

Lall, A. (2015). *Data Streaming Algorithms for the Kolmogorov-Smirnov Test*. Communication présentée à 2015 IEEE International Conference on Big Data.

Laporte, G., Marín, A., Mesa, J. A., & Perea, F. (2011). Designing robust rapid transit networks with alternative routes. *Journal of Advanced Transportation, 45*(1), 54-65. doi:10.1002/atr.132

Li, G. F., Qu, H. Z., & Li, J. H. (2019). Route Choice Probability Model Based on Urban Rail Transit Passenger Classification. *Proceedings of the Sixth International Conference on Transportation Engineering (Icte 2019)*, 532-539.

Liao, F., & van Wee, B. (2016). Accessibility measures for robustness of the transport system. *Transportation, 44*(5), 1213-1233. doi:10.1007/s11116-016-9701-y

Litman, T. (2001). Evaluating transportation choice. *Sustainability and Environmental Concerns in Transportation 2001, 1756*(1756), 32-41. doi:10.3141/1756-04

Litman, T. (2008). Valuing Transit Service Quality Improvements. *Journal of Public Transportation, 11*(2).

Lucas, K., van Wee, B., & Maat, K. (2015). A method to evaluate equitable accessibility: combining ethical theories and accessibility-based approaches. *Transportation, 43*(3), 473-490. doi:10.1007/s11116-015-9585-2

Martel Poliquin, É. (2012). *Mieux comprendre les déterminants du choix modal.* (Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal).

McGuckin, N., & Murakami, E. (1999). Examining Trip-Chaining Behavior Comparison of Travel by Men and Women. *Transportation Research Record*.

McGuckin, N., & Nakamoto, Y. (2004). *Trips, Chains, and Tours—Using an Operational Definition*. Communication présentée à NHTS Conference.

Meng, M., Rau, A., & Mahardhika, H. (2018). Public transport travel time perception: Effects of socioeconomic characteristics, trip characteristics and facility usage. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 114*, 24-37. doi:10.1016/j.tra.2018.01.015

Michaud, C. (2019). *Méthode de diagnostic du niveau d'équité d'un réseau de transport collectif* (Mémoire de maitrise, École Polytechnique de Montréal, Montréal).

Morency, C., Verreault, H., & Frappier, A. (2019). Estimating latent cycling and walking trips in Montreal. *International Journal of Sustainable Transportation, 14*(5), 349-360. doi:10.1080/15568318.2018.1558467

Nassir, N., Hickman, M., Malekzadeh, A., & Irannezhad, E. (2016). A utility-based travel impedance measure for public transit network accessibility. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 88*, 26-39. doi:10.1016/j.tra.2016.03.007

Nassir, N., Ziebarth, J., Sall, E., & Zorn, L. (2014). Choice Set Generation Algorithm Suitable for Measuring Route Choice Accessibility. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2430*(1), 170-181. doi:10.3141/2430-18

Nazem, M. (2014). *Ccontributions à la modélisation des déplacements en transport collectif.* (Polytechnique Montréal).

Rahbar, M., Mesbah, M., Hickman, M., & Tavassoli, A. (2017). Determining route-choice behaviour of public transport passengers using Bayesian statistical inference. *Road & Transport Research, 26*(1), 64-72.

Raveau, S., Guo, Z., Munoz, J. C., & Wilson, N. H. M. (2014). A behavioural comparison of route choice on metro networks: Time, transfers, crowding, topology and socio-demographics. *Transportation Research Part a-Policy and Practice, 66*, 185-195. doi:10.1016/j.tra.2014.05.010

Raveau, S., Muñoz, J. C., & Grange, L. d. (2011). A topological route choice model for metro. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 45*(2), 138-147. doi:10.1016/j.tra.2010.12.004

Reggiani, A., Nijkamp, P., & Lanzi, D. (2015). Transport resilience and vulnerability: The role of connectivity. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 81*, 4-15. doi:10.1016/j.tra.2014.12.012

Senk, P. (2010). Route Choice Under the Microscope Process-Oriented Analysis of Decision Making. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2156*(2156), 56-63. doi:10.3141/2156-07

Transportation Research Board, of the National Academies. (2012). *Travel Demand Forecasting: Parameters and Techniques*. Washington, DC: The National Academies Press.

Valiquette, F., & Morency, C. (2010). *Trip chaining and its impact on travel behaviour*. Communication présentée à 12th WCTR, Lisbon, Portugal.

van Wee, B., van Cranenburgh, S., & Maat, K. (2019). Substitutability as a spatial concept to evaluate travel alternatives. *Journal of Transport Geography, 79*. doi:10.1016/j.jtrangeo.2019.102469

Varela, J. M. L., Borjesson, M., & Daly, A. (2018). Public transport: One mode or several? *Transportation Research Part a-Policy and Practice, 113*, 137-156. doi:10.1016/j.tra.2018.03.018

Ville de Montréal. (2008). *Plan de transport*.

Wang, X., Koç, Y., Derrible, S., Ahmad, S. N., Pino, W. J. A., & Kooij, R. E. (2017). Multi-criteria robustness analysis of metro networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 474*, 19-31. doi:10.1016/j.physa.2017.01.072

Weckström, C., Kujala, R., Mladenović, M. N., & Saramäki, J. (2019). Assessment of large-scale transitions in public transport networks using open timetable data: case of Helsinki metro extension. *Journal of Transport Geography, 79*. doi:10.1016/j.jtrangeo.2019.102470

Welch, T. F., & Mishra, S. (2013). A measure of equity for public transit connectivity. *Journal of Transport Geography, 33*, 29-41. doi:10.1016/j.jtrangeo.2013.09.007

Xu, X., Chen, A., Jansuwan, S., Yang, C., & Ryu, S. (2018). Transportation network redundancy: Complementary measures and computational methods. *Transportation Research Part B: Methodological, 114*, 68-85. doi:10.1016/j.trb.2018.05.014

Xu, Z., Xie, J., Liu, X., & Nie, Y. M. (2020). Quantifying the competitiveness of transit relative to taxi with multifaceted data. *Transportmetrica A: Transport Science*, 1-20. doi:10.1080/23249935.2020.1770367

Yang, X., Chen, A., Ning, B., & Tang, T. (2017). Measuring Route Diversity for Urban Rail Transit Networks: A Case Study of the Beijing Metro Network. *Ieee Transactions on Intelligent Transportation Systems, 18*(2), 259-268. doi:10.1109/Tits.2016.2566801

Zhou, X., Jia, X., & Du, H. (2015). *Travel Mode Choice Based on Perceived Quality of Bus Service.* Communication présentée à CICTP.

ANNEXE A EXEMPLE DE GÉNÉRATION D'ALTERNATIVES PAR TRANSITION

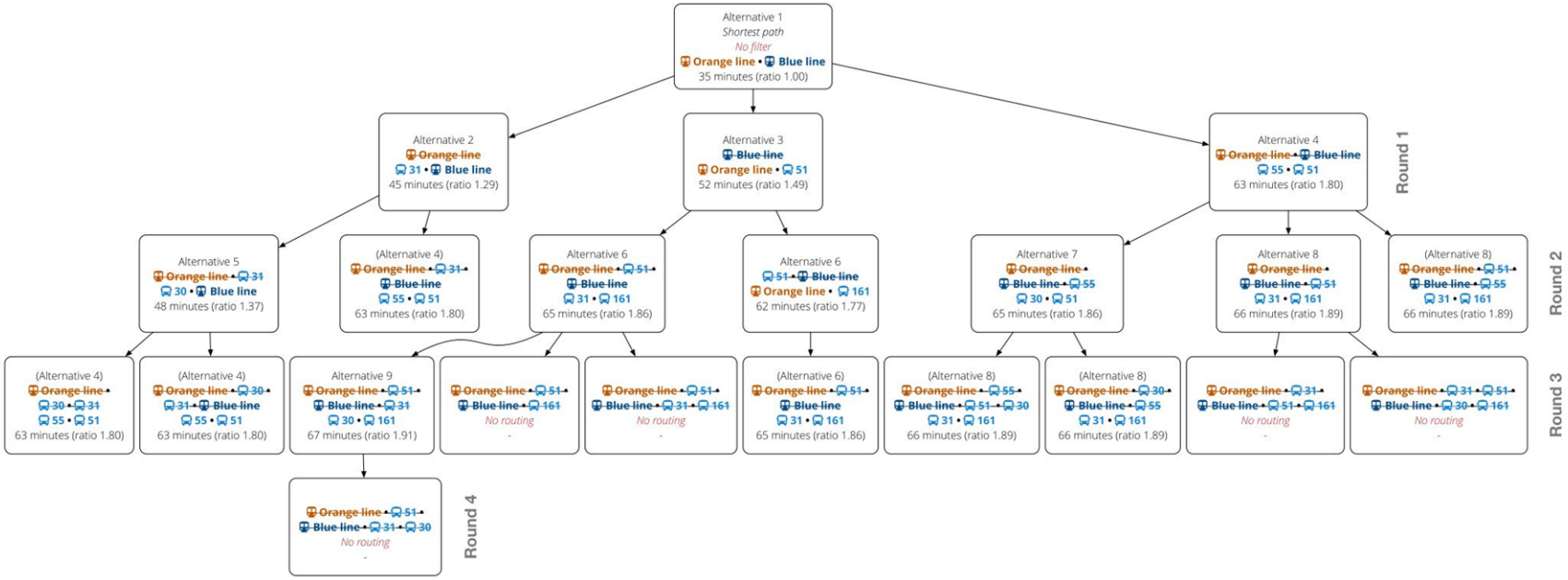

Figure A.1 Exemple de génération d'alternatives pour une paire OD par l'algorithme de filtrage des lignes de transport en commun (Bourbonnais et al., 2019)

ANNEXE B PROCESSUS DE SÉLECTION DES PAIRES OD

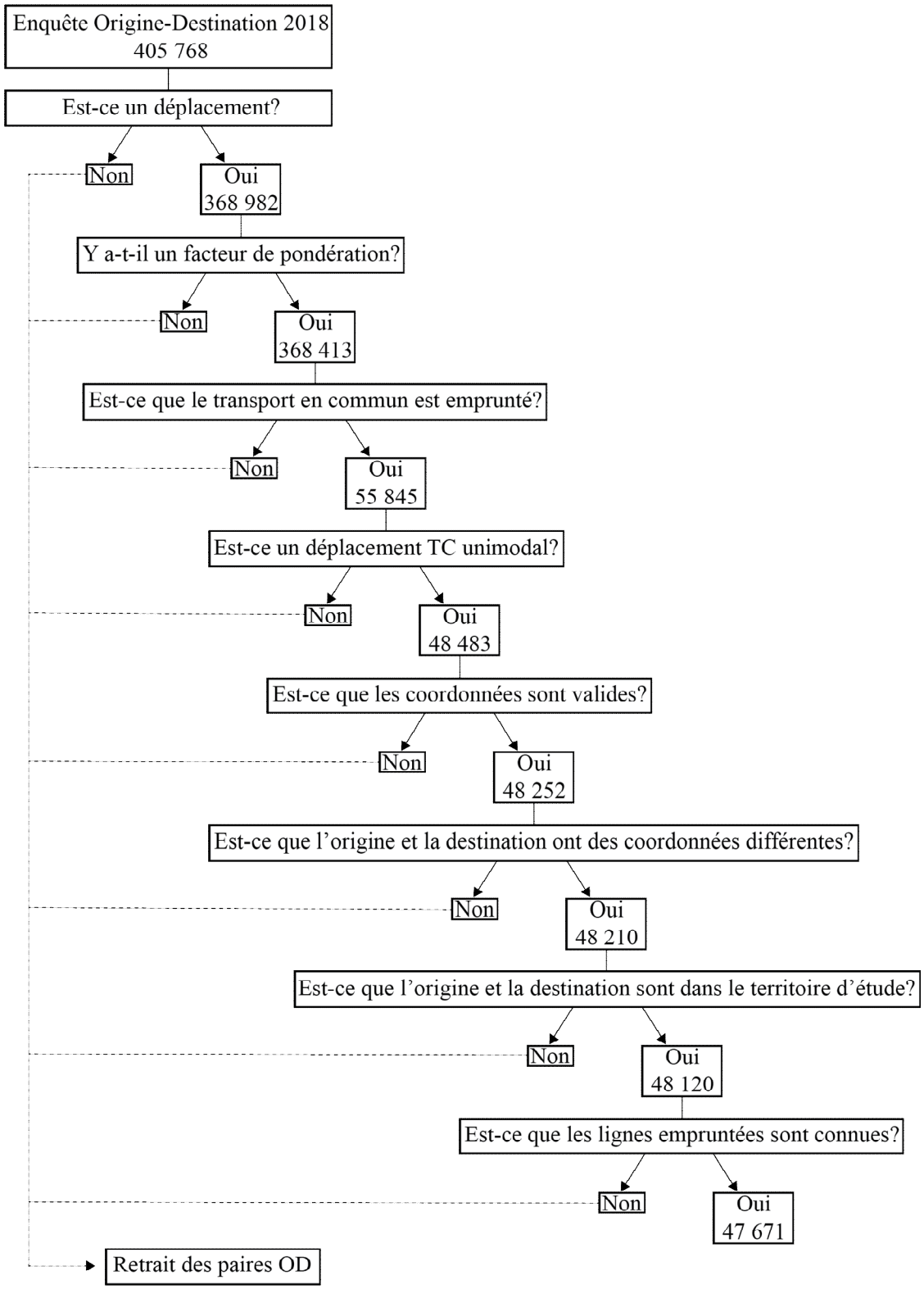

Figure A.2 Processus de sélection des paires origine-destination

ANNEXE C NOM DES AGENCES DE TRANSPORT EN COMMUN

Tableau A.1 Dictionnaire des noms des agences de transport en commun

Acronyme	Nom
CITCRC	exo – Chambly – Roussillon – Carignan
CITHSL	exo – Haut-Saint-Laurent
CITLA	exo – Laurentides
CITLR	exo – Le Richelain
CITPI	exo – La Presqu'île
CITROUS	exo – Roussillon
CITSO	exo – Sud-Ouest
CITSV	exo – Sorel – Varennes
CITVR	exo – Vallée du Richelieu
CRTL	CRT Lanaudière
MRCLASSO	exo – L'Assomption
MRCLM	exo – Terrebonne – Mascouche
MRC2M	exo – Deux-Montagnes (Express d'Oka)
OMITSJU	exo – Sainte-Julie
RTL	Réseau de transport de Longueuil
STL	Société de transport de Laval
STM	Société de transport de Montréal
TRAINS	exo – Réseau de transport métropolitain

ANNEXE D SECTEURS MUNICIPAUX DE L'ENQUÊTE ORIGINE-DESTINATION 2018

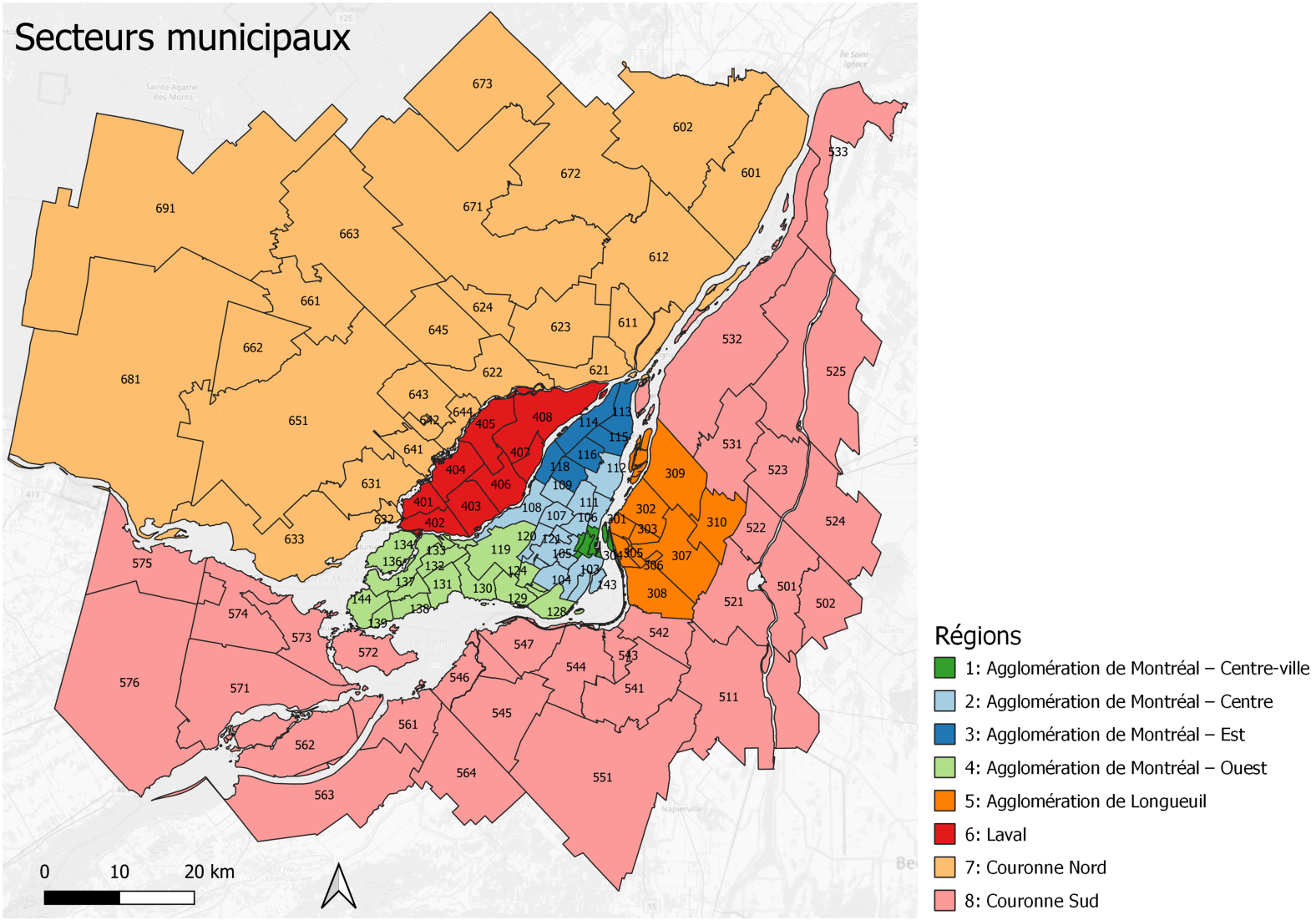

Figure A.3 Secteurs municipaux de l'enquête Origine-Destination de 2018

Tableau A.2 Liste des secteurs municipaux

SM100	Secteur municipal
101	Montréal : Centre-ville
102	Montréal : Centre-ville périphérique
103	Montréal : Sud-Ouest
104	Montréal : Notre-Dame-de-Grâce
105	Montréal : Côte-des-Neiges
106	Montréal : Plateau Mont-Royal
107	Montréal : Villeray
108	Montréal : Ahuntsic
109	Montréal : Saint-Michel
110	Montréal : Rosemont
111	Montréal : Sud-Est
112	Montréal : Mercier
113	Montréal : Pointe-aux-Trembles
114	Montréal : Rivière-des-Prairies
115	Montréal-Est
116	Montréal : Anjou
117	Montréal : Saint-Léonard
118	Montréal : Montréal-Nord
119	Montréal : Saint-Laurent
120	Mont-Royal
121	Montréal : Outremont
122	Westmount
123	Hampstead
124	Côte-Saint-Luc
125	Montréal-Ouest
126	Montréal : Saint-Pierre
128	Montréal : Lasalle
129	Montréal : Lachine
130	Dorval, L'Île-Dorval

Tableau A.2 Liste des secteurs municipaux (suite)

SM100	Secteur municipal
131	Pointe-Claire
132	Dollard-des-Ormeaux
133	Montréal : Roxboro
134	Montréal : L'Île-Bizard
135	Montréal : Sainte-Geneviève
136	Montréal : Pierrefonds
137	Kirkland
138	Beaconsfield
139	Baie-D'Urfé
142	Montréal : Verdun (terrestre)
143	Montréal : Verdun (Île-des-sœurs)
144	Sainte-Anne-de-Bellevue, Senneville
301	Longueuil : Vieux-Longueuil
302	Longueuil : Longueuil Est
303	Longueuil : De Lyon
304	Saint-Lambert
305	Longueuil : LeMoyne
306	Longueuil : Greenfield Park
307	Longueuil : Saint-Hubert
308	Brossard
309	Boucherville
310	Saint-Bruno-de-Montarville
401	Laval : Ouest
402	Laval : Sainte-Dorothée, Laval-sur-le-Lac
403	Laval : Chomedey
404	Laval : Sainte-Rose, Fabreville
405	Laval : Vimont, Auteuil
406	Laval : Pont-Viau, Laval-des-Rapides
407	Laval : Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul

Tableau A.2 Liste des secteurs municipaux (suite)

SM100	Secteur municipal
408	Laval : Saint-François
501	Richelieu, Saint-Mathias-sur-Richelieu
502	Marieville
511	Saint-Jean-sur-Richelieu
521	Carignan, Chambly
522	Saint-Basile-le-Grand
523	Beloeil, Saint-Mathieu-de-Beloeil, McMasterville
524	Mont-Saint-Hilaire, Otterburn Park, Saint-Jean-Baptiste
525	Saint-Charles-sur-Richelieu, Saint-Marc-sur-Richelieu, Saint-Antoine-sur-Richelieu, Saint-Denis-sur-Richelieu
531	Saint-Amable, Sainte-Julie
532	Verchères, Calixa-Lavallée, Varennes, Contrecoeur
533	St-Joseph-de-Sorel, St-Roch-de-Richelieu, Sorel-Tracy
541	Saint-Philippe, Saint-Mathieu
542	La Prairie
543	Candiac
544	Sainte-Catherine, Saint-Constant, Delson
545	Mercier, Saint-Isidore
546	Châteauguay, Léry
547	Kahnawake
551	Saint-Édouard, Saint-Michel, Saint-Rémi, Saint-Patrice-de-Sherrington, Saint-Jacques-le-Mineur
561	Beauharnois
562	Salaberry-de-Valleyfield
563	Saint-Étienne-de-Beauharnois, Saint-Louis-de-Gonzague, Saint-Stanislas-de-Kostka
564	Sainte-Martine, Saint-Urbain-Premier
571	Les Coteaux, Coteau-du-Lac, Saint-Clet, Les Cèdres, Pointe-des-Cascades
572	Notre-Dame-de-l'Ile-Perrot, Pincourt, Terrasse-Vaudreuil, L'Ile Perrot
573	Vaudreuil-Dorion, Vaudreuil-sur-le-Lac, L’Ile-Cadieux
574	Hudson, Saint-Lazare
575	Rigaud, Pointe-Fortune

Tableau A.2 Liste des secteurs municipaux (suite)

SM100	Secteur municipal
576	Rivière-Beaudette, Saint-Polycarpe, Saint-Télesphore, Saint-Zotique, Sainte-Justine-de-Newton, Sainte-Marthe, Très-Saint-Rédempteur
601	Lavaltrie, Lanoraie
602	Crabtree, Joliette, Notre-Dame-des-Prairies, St-Charles-Borromée, St-Paul, St-Pierre, St-Thomas
611	Repentigny, Charlemagne
612	L'Assomption, Saint-Sulpice, L'Épiphanie (V), L'Épiphanie (P)
621	Terrebonne : Lachenaie
622	Terrebonne : Terrebonne (ex-municipalité)
623	Mascouche
624	Terrebonne : La Plaine
631	Saint-Eustache
632	Deux-Montagnes
633	Pointe-Calumet, Saint-Joseph-du-Lac, Oka, Sainte-Marthe-sur-le-Lac, Saint-Placide
641	Boisbriand
642	Sainte-Thérèse
643	Blainville
644	Lorraine, Bois-des-Filion, Rosemère
645	Sainte-Anne-des-Plaines
651	Mirabel
661	Saint-Jérôme
662	Saint-Colomban
663	Sainte-Sophie, Prévost, Saint-Hippolyte
671	Saint-Roch-de-l'Achigan, Saint-Roch-Ouest, Saint-Lin-Laurentides, Saint-Calixte, Sainte-Julienne
672	St-Alexis (V), St-Alexis (P), Ste-Marie-Salomé, St-Esprit, St-Jacques, St-Liguori
673	Rawdon
681	Lachute, Brownsburg-Chatham, Saint-André-d'Argenteuil, Wentworth, Gore, Mille-Isles
691	Saint-Sauveur, Piedmont, Sainte-Adèle, Morin-Heights, Saint-Adolphe-d'Howard, Sainte-Anne-des-Lacs, Wentworth-Nord, Lac-des-Seize-Îles