PolyPublie
Polytechnique Montréal

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL
UNIVERSITÉ D'INGÉNIERIE

Titre: Title:	Méthodologie d'évaluation du partage spatiotemporel de la rue
Auteur: Author:	Gabriel-Lee Lefebvre-Ropars
Date:	2021
Type:	Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis
Référence: Citation:	Lefebvre-Ropars, G.-L. (2021). Méthodologie d'évaluation du partage spatiotemporel de la rue [Thèse de doctorat, Polytechnique Montréal]. PolyPublie. https://publications.polymtl.ca/9949/

Document en libre accès dans PolyPublie
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: PolyPublie URL:	https://publications.polymtl.ca/9949/
Directeurs de recherche: Advisors:	Catherine Morency, & Paula Negron Pobletet
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

Méthodologie d'évaluation du partage spatiotemporel de la rue

GABRIEL-LEE LEFEBVRE-ROPARS

Département des génies civil, géologique et des mines

Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de *Philosophiæ Doctor*

Génie civil

Décembre 2021

© Gabriel-Lee Lefebvre-Ropars, 2021.

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Cette thèse intitulée:

Méthodologie d'évaluation du partage spatiotemporel de la rue

Présenté par **Gabriel-Lee LEFEBVRE-ROPARS**

en vue de l'obtention du diplôme de *Philosophiæ Doctor*

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

Owen WAYGOOD, président

Catherine MORENCY, membre et directrice de recherche

Paula NEGRON-POBLETE, membre et codirectrice de recherche

Martin TRÉPANIER, membre

Marie-Soleil CLOUTIER, membre externe

DÉDICACE

Ce qui compte, ce sont les liens d'affection qui relient les gens entre eux, formant une toile immense et invisible sans laquelle le monde s'écroulerait. Le reste, auquel on consacre la plus grande partie de son temps en prenant des airs très sérieux, n'a que peu d'importance.

Jacques Poulin

Leclerc disait qu'pour tuer un homme
Fallait l'arrêter d'travailler
Non mais de quel homme y parlait?
Sûrement pas d'moé.

Québec Redneck Bluegrass Project

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mes directrices de recherche, Catherine Morency et Paula Negron-Poblete, de m'avoir accompagné dans mon exploration de ce sujet captivant qu'est le partage de la rue. Merci pour le soutien, les encouragements et les opportunités de recherche et d'enseignement.

Un grand merci également à Francesco Ciari, qui a œuvré fort à coups de séminaires, d'apéros distanciés dans les parcs et de succulents gâteaux pour renforcer les liens au sein du groupe de recherche en transport pendant les périodes de confinement qui se sont succédées depuis 2020.

Je suis bien sûr reconnaissant aux organismes qui ont participé au financement de mes recherches, à savoir le Fonds de recherche du Québec – Nature et technologies (FRQNT), le CIRRELT, Polytechnique Montréal, la Fondation des ingénieurs municipaux du Québec (FIMQ), l'Association québécoise des transports (AQTr), la Fondation de l'Association des transports du Canada (ATC) ainsi que les partenaires industriels de la Chaire Mobilité : l'Autorité régionale de transport métropolitain (ARTM), exo, le ministère des Transports du Québec (MTQ), la Société de transport de Montréal (STM) et la Ville de Montréal. Mais au-delà du financement, je suis surtout reconnaissant aux partenaires de la Chaire Mobilité pour leur disponibilité, leur intérêt et leur participation active à nos projets de recherche. Un merci tout spécial à Hamzeh Alizadeh, Kinan Bahbouh. Suran Bechir, Marina Fressancourt, Pascal Lacasse, Christian Letarte, Éric Martel-Poliquin, Kim McDonough, Mohsen Nazem et Louiselle Sioui.

Je tiens également à souligner la contribution essentielle de Christine Chahal et Jimmy Roberge, de la bibliothèque Louise-Lalonde-Lamarre de Polytechnique Montréal, des alliés précieux quand vient le temps de partir à la chasse aux données.

Un énorme merci aux professionnels de recherche de la Chaire Mobilité : Geneviève Bastien, Pierre-Léo Bourbonnais, Jean-Simon Bourdeau, Brigitte Milord et Hubert Verreault. Merci de m'avoir généreusement fait cadeau de votre sagesse, de votre expertise et, surtout, de votre temps pendant toutes ces années.

Merci à mes compagnons d'infortune au doctorat, Elodie Deschaintres et Jérôme Laviolette, pour l'amitié, le soutien, l'entraide et les réflexions qui ont su me faire avancer autant dans mon projet que dans la vie en général. Bon courage pour la suite, vous y êtes presque!

Merci à Laurent-David Beaulieu pour la solidarité dans l'adversité du *machine learning* et pour la cession du bail le moins cher à l'ouest de Pie-IX. Merci à Charles Michaud d'avoir défriché le terrain de l'équité en transport, c'était un privilège de te côtoyer et j'espère qu'on aura à nouveau l'occasion de travailler ensemble. Merci aussi à tous les collègues à la maîtrise – Vincent Chabin, Yann Jeudy, Simon Lepage, Judith Mageau-Béland, Charlotte Poirier et les autres – qui ont contribué à faire du local B-330, notre bureau beige et surpeuplé dont la fenêtre donne sur un mur, un endroit chaleureux et accueillant.

Un merci tout particulier aussi à Pauline Wolff, dont le mentorat a su adoucir le choc d'une première session d'enseignement.

D'un point de vue plus personnel, j'aimerais remercier celles et ceux qui ont été présents lors des périodes les plus difficiles de ce processus de recherche, périodes qui ont, pour bien faire, coïncidé avec les divers confinements engendrés par la pandémie depuis 2020. Merci à toutes les personnes qui ont été là, en personne ou à distance, pour changer les idées du doctorant confiné que j'étais : Florence Allard-Buffoni, Charles Carrier-Plante, Isabelle Cossette, Ilia Denotkine, Charles Dubé, Érick Dupuis, Florence Ferraris, Thibaut Hugueny et la ligue des quiz en direct de notre canapé, Asparouh Lilov, Nicolas Ménard, Joliann Morissette, Anaïs Moulin, Matthew North, Marie-Laurence Rho et tous les autres que j'oublie.

Merci à ma mère pour son soutien au cours des douze (!) dernières années passées à l'université et pour son intérêt envers mes recherches.

Et finalement, merci à Audrey de m'avoir, comme toujours, soutenu (et supporté!) au cours de cet exercice.

RÉSUMÉ

De plus en plus de documents de planification, au Québec et ailleurs, contiennent des objectifs relatifs à l'amélioration du partage de la rue entre ses divers usagers : piétons, cyclistes, usagers du transport collectif, automobilistes, notamment. Plusieurs démarches visent également à rétablir un équilibre entre les différentes dimensions de la rue : la rue comme lien, c'est-à-dire comme espace dédié à la mobilité, mais aussi la rue comme lieu, c'est-à-dire comme espace d'activités, ainsi que la rue comme espace accueillant des fonctions environnementales.

Ce partage de l'espace de la rue est le produit d'un arbitrage politique, administratif et technique entre les divers modes, arbitrage sous-tendu par des principes implicites ou explicites d'équité. De plus, le partage de l'espace urbain est changeant : il varie selon l'heure de la journée, le jour de la semaine et la période de l'année. Toutefois, peu de méthodes d'évaluation et d'indicateurs de suivi ont été proposés pour assurer la mise en œuvre des objectifs publics en matière de partage de la rue. Alors même que les pouvoirs publics investissent des sommes colossales dans le réaménagement des infrastructures urbaines dans le but d'en améliorer le partage, il n'existe toujours pas de mesures à grande échelle pour étudier le caractère équitable de ce partage et pour en assurer le suivi dans le temps. Quelques méthodes ont été proposées, mais toutes ces méthodes dépendent de relevés effectués sur le terrain ou encore d'une classification manuelle des surfaces à l'aide de photos satellites. Il n'existe ainsi, à l'heure actuelle, aucune méthode systématique pour effectuer le diagnostic du partage de l'espace de la rue à l'échelle d'un territoire urbain. Le partage de l'espace urbain reste donc un concept difficile à définir, à mesurer et à évaluer dans le temps.

La présente thèse propose un cadre d'analyse ainsi que des méthodes de mesure et d'évaluation du partage de la rue en milieu urbain. Les méthodes et indicateurs présentés sont élaborés à l'aide d'une approche automatisée basée sur de grands ensembles de données géoréférencées et appliqués à l'échelle d'un territoire d'étude composé de 11 arrondissements montréalais. Les indicateurs ainsi développés sont ensuite appliqués à des scénarios alternatifs de partage de la rue afin d'évaluer leur potentiel de suivi des interventions de réallocation de l'espace de la rue.

Une base de données répertoriant l'allocation de chacune des surfaces de la rue à l'échelle des arrondissements du territoire d'étude au sein des trois dimensions de la rue – lien, lieu et environnement – est tout d'abord construite. Cela permet de constater la place importante qui est allouée à l'automobile sur le territoire montréalais. En effet, plus de 75 % des surfaces de voirie et

plus de 20 % des surfaces de marge – c'est-à-dire l'espace situé entre la voirie et les bâtiments – sont consacrées à la circulation ou au stationnement automobile au sein du territoire d'étude. L'allocation de l'espace de voirie est caractérisée par une certaine variabilité dans le temps, particulièrement dans le cas des voies de stationnement situées dans les quartiers centraux. C'est toutefois moins de 1 % des surfaces de voirie qui changent d'affectation simultanément au sein du territoire d'étude, ce qui souligne le caractère statique des pratiques actuelles de partage de la voirie. On remarque également que la dimension de lien est celle qui se voit attribuer la majeure partie de la superficie des rues. L'application d'un indicateur synthèse d'équilibre entre les trois dimensions de la rue permet d'ailleurs de constater que le déséquilibre en faveur de la dimension de lien est particulièrement important dans les quartiers industriels et autour des grands axes autoroutiers, mais également dans le centre-ville et les quartiers résidentiels qui lui sont adjacents.

En se concentrant sur la dimension de lien de la rue, pour laquelle une grande quantité de données est disponible, une méthode d'évaluation du partage de la voirie selon trois principes de justice distributive est élaborée. Cette démarche permet d'illustrer les différentes analyses qui peuvent découler d'un même objectif, à savoir l'évaluation du partage de la rue dans une optique d'équité. L'application d'une approche suffisantiste permet de constater que l'automobile est le mode qui jouit du meilleur accès minimal aux rues du territoire d'étude, suivi de près par la marche, tandis que les usagers du transport collectif et les cyclistes doivent se contenter, dans la plupart des cas, d'un accès aux rues qui est partagé avec les automobilistes. L'application d'une approche utilitariste du partage de la rue permet de prendre la mesure de l'efficacité spatiale des différentes infrastructures de transport, notamment les voies cyclables et les voies réservées pour le transport collectif. L'approche égalitariste du partage de la rue, quant à elle, permet de cibler les rues où les différents patrons d'allocation de l'espace de voirie introduisent un déséquilibre par rapport à la demande. Alors que les approches suffisantiste et utilitariste peuvent identifier un manque au niveau de l'offre, seule l'approche égalitariste permet de quantifier l'effet de ce manque en fonction des comportements de mobilité des usagers. Par ailleurs, l'utilisation d'un profil de demande potentielle, en plus des déplacements observés, permet d'observer un accroissement de ce déséquilibre lorsque l'on considère les alternatives plausibles aux modes motorisés.

Afin de permettre une utilisation conjointe des différentes approches basées sur des principes de justice distributive, une série d'indicateurs synthèses est ensuite proposée. Cela permet de mettre en relief la diversité des constats qu'il est possible de tirer sur le partage d'une même rue ou d'un

même bassin de desserte – les bassins de desserte piétonne des écoles, en l'occurrence – en fonction de la définition choisie d'un partage équitable. L'usage combiné des différents indicateurs est donc essentiel afin de saisir l'entièreté de la dynamique du partage d'une rue. Chaque approche a donc un rôle particulier à jouer : l'indicateur suffisantiste permet de s'assurer qu'un accès minimal est offert au plus grand nombre d'usagers possible en fonction du mode qu'ils choisissent – ou qu'ils sont contraints – d'utiliser; l'indicateur utilitariste offre la possibilité de choisir entre deux interventions afin de prioriser celle qui offre la meilleure capacité totale, tous modes confondus; l'indicateur égalitariste permet de cibler les tronçons de rues où une opération de rééquilibrage du partage de la rue est prioritaire.

L'application des indices proposés précédemment à trois scénarios de réallocation privilégiant chacun un mode alternatif à la voiture permet finalement de prendre la mesure de l'impact de chacun de ces scénarios au sein de l'arrondissement montréalais de Ville-Marie. L'implantation systématique de voies réservées au transport collectif contribue d'abord et avant tout à rééquilibrer l'offre d'espace en fonction de la demande observée. L'implantation de voies cyclables protégées sur les rues offrant un faible confort cyclable permet pour sa part d'offrir un nouvel accès confortable et sécuritaire aux rues de l'arrondissement pour les cyclistes et de rééquilibrer l'offre d'espace en fonction de la demande potentielle. L'élargissement systématique des trottoirs sur le réseau artériel et collecteur, quant à lui, permet principalement d'augmenter de manière importante la capacité totale des rues de l'arrondissement de Ville-Marie. L'intervention la plus équitable selon les différents principes de justice varie aussi selon le tronçon étudié ainsi que selon la manière d'envisager la demande (accès exclusif ou partagé, demande observée ou potentielle). Il est également possible de constater que ces diverses interventions n'ont pas le même effet selon le profil sociodémographique des usagers de la rue.

ABSTRACT

More and more planning documents, in Québec and elsewhere, aim to reallocate street space between the various users of the street, namely pedestrians, cyclists, public transit riders and motorists. Several approaches also aim to restore a balance between the different dimensions of the street: the street as a link, i.e., a space dedicated to mobility, but also the street as a place, i.e., an activity space, as well as the street as a space dedicated to environmental functions.

The allocation of street space is the product of a political, administrative and technical arbitration between the various modes and uses of the street, an arbitration underpinned by implicit or explicit principles of justice. In addition, the allocation of urban space is not fixed: it varies according to the time of day, the day of the week and the time of year. However, few evaluation methods and monitoring indicators have been proposed to oversee the realization of public goals in terms of street space reallocation. Even though authorities invest colossal sums in the redevelopment of urban streets, there are still no generalizable measures to study the equitable nature of these reallocation operations and to ensure their fairness or to monitor their evolution over time. A few methods have been proposed, but they depend on surveys carried out in the field or on a manual classification of surfaces using satellite photos. At the present time, there is no systematic method for carrying out the diagnosis of the sharing of street space at a city scale. The equity of street space allocation therefore remains a difficult concept to define, measure and evaluate over time.

This thesis proposes an analytical framework as well as methods for measuring and evaluating street space allocation in urban areas. The methods and indicators presented are developed using an automated approach based on large sets of georeferenced data and applied across a study area made up of 11 boroughs of the City of Montréal. The indicators thus developed are then applied to alternative street space allocation scenarios in order to assess their potential for monitoring street space reallocation interventions.

A database listing the allocation of each of the street surfaces at the scale of the study area within the three dimensions of the street - link, place and environment - is first constructed. This shows the important place allocated to cars in Montréal. In fact, more than 75% of road surfaces and more than 20% of margin surfaces - the space located between the roadway and the buildings - are devoted to traffic or car parking within the study area. The allocation of street space is characterized by a certain variability over time, particularly in the case of parking lanes located in central

neighborhoods. However, less than 1% of road surfaces change use simultaneously within the study area, which underlines the static nature of current street space allocation practices. It can also be observed that the link dimension is the one that receives the largest major part of the street area. The application of a summary indicator measuring the balance between the three dimensions of the street shows that the imbalance in favor of the link dimension is particularly important in industrial areas and around major freeways, but also in the city center and the residential areas adjacent to it.

Focusing on the link dimension of the street, for which a large amount of data is available, a method for evaluating street space allocation according to three principles of distributive justice is developed. This approach highlights the different analyses that can result from the same goal, namely the evaluation of street space allocation from a perspective of equity. Applying a sufficientarian approach shows that cars enjoy the best minimum access to the streets of the study area, closely followed by walking, while public transit riders and cyclists, in most cases, must make do with shared access to the streets. Applying a utilitarian approach to street space allocation reveals the spatial efficiency of different transport infrastructures, including cycle lanes and lanes reserved for public transit. The egalitarian approach to street space allocation, on the other hand, makes it possible to target streets where the different space allocation patterns introduce an imbalance with respect to demand. While the sufficientarian and utilitarian approaches can identify a lack of supply, only the egalitarian approach enables a comparison with the mobility behaviors of street users. Moreover, the use of a potential demand profile, in addition to observed trips, shows an increase in this imbalance when plausible alternatives to motorized modes are taken into account.

A series of indicators is then proposed to allow the joint use of the different approaches based on principles of distributive justice. This highlights the diversity of observations that can be drawn on the space allocation patterns of a given street or catchment area - the pedestrian catchment area of schools, in this case - depending on the chosen definition of an equitable space allocation. The combined use of different indicators is therefore essential in order to understand the entire space allocation dynamic. Each approach has a specific role to play: the sufficientarian indicator ensures that a minimal access level is offered to as many users as possible depending on the mode they choose - or are constrained - to use; the utilitarian indicator offers the possibility of choosing between two interventions in order to prioritize the one that offers the best total capacity with all

modes combined; the egalitarian indicator enables the identification of streets where an operation to rebalance the sharing of the street is a priority.

Applying the indices proposed above to three reallocation scenarios, each favoring an alternative mode to the car, allows the measuring of the impacts of each scenario within the Montréal borough of Ville-Marie. The systematic implementation of public transit priority lanes helps first and foremost to rebalance the supply of space according to observed demand. Adding protected bicycle lanes on streets with high traffic stress offers comfortable and safe access for cyclists to the streets of the borough and rebalances the supply of space according to potential demand patterns. A systematic widening of sidewalks on arterial and collector streets mainly allows a significant increase in the total capacity of streets in the Ville-Marie borough. The most equitable intervention according to the different principles of justice varies according to each street, as well as the demand (exclusive or shared access, observed or potential demand). It is also observed that these various interventions have different effects depending on the socio-demographic profile of street users.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE III

REMERCIEMENTS IV

RÉSUMÉ VI

ABSTRACT IX

TABLE DES MATIÈRES XII

LISTE DES TABLEAUX XVIII

LISTE DES FIGURES XXI

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS XXXII

LISTE DES ANNEXES XXXIII

CHAPITRE 1 INTRODUCTION 1

CHAPITRE 2 REVUE DE LA LITTÉRATURE 6

2.1 La rue 6

2.1.1 La rue comme lien 8

2.1.2 La rue comme lieu 11

2.1.3 La dimension environnementale de la rue 13

2.1.4 La temporalité de la rue 14

2.1.5 Autres dimensions de la rue 15

2.2 Le partage de la rue 16

2.2.1 L'équité 17

2.2.2 Principes de justice distributive 29

2.3 Méthodes existantes de mesure de l'offre et de la demande en espace 40

2.3.1 Mesure de l'offre pour la dimension de lien 40

2.3.2 Mesure de la demande pour la dimension de lien 44

2.3.3 Traitement des dimensions de lieu et d'environnement 45
2.4 Synthèse et discussion 46
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE 49
3.1 Méthodologie générale 50
3.1.1 Définition de l'objet d'étude 50
3.1.2 Contributions 51
3.1.3 Jeux de données employés 54
3.1.4 Territoire d'étude 57
3.2 Construction d'une base de données de l'offre d'espace dans les rues du territoire d'étude 59
3.2.1 Échelles spatiales considérées 59
3.2.2 Voirie et marge 63
3.2.3 Typologie des surfaces de rue 66
3.2.4 Prétraitement de la base de données des actifs de voirie 68
3.2.5 Calcul de l'allocation de la voirie selon la période 72
3.2.6 Construction des marges 86
3.2.7 Calcul de la superficie végétalisée des rues du territoire d'étude 92
3.2.8 Hiérarchie des rues selon le rôle de lien et de lieu 94
3.3 Estimation de la demande en transport sur les rues du territoire d'étude 96
3.3.1 Demande observée 97
3.3.2 Demande potentielle 99
3.3.3 Segmentation selon la provenance 104
3.3.4 Intégration de la demande en transport des marchandises 105
3.3.5 Limites associées à la représentation de la demande à l'aide de l'Enquête OD 2013 109

3.4 Synthèse 109

CHAPITRE 4 VARIATION SPATIALE ET TEMPORELLE DE L'OFFRE D'ESPACE DANS LES RUES DU TERRITOIRE D'ÉTUDE 111

4.1 Variation spatiale de l'offre d'espace dans les rues du territoire d'étude 111

4.1.1 Marges 111

4.1.2 Voirie : par arrondissement 115

4.1.3 Voirie : par type de rue 117

4.2 Variation temporelle de l'offre d'espace 121

4.2.1 Analyse descriptive de la variation temporelle 121

4.2.2 Fréquence de la variation de l'allocation des surfaces de voirie 125

4.2.3 Amplitude de la variation de l'allocation des surfaces de voirie 129

4.2.4 Déterminants de la variation temporelle 132

4.3 Synthèse et limites 137

CHAPITRE 5 ÉQUILIBRE ENTRE LES DIMENSIONS DE LA RUE 139

5.1 Calcul de l'espace alloué aux trois dimensions de la rue 139

5.2 Proposition d'un indicateur d'équilibre 141

5.3 Mise à l'épreuve de l'indicateur 143

5.4 Résultats 145

5.4.1 Équilibre entre les dimensions 147

5.4.2 Effet de l'implantation des corridors sanitaires durant la pandémie de COVID-19 148

CHAPITRE 6 ÉVALUATION DU PARTAGE DE LA RUE COMME LIEN À L'AIDE DE PRINCIPES DE JUSTICE DISTRIBUTIVE 150

6.1 Une approche suffisantiste stricte du partage de la rue 150

6.1.1 Identification des tronçons offrant un accès minimal selon le mode 151

6.1.2 Analyse suffisantiste à l'échelle des tronçons de rues 153

6.1.3 Analyse suffisantiste à l'échelle des axes et des corridors 158
6.1.4 Potentiel et limites d'une approche suffisantiste du partage de la rue 160
6.2 Une approche utilitariste du partage de la rue 161
6.2.1 Calcul de la capacité théorique selon le mode 162
6.2.2 Potentiel et limites d'une approche utilitariste du partage de la rue 167
6.3 Une approche égalitariste du partage de la rue 168
6.3.1 Écart entre l'offre et la demande 168
6.3.2 Écart offre-demande à l'échelle de l'arrondissement 174
6.3.3 Écart offre-demande à l'échelle du corridor 178
6.3.4 Effet de l'intégration des volumes de véhicules de transport de marchandises sur l'indicateur d'écart offre-demande 185
6.3.5 Potentiel et limites d'une approche égalitariste du partage de la rue 189
6.4 Synthèse 189
CHAPITRE 7 ANALYSE COMPARATIVE DU PARTAGE DE LA RUE SELON DIFFÉRENTS INDICATEURS 191
7.1 Indicateurs synthèses 191
7.1.1 Indicateur suffisantiste du partage de la rue 191
7.1.2 Indicateur utilitariste du partage de la rue 195
7.1.3 Indicateur égalitariste du partage de la rue 198
7.2 Analyse comparative des indicateurs de partage de la rue 203
7.2.1 Illustration de différents types de rues 204
7.3 Étude de cas : le bassin de desserte piétonne des écoles 217
7.3.1 Construction du bassin de desserte piétonne des écoles du territoire d'étude 218
7.3.2 Distribution des indicateurs de partage de la rue autour des écoles du territoire d'étude 219

7.4 Synthèse 223
CHAPITRE 8 ÉVALUATION DE SCÉNARIOS DE PARTAGE ALTERNATIF DE LA RUE 227
8.1 Scénarios de partage alternatif de la voirie 227
8.1.1 Scénario axé sur le transport collectif 229
8.1.2 Scénario axé sur le vélo 230
8.1.3 Scénario axé sur la marche 231
8.2 Effet des scénarios sur le partage de la rue à l'échelle des tronçons de rues 233
8.2.1 Scénario axé sur le transport collectif 236
8.2.2 Scénario axé sur le vélo 239
8.2.3 Scénario axé sur la marche 242
8.2.4 Scénario recommandé par tronçon selon les différents principes de justice 245
8.3 Effet des scénarios sur le partage de la voirie selon les attributs des déplacements 253
8.3.1 Effet des scénarios selon la provenance des déplacements 254
8.3.2 Effet des scénarios selon l'âge des individus 255
8.3.3 Effet des scénarios selon la possession d'un permis de conduire 255
8.3.4 Effet des scénarios selon le revenu 256
8.4 Synthèse 257
CHAPITRE 9 CONCLUSION 259
9.1 Synthèse 259
9.1.1 Variation spatiale et temporelle de l'offre d'espace 260
9.1.2 Évaluation du partage de la rue 261
9.1.3 Application du cadre d'évaluation du partage de la rue 262
9.2 Contributions 263
9.2.1 Contributions analytiques 263

9.2.2 Contributions méthodologiques 263
9.2.3 Diffusion des travaux de recherche 264
9.3 Limites 265
9.3.1 Portée des travaux 265
9.3.2 Disponibilité, exhaustivité et précision des données 266
9.3.3 Définition des unités spatiales d'analyse 267
9.3.4 Choix des modes considérés 268
9.3.5 Estimation de la demande 268
9.3.6 Variabilité de l'offre 269
9.3.7 Évaluation du partage de la rue 269
9.4 Perspectives 270
9.4.1 Méthodes de mesure et traitement des données 271
9.4.2 Évaluation du partage de la rue 271
RÉFÉRENCES 273
ANNEXES 288

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 Dimensions de la rue identifiées dans la littérature scientifique 7

Tableau 2.2 Usages majeurs de l'espace de la rue (Eichner et Tobey, 1987, p. 280, tableau 22-1) 10

Tableau 2.3 Activités liées aux usagers des deux dimensions principales de la rue (d'après Marshall, 2003, p. 776) 12

Tableau 2.4 Caractéristiques de lieu possibles pour une classification en six catégories (traduit et adapté de Jones et al., 2007, p. 57) 13

Tableau 2.5 Écart entre l'offre et la demande selon le mode à Amsterdam en fonction de la pondération de la demande (adapté depuis Nello-Deakin, 2019, tableaux 1, 2 et 3) 35

Tableau 2.6 Mécanismes d'allocation pour un partage équitable de la rue (traduit de Creutzig et al., 2020) 39

Tableau 2.7 Synthèse des caractéristiques des approches recensées d'évaluation du partage de la rue 47

Tableau 3.1 Jeux de données employés 55

Tableau 3.2 Arrondissements de la Ville de Montréal 58

Tableau 3.3 Typologie des surfaces de voirie 67

Tableau 3.4 Classification simplifiée de l'inventaire des actifs de voirie 69

Tableau 3.5 Données utilisées pour identifier chacun des types de surfaces de voirie 73

Tableau 3.6 Seuils maximaux pour respecter les critères simplifiés du LTS 3 81

Tableau 3.7 Priorité de détection des fonctions de la chaussée 84

Tableau 3.8 Correspondance entre les données du rôle d'évaluation foncière (MAMH) et les géométries des parcelles du cadastre (MERN) 91

Tableau 3.9 Superficie totale des marges selon l'usage principal de la parcelle 92

Tableau 3.10 Classification des rues selon leur rôle de lien et de lieu (adapté de Jones et al., 2009) 94

Tableau 3.11 Classification des tronçons de rues du territoire d'étude selon leur rôle de lien.....95

Tableau 3.12 Classification des tronçons de rues du territoire d'étude selon leur rôle de lieu.....95

Tableau 3.13 Unités de mesure de la demande par mode 99

Tableau 3.14 Seuil du 80^{e} centile du ratio de compétitivité entre automobile et transport collectif dans l'Enquête OD 2013 selon l'âge et le genre 101

Tableau 3.15 Classes de véhicules modélisées dans le MOTREM13 (tiré de Ministère des Transports du Québec, 2019, p. 5) 106

Tableau 4.1 Répartition des surfaces associées à la voirie, aux marges et aux intersections dans les arrondissements du territoire d'étude 112

Tableau 4.2 Variables employées dans l'analyse de classification hiérarchique.....132

Tableau 5.1 Catégorisation des surfaces de voirie selon la dimension 140

Tableau 6.1 Formulations de l'indicateur suffisantiste strict 152

Tableau 6.2 Capacité théorique selon le type d'usage 163

Tableau 6.3 Écart offre-demande selon l'arrondissement, journée moyenne de semaine d'automne, période de pointe du matin 175

Tableau 7.1 Matrice de corrélation (coefficient de Pearson) des différents indicateurs synthèses du partage de la rue 203

Tableau 7.2 Distribution des indicateurs de partage de la rue selon le quantile 204

Tableau 7.3 Synthèse des indicateurs de partage de la rue proposés 224

Tableau 8.1 Rue Sherbrooke Ouest entre les rues de la Montagne et Crescent, arrondissement de Ville-Marie, scénario axé sur la marche.....243

Tableau D.1 Distribution de la valeur moyenne de l'indicateur suffisantiste (formulation exclusive) par scénario durant les trajets des déplacements observés dans l'arrondissement de Ville-Marie selon divers attributs des déplacements 295

Tableau D.2 Distribution de la valeur moyenne de l'indicateur suffisantiste (formulation partagée) par scénario durant les trajets des déplacements observés dans l'arrondissement de Ville-Marie selon divers attributs des déplacements 296

Tableau D.3 Distribution de la valeur moyenne de l'indicateur utilitariste par scénario durant les trajets des déplacements observés dans l'arrondissement de Ville-Marie selon divers attributs des déplacements 297

Tableau D.4 Distribution de la valeur moyenne de l'indicateur égalitariste (demande observée) par scénario durant les trajets des déplacements observés dans l'arrondissement de Ville-Marie selon divers attributs des déplacements 298

Tableau D.5 Distribution de la valeur moyenne de l'indicateur égalitariste (demande potentielle) par scénario durant les trajets des déplacements observés dans l'arrondissement de Ville-Marie selon divers attributs des déplacements 299

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 Représentation du partage de la rue à partir de la largeur moyenne des voies (tiré de Martin, 2016, p. 78). Reproduit avec la permission de l'auteur. 22

Figure 2.2 Allocation de l'espace selon le mode pour une section du boulevard Hans Christian Andersen à Copenhague (Colville-Andersen, 2018, p. 94). Reproduit avec la permission de Springer Nature Customer Service Centre GmbH. 23

Figure 2.3 Extrait du portail *The Mobility Report : What the Street!?* représentant une part de l'espace consacré aux automobilistes (stationnements à gauche et voies de circulation à droite) dans la ville de Boston, aux États-Unis (reproduit depuis Szell, 2018 sous licence CC BY 4.0). 24

Figure 2.4 Consommation d'espace-temps par un usager selon le mode pour une journée de travail typique (adapté de Bruun et Vuchic, 1995) 25

Figure 2.5 Répartition de la demande en espace selon les dimensions de lieu (*Place*) et de circulation (*Link*) de la rue (reproduit depuis Jones et al., 2008 sous licence CC-BY-NC-ND 4.0) 30

Figure 2.6 Le « triangle des compromis », illustration des paramètres possibles de répartition de l'espace de la rue en fonction de l'espace disponible (reproduit depuis Jones et al., 2008 sous licence CC-BY-NC-ND 4.0) 30

Figure 2.7 Allocation de l'espace de lieu et de circulation en fonction des contraintes (reproduit depuis Jones et al., 2008 sous licence CC-BY-NC-ND 4.0) 31

Figure 2.8 Combinaisons possibles des trois dimensions de la rue pour une emprise de 15 mètres (adapté de Rodriguez-Valencia, 2014) 33

Figure 2.9 Mécanismes d'allocation (en bleu), dimensions (en vert) et principes éthiques (en jaune) applicables au partage de la rue (Creutzig et al., 2020). Reproduit avec la permission de Taylor & Francis Group. 38

Figure 2.10 Identification de l'espace alloué à chaque mode dans une intersection parisienne et de la demande qui lui est associée (reproduit depuis Colville-Andersen, 2018, p. 92 avec la permission de Springer Nature Customer Service Centre GmbH) 41

Figure 2.11 Détection manuelle de la superficie allouée à différents modes et combinaisons de modes à Fribourg à partir d'une image satellite (tiré de Gössling et al., 2016, licence en cours d'acquisition) 42

Figure 2.12 Échantillon de l'inventaire des actifs de voirie des Pays-Bas compris dans la base de données BGT (reproduit depuis Nello-Deakin, 2019 sous licence CC BY-NC-ND 4.0) 43

Figure 3.1 La rue et ses différentes composantes (créé avec Streetmix, CC BY-SA 4.0) 50

Figure 3.2 Schéma méthodologique du projet (1/2) 52

Figure 3.3 Schéma méthodologique du projet (2/2) 53

Figure 3.4 Territoire d'étude 58

Figure 3.5 Lien entre les différentes échelles d'analyse 59

Figure 3.6 Construction d'un corridor pour un axe de référence 61

Figure 3.7 Nombre d'axes par corridor en plus de l'axe de référence 61

Figure 3.8 Exemple d'un bassin de desserte piétonne : bassin de l'école primaire François-de-Laval, située dans l'arrondissement d'Ahuntsic-Cartierville 62

Figure 3.9 Illustration de la localisation typique de la voirie et des marges (créé avec Streetmix, CC BY-SA 4.0) 64

Figure 3.10 Exemples de surfaces répertoriés dans l'inventaire des actifs de voirie de la Ville de Montréal 68

Figure 3.11 Lien entre la géobase linéaire et l'inventaire des actifs de voirie à travers l'identifiant de tronçon 70

Figure 3.12 Illustration des types de surfaces de voirie possibles pour les actifs de type trottoir (créé avec Streetmix, CC BY-SA 4.0) 75

Figure 3.13 Illustration des types de surfaces de voirie possibles pour les actifs de type voie cyclable (créé avec Streetmix, CC BY-SA 4.0) 76

Figure 3.14 Construction des surfaces de voirie cyclables situées en marge 76

Figure 3.15 Illustration des types de surfaces de voirie possibles pour les actifs de type chaussée en présence d'une infrastructure cyclable dédiée et d'une chaussée piétonne (créé avec Streetmix, CC BY-SA 4.0)....77

Figure 3.16 Association des paramètres du stationnement sur rue aux bordures de chaussée (panneaux reproduits depuis Ville de Montréal, 2015)....78

Figure 3.17 Illustration de la détection d'une surface de type chaussée partagée entre conducteurs et cyclistes (créé avec Streetmix, CC BY-SA 4.0)....80

Figure 3.18 Sections du réseau AIMSUN et tronçons de géobase....82

Figure 3.19 Position de la surface de chaussée selon le type de tronçon de rue....82

Figure 3.20 Découpage d'un tronçon de rue en segments et mesure de la largeur de chaque surface pour chaque segment (adapté de Lefebvre-Ropars et al., 2021b)....83

Figure 3.21 Allocation des surfaces de voirie selon le type d'usage et le moment de la journée, chemin de la Côte-des-Neiges entre le boulevard Édouard-Montpetit et l'avenue Lacombe, arrondissement de Côte-des-Neiges–Notre-Dame-de-Grâce....85

Figure 3.22 Catégorisation des surfaces selon l'indice canopée métropolitain de la CMM....87

Figure 3.23 Illustration de la géométrie des bâtiments selon la source de données utilisée....87

Figure 3.24 Source des données d'empreinte des bâtiments....88

Figure 3.25 Création des subdivisions d'îlots et rattachement aux surfaces de voirie adjacentes.89

Figure 3.26 Résultat de la procédure de création des marges selon le type de bâtiment employé 90

Figure 3.27 Extension des parcelles pour combler l'écart entre les terrains privés et la voirie....91

Figure 3.28 Détection du stationnement en marge....93

Figure 3.29 Classification des tronçons de rues du territoire d'étude selon leur rôle de lien et de lieu....96

Figure 3.30 Nombre de déplacements (PA) transférés selon le mode entre le profil de demande observée et le profil de demande potentielle....103

Figure 3.31 Part de la demande selon le profil (observée ou potentielle) et la variable de calcul (passagers, passagers-kilomètres ou passagers-heures), territoire d'étude, Enquête OD 2013 104

Figure 3.32 Répartition des déplacements au sein des arrondissements du territoire d'étude selon leur provenance, Enquête OD 2013, période de pointe du matin 105

Figure 3.33 Nombre de véhicules motorisés commerciaux pour chaque véhicule motorisé particulier selon les données du MOTREM13 108

Figure 4.1 Poids des marges dans la superficie totale de la rue selon l'arrondissement.....113

Figure 4.2 Distribution de la superficie des marges selon l'utilisation du sol 115

Figure 4.3 Superficie allouée à chacun des types de surfaces de voirie selon l'arrondissement, 1er janvier 2018, 8 h 00.....116

Figure 4.4 Répartition des surfaces de voirie selon l'usage et la classe fonctionnelle à l'échelle du territoire d'étude 118

Figure 4.5 Superficie allouée à chacun des types de surfaces de voirie selon le rôle de lieu du tronçon, 1er janvier 2018, 8 h 00 119

Figure 4.6 Superficie totale allouée à chacun des types de surfaces de voirie selon la densité résidentielle dans un rayon de 400 mètres, 1er janvier 2018, 8 h 00 120

Figure 4.7 Variation hebdomadaire de l'allocation des surfaces de voirie entre chaque lundi de l'année au sein du territoire d'étude par rapport au 1er janvier 2018 122

Figure 4.8 Variation de l'allocation des surfaces de voirie durant la semaine du 1er au 7 janvier au sein du territoire d'étude par rapport au 1er janvier 2018 à minuit.....124

Figure 4.9 Distribution de l'indicateur de fréquence fr à l'échelle du territoire d'étude.....125

Figure 4.10 Distribution de la fréquence moyenne quotidienne de variation de l'allocation d'espace de voirie selon le rôle de lien et de lieu.....126

Figure 4.11 Fréquence moyenne de la variation de l'allocation de la voirie selon le tronçon de rue au cours de l'année 2018.....128

Figure 4.12 Distribution de l'indicateur d'amplitude Ar à l'échelle du territoire d'étude.....129

Figure 4.13 Distribution de l'amplitude maximale de variation de l'allocation d'espace de voirie selon le rôle de lien et de lieu 130

Figure 4.14 Amplitude maximale de la variation de l'allocation de la voirie selon le tronçon de rue au cours de l'année 2018 131

Figure 4.15 Arbre de régression employant l'indicateur de fréquence fr comme variable dépendante (1/2) 133

Figure 4.16 Arbre de régression employant l'indicateur de fréquence fr comme variable dépendante (2/2) 134

Figure 4.17 Arbre de régression employant l'indicateur d'amplitude Ar comme variable dépendante (1/2) 135

Figure 4.18 Arbre de régression employant l'indicateur d'amplitude Ar comme variable dépendante (2/2) 136

Figure 5.1 Allocation des surfaces de la rue aux dimensions de lien et de lieu (adapté de Lefebvre-Ropars et al., 2021b) 140

Figure 5.2 Valeurs de l'indice d'entropie de Shannon selon différentes distributions des valeurs entre trois catégories 142

Figure 5.3 Distribution de la valeur de l'indice d'entropie $E3D$ selon la part de la surface allouée à chacune des dimensions 143

Figure 5.4 Corridors sanitaires à Montréal en date du 10 juillet 2020 (adapté de Lefebvre-Ropars et al., 2021b) 144

Figure 5.5 Effet de l'introduction d'une voie cyclable temporaire sur l'indicateur $E3D$ (adapté de Lefebvre-Ropars et al., 2021b) 145

Figure 5.6 Effet de l'implantation de mesures de piétonnisation sur l'indicateur $E3D$ (adapté de Lefebvre-Ropars et al., 2021b) 145

Figure 5.7 Dimension dominante dans les tronçons de rues du territoire d'étude 146

Figure 5.8 Illustration de l'affectation des surfaces de voirie et de marge à une dimension 147

Figure 5.9 Équilibre entre les trois dimensions de la rue au sein du territoire d'étude (adapté de Lefebvre-Ropars et al., 2021b).....148

Figure 5.10 Distribution de la variation de l'indicateur $E3D$ à la suite de l'implantation de corridors sanitaires durant l'été 2020 par rapport à 2018 (adapté de Lefebvre-Ropars et al., 2021b) 149

Figure 6.1 Distribution des kilomètres linéaires selon la présence d'une surface allouée à chacun des usages sur un **tronçon**, territoire d'étude, période de pointe du matin, 1er octobre 2018 153

Figure 6.2 Présence d'une surface dédiée à l'automobile (circulation ou stationnement), 1er octobre 2018, période de pointe du matin.....154

Figure 6.3 Présence d'une surface dédiée à la marche, 1er octobre 2018, période de pointe du matin 155

Figure 6.4 Présence d'une surface dédiée au transport collectif (circulation ou stationnement), 1er octobre 2018, période de pointe du matin.....156

Figure 6.5 Présence d'une surface dédiée au vélo (circulation ou stationnement[51]), 1er octobre 2018, période de pointe du matin.....157

Figure 6.6 Illustration de méthode de détection des usages liés à la circulation et au stationnement selon l'unité spatiale dans une approche suffisantiste du partage de la rue 158

Figure 6.7 Distribution des kilomètres linéaires selon la présence d'une surface allouée à chacun des usages sur un **axe**, territoire d'étude, période de pointe du matin, 1er octobre 2018 159

Figure 6.8 Distribution des **corridors** (pondérés par la longueur) selon la présence d'une surface allouée à chacun des usages, territoire d'étude, période de pointe du matin, 1er octobre 2018 160

Figure 6.9 Répartition moyenne de la superficie et de la capacité en période de pointe du matin selon le mode et la hiérarchie fonctionnelle, journée moyenne de semaine en 2018, territoire d'étude.....164

Figure 6.10 Variation de la capacité totale théorique des rues du territoire d'étude au cours de la journée du 1er octobre 2018.....165

Figure 6.11 Ratio entre le gain en capacité totale et la part de la superficie réallouée, 1er octobre 2018, période de pointe du matin 167

Figure 6.12 Construction de l'indicateur d'écart offre-demande pour un mode m donné 169

Figure 6.13 Effet de la variation de l'unité spatiale d'analyse sur la part modale lorsqu'aucune pondération n'est effectuée selon les caractéristiques du trajet 170

Figure 6.14 Valeur de l'indice d'écart offre-demande selon la pondération des déplacements, ensemble du territoire d'étude, déplacements observés, période de pointe du matin 171

Figure 6.15 Distribution cumulée des déplacements (segments en véhicule au sein du territoire d'étude) selon la longueur et la durée du déplacement, déplacements dont l'origine est située sur l'île de Montréal, Enquête Origine-Destination 2013 172

Figure 6.16 Variation de la part modale des PHP sur rue au cours d'une journée moyenne de semaine d'automne au sein du territoire d'étude, Enquête OD 2013 173

Figure 6.17 Variation de la part modale des PHP sur rue selon le mois d'enquête au sein du territoire d'étude, Enquête OD 2013 174

Figure 6.18 Écart offre-demande selon l'arrondissement, journée moyenne de semaine d'automne, période de pointe du matin 176

Figure 6.19 Offre et demande selon le profil de demande et la provenance des déplacements, arrondissement de Ville-Marie, période de pointe du matin 177

Figure 6.20 Rapport entre la part de la superficie et la part de la demande selon le mode et la provenance des déplacements dans les arrondissements du territoire d'étude 178

Figure 6.21 Écart offre-demande de l'automobile par corridor selon le profil de demande, journée moyenne de semaine d'automne, période de pointe du matin 180

Figure 6.22 Écart offre-demande du transport collectif par corridor selon le profil de demande, journée moyenne de semaine d'automne, période de pointe du matin 181

Figure 6.23 Écart offre-demande du vélo par corridor selon le profil de demande, journée moyenne de semaine d'automne, période de pointe du matin 183

Figure 6.24 Écart offre-demande de la marche par corridor selon le profil de demande, journée moyenne de semaine d'automne, période de pointe du matin 185

Figure 6.25 Poids des camions dans la demande selon l'heure, journée moyenne de semaine, territoire d'étude 186

Figure 6.26 Écart offre-demande selon le profil de demande et l'intégration des camions, territoire d'étude, période de pointe du matin 187

Figure 6.27 Effet de la prise en compte des camions dans le calcul de l'écart offre-demande pour l'automobile à l'échelle des corridors, période de pointe du matin 188

Figure 7.1 Rue obtenant un score de 7 pour l'indicateur suffisantiste Sr dans sa formulation exclusive 192

Figure 7.2 Rue obtenant un score de 7 pour l'indicateur suffisantiste Sr dans sa formulation partagée, mais un score de 5 dans sa formulation exclusive en raison de l'absence de voies dédiées au transport collectif et aux cyclistes 192

Figure 7.3 Distribution des kilomètres linéaires selon l'unité spatiale et la valeur de l'indicateur suffisantiste exclusif ou partagé 193

Figure 7.4 Distribution spatiale de l'indicateur suffisantiste exclusif à l'échelle des axes, période de pointe du matin 194

Figure 7.5 Différence entre les formulations partagée et exclusive de l'indicateur suffisantiste à l'échelle des axes, période de pointe du matin 195

Figure 7.6 Distribution des kilomètres linéaires selon la valeur de l'indicateur utilitariste en période de pointe du matin 196

Figure 7.7 Distribution spatiale de l'indicateur utilitariste 197

Figure 7.8 Distribution des kilomètres linéaires selon la valeur de l'indicateur égalitariste pour la demande **observée** en période de pointe du matin 199

Figure 7.9 Distribution spatiale de l'indicateur égalitariste pour la demande **observée** en période de pointe du matin 200

Figure 7.10 Distribution des kilomètres linéaires selon la valeur de l'indicateur égalitariste pour la demande **potentielle** en période de pointe du matin 201

Figure 7.11 Différence entre les formulations observée et potentielle de l'indicateur égalitariste en période de pointe du matin 202

Figure 7.12 Boulevard Henri-Bourassa (côté nord) entre la 56e et la 57e avenue, arrondissement de Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles, 1er octobre 2018, période de pointe du matin .205

Figure 7.13 56e avenue entre le boulevard Perras et la 3e rue, arrondissement de Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles, 1er octobre 2018, période de pointe du matin 207

Figure 7.14 Avenue De Chateaubriand entre la rue Roy Est et l'avenue Duluth Est, arrondissement du Plateau-Mont-Royal, 1er octobre 2018, période de pointe du matin 208

Figure 7.15 Rue Fleury Est entre les rues Chambord et De La Roche, arrondissement d'Ahuntsic-Cartierville, 1er octobre 2018, période de pointe du matin.....209

Figure 7.16 Autoroute Métropolitaine (côté nord) à la hauteur de l'avenue Henri-Julien, arrondissement d'Ahuntsic-Cartierville, 1er octobre 2018, période de pointe du matin (CMM, 2018; traitement par l'auteur).....211

Figure 7.17 Chemin McDougall entre Le Boulevard et le chemin de la Côte-des-Neiges, arrondissement de Ville-Marie, 1er octobre 2018, période de pointe du matin.....212

Figure 7.18 Boulevard De Maisonneuve Ouest entre les rues De Bleury et City Councillors, arrondissement de Ville-Marie, 1er octobre 2018, période de pointe du matin.....214

Figure 7.19 Distribution de l'espace de voirie sur la rue Rachel Est entre les rues De Lanaudière et Garnier, arrondissement du Plateau-Mont-Royal, 1er octobre 2018, période de pointe du matin 216

Figure 7.20 Distribution de l'espace de voirie sur le boulevard Édouard-Montpetit entre les avenues Louis-Colin et Woodbury, arrondissement de Côte-des-Neiges–Notre-Dame-de-Grâce, 1er octobre 2018, période de pointe du matin 217

Figure 7.21 Exemple d'un bassin de desserte piétonne : bassin de l'école primaire François-de-Laval, située dans l'arrondissement d'Ahuntsic-Cartierville.....219

Figure 7.22 Valeur moyenne et écart-type de l'indicateur suffisantiste (formulation partagée) dans le bassin de desserte piétonne des écoles du territoire d'étude 220

Figure 7.23 Valeur moyenne et écart-type de l'indicateur utilitariste dans le bassin de desserte piétonne des écoles du territoire d'étude.....221

Figure 7.24 Valeur moyenne et écart-type de l'indicateur égalitariste (demande observée) dans le bassin de desserte piétonne des écoles du territoire d'étude 222

Figure 7.25 Valeur moyenne et écart-type de l'indicateur égalitariste (demande potentielle) dans le bassin de desserte piétonne des écoles du territoire d'étude 223

Figure 8.1 Zone d'application des scénarios de partage alternatif de la rue, arrondissement de Ville-Marie 228

Figure 8.2 Tronçons de rues visés par le scénario axé sur le transport collectif.....230

Figure 8.3 Tronçons de rues visés par le scénario axé sur le vélo 231

Figure 8.4 Tronçons de rues visés par le scénario axé sur la marche 232

Figure 8.5 Rue Sherbrooke Ouest entre les rues de la Montagne et Crescent, arrondissement de Ville-Marie, scénario de référence, 1er octobre 2018, période de pointe du matin 234

Figure 8.6 Rue Sherbrooke Ouest entre les rues de la Montagne et Crescent, arrondissement de Ville-Marie, scénario axé sur le transport collectif.....236

Figure 8.7 Distribution des kilomètres linéaires de voirie en fonction de la variation des indicateurs synthèses de partage de la rue par rapport au scénario de référence, scénario axé sur le transport collectif, période de pointe du matin, 1er octobre 2018.....238

Figure 8.8 Rue Sherbrooke Ouest entre les rues de la Montagne et Crescent, arrondissement de Ville-Marie, scénario axé sur le vélo 240

Figure 8.9 Distribution des kilomètres linéaires de voirie en fonction de la variation des indicateurs synthèses de partage de la rue par rapport au scénario de référence, scénario axé sur le vélo, période de pointe du matin, 1er octobre 2018 241

Figure 8.10 Distribution des kilomètres linéaires de voirie en fonction de la variation des indicateurs synthèses de partage de la rue par rapport au scénario de référence, scénario axé sur la marche, période de pointe du matin, 1er octobre 2018 244

Figure 8.11 Scénario optimal selon l'indicateur suffisantiste (formulation exclusive) 246

Figure 8.12 Scénario optimal selon l'indicateur suffisantiste (formulation partagée).....247

Figure 8.13 Scénario optimal selon l'indicateur utilitariste 248

Figure 8.14 Scénario optimal selon l'indicateur égalitariste (demande observée) 249

Figure 8.15 Scénario optimal selon l'indicateur égalitariste (demande potentielle).....250

Figure 8.16 Nombre d'indicateurs de partage de la rue maximisés par chacun des scénarios évalués 252

Figure A.1 Effet de la vitesse moyenne pour chaque mode sur l'écart offre-demande lorsque calculé à l'aide des passagers-heures parcourus (PHP).....289

Figure C.1 Part de la superficie de voirie représentée par chacune des catégories d'usages, 1er janvier 2018, 8 h 00 (1/2) 292

Figure C.2 Part de la superficie de voirie représentée par chacune des catégories d'usages, 1er janvier 2018, 8 h 00 (2/2) 293

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ARTM	Autorité régionale de transport métropolitain
CMM	Communauté métropolitaine de Montréal
GBFS	*General Bikeshare Feed Specification*
GTFS	*General Transit Feed Specification*
LTS	*Level of traffic stress*
MAMH	Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation du Québec
MEQ	Ministère de l'Éducation du Québec
MERN	Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec
MOTREM	Modèle de simulation des transports routiers de la région de Montréal
MTQ	Ministère des Transports du Québec
NACTO	*National Association of City Transportation Officials*
OD	Origine-Destination
OSRM	*Open Street Routing Machine*
PA	Passagers
PHP	Passagers-heures parcourus
PKP	Passagers-kilomètres parcourus
SIG	Système d'information géographique
SRRR	Stationnement sur rue réservé aux résidents
STM	Société de transport de Montréal
TC	Transport collectif

LISTE DES ANNEXES

Annexe A Codification des surfaces de l'inventaire des actifs de voirie 288

Annexe B Analyse de sensibilité des vitesses employées dans le calcul des passagers-heures parcourus 289

Annexe C Répartition des types d'usages de la voirie selon l'arrondissement 291

Annexe D Valeur moyenne des indicateurs synthèses de partage de la voirie selon le scénario au cours des déplacements effectués dans l'arrondissement de Ville-Marie 294

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

La notion de rue est fondamentalement liée à la notion même de ville. En effet, les axes de transport ont structuré les établissements humains depuis leurs balbutiements. C'est dans cet espace physiquement contraint que se déplacent quotidiennement de nombreux individus, pour différents motifs et à l'aide de différents modes. Bien souvent, la rue devient ainsi le théâtre d'une compétition entre ses usagers pour en occuper l'espace (Marshall, 2003).

Dès la deuxième moitié du XX^{e} siècle, de pair avec la démocratisation de l'automobile en Occident, le partage des espaces de la rue s'est le plus souvent effectué au profit des véhicules automobiles. Ce faisant, les décideurs et praticiens de l'époque cherchaient à améliorer le bilan de sécurité routière, souvent catastrophique, et à soutenir l'essor de la mobilité individuelle en construisant autour de l'automobile un système routier efficace, standardisé, fluide et sécuritaire (Hebbert, 2005; Poitras, 2014). Cette cristallisation de la planification des transports autour de la mobilité automobile a eu pour effet de reléguer les autres modes de transports et leurs usagers aux marges des infrastructures routières et d'invisibiliser leurs besoins (Mullen et al., 2014; Pooley et al., 2014). Pour leur propre sécurité, les usagers des modes de transport actifs se sont vus confinés à des espaces restreints et délimités. Aux intersections, là où les flux séparés des automobiles et des modes actifs doivent forcément se rencontrer, la priorité a traditionnellement été accordée aux premiers (Norton, 2007).

Cette conception de la rue comme d'un couloir ayant pour fonction première de canaliser le plus efficacement possible la circulation automobile est progressivement remise en question. Les effets négatifs d'un aménagement des villes centré autour de l'automobile ne sont par ailleurs plus à démontrer. On compte notamment parmi ceux-ci les problèmes de santé dus à la sédentarité (Organisation mondiale de la Santé, 2000) et à l'exposition aux polluants (Carrier et al., 2014), les risques plus élevés d'être victime d'un accident de la route (Strauss et al., 2014) ainsi que de nombreux impacts environnementaux (Chapman, 2007).

Un nombre croissant de pouvoirs publics à l'échelle de la planète proposent ainsi de modifier les principes dominants du partage de la rue afin d'en redistribuer les espaces de manière plus équitable entre ses différents usagers. La région de l'Île-de-France parle par exemple dans son Plan de déplacements urbains de « [m]ettre en œuvre un nouveau partage multimodal de la voirie en Île-de-France pour faciliter l'usage des modes alternatifs à la voiture » (Île-de-France Mobilités, 2014,

p. 74). Dans son Plan de développement des transports urbains, la Ville de Berlin mentionne sa volonté de « réorganiser » les rues publiques pour offrir une plus grande place aux modes alternatifs et écologiques (Berlin's Senate Department for Urban Development and the Environment, 2014, p. 11). Le département des transports de la ville de New York prévoit, dans son dernier Plan stratégique, favoriser la part modale des modes actifs en redistribuant l'espace dans ses rues de manière plus « équilibrée » (NYCDOT, 2016, p. 10). On y mentionne aussi l'opportunité qu'offre ce type de réaménagement pour augmenter la capacité et l'efficacité du réseau routier urbain (NYCDOT, 2016, p. 27).

D'autres villes envisagent également ces stratégies sous le prisme de l'amélioration de la capacité routière. C'est le cas notamment de l'agglomération de Londres, qui prévoit favoriser les modes les plus « spatialement efficaces » dans le but de créer des rues plus fluides pour le transport des personnes et des marchandises (Mayor of London, 2018, p. 74), ou encore de Stockholm, qui mentionne la nécessité de déplacer davantage de personnes et de marchandises sans augmenter l'emprise actuelle des rues urbaines (The City of Stockholm Traffic Administration, 2012, p. 18-19).

Par ailleurs, de plus en plus de pouvoirs publics adoptent des approches de type « rues conviviales », un concept né aux États-Unis sous le nom de « *Complete Streets* » et qui vise à concevoir des rues « qui peuvent être utilisées en toute sécurité et en tout confort par tous les usagers de la route, et ce, sans égard au mode de déplacement, à l'âge, aux capacités physiques ou aux moments de la journée » (Association des transports du Canada, 2015, p. 1). La transformation d'une rue « traditionnelle » en rue conviviale implique la plupart du temps des reconfigurations géométriques visant à accorder davantage d'espace aux modes actifs et au transport collectif, en plus de l'ajout de dispositifs d'apaisement de la circulation et de l'augmentation de l'espace réservé à la végétation dans l'emprise publique (Litman, 2015). Ces reconfigurations sont parfois nommées « régimes routiers[1] » (Bowman, 2013), « contractions routières » (Cervero et al., 2017) ou « *rightsizing* » (Ullman, 2013).

[1] Traduction du terme anglais « *road diet* ».

Alors que ce type d'intervention revêt une importance croissante dans l'action publique, on remarque toutefois qu'il n'existe pas encore d'outils d'évaluation et de suivi de la reconfiguration de l'espace public en faveur des modes actifs et collectifs. Hui, Saxe, Roorda, Hess et Miller (2018) observent que les cadres d'évaluation et les indicateurs de suivi existants se concentrent sur la quantification des interventions effectuées sur le domaine public, tandis que le suivi effectué ne tient pas compte de l'ensemble des dimensions d'une rue urbaine.

À titre d'exemple, le plan d'action de la Stratégie centre-ville de Montréal – un document de planification élaboré par l'arrondissement de Ville-Marie – comporte une mesure visant à « [r]ééquilibrer le partage du domaine public en faveur des modes de transport actif et collectif […]» (Ville de Montréal, 2017, p. 31). L'indicateur choisi par la Ville afin d'effectuer le suivi de cette mesure est le nombre de kilomètres de rues réaménagées en fonction de ce principe. On remarque que cette mesure ne permet pas d'évaluer explicitement l'atteinte du nouvel équilibre visé, mais permet simplement de prendre la mesure de l'étendue du domaine d'application de l'approche.

L'atteinte d'un équilibre entre les modes de transport dans une rue urbaine nécessite pourtant de définir cet équilibre, et donc de quantifier les compromis devant être réalisés entre les différents modes et dimensions d'une rue. De plus, la rue n'est pas seulement un axe de circulation, mais bien un espace public qui accueille un grand nombre d'activités locales (Jones et al., 2009; Marshall, 2002). Il existe donc un besoin de développer des indicateurs permettant d'effectuer un suivi quantitatif de l'allocation – ou de la réallocation – de cet espace public ainsi que de la capacité des rues urbaines selon le mode de transport et le type d'usagers desservis lors de la mise en place de ce type de stratégie. De tels indicateurs permettraient d'effectuer un diagnostic de l'équilibre actuel de l'allocation de l'espace urbain entre les modes et les usages pour une rue donnée et, éventuellement, de prendre la mesure de l'amélioration de cet équilibre à la suite d'une intervention.

Quelques chercheurs et professionnels ont commencé à développer des outils permettant de mesurer l'espace alloué aux divers modes de transport dans les rues urbaines (voir notamment : Agentur für clevere Städte, 2014; Colville-Andersen, 2018, chap. 8; Gössling et al., 2016; Hampton, 2013; Martin, 2016; Szell, 2018). Ces outils se basent pour la plupart sur des approches manuelles appliquées à des territoires restreints et ne posent pas de diagnostic élaboré sur

l'équilibre entre l'espace alloué aux divers modes de transport dans les rues urbaines, se limitant souvent à une comparaison entre l'espace au sol alloué à un mode donné et sa part modale à l'échelle du quartier ou de la ville. Ces méthodes ignorent également, pour la plupart, les activités prenant place dans une rue qui ne sont pas liées à la circulation, limitant par le fait même la portée de l'analyse à une seule des dimensions de l'espace complexe et multidimensionnel qu'est la rue.

Une fois l'espace disponible mesuré, il importe de développer des outils permettant de juger de la répartition de ces ressources entre les divers modes et usages qui caractérisent une rue. À ce titre, il existe dans la littérature sur l'équité des transports de nombreux principes de justice distributive qui pourraient être mobilisés et appliqués à l'évaluation de cette répartition de l'espace dans les rues urbaines. Pour l'instant, ces principes de justice sont typiquement appliqués à grande échelle et cherchent à mesurer soit l'équité de l'accessibilité de différentes populations à des ressources données, soit l'équité dans la répartition des avantages et des impacts d'un projet ou d'une infrastructure (voir notamment Alsnih et Stopher, 2003; Di Ciommo et Shiftan, 2017; Martens, 2016). Certains auteurs ont toutefois commencé à poser les bases de l'application du cadre théorique de l'équité à l'évaluation du partage de la rue (Creutzig et al., 2020; Nello-Deakin, 2019). Toutefois, aucune application systématique d'un ensemble de principes de justice distributive n'a encore été effectuée à l'échelle d'une région urbaine. De plus, il existe un besoin de définir une méthode formelle de diagnostic de la répartition actuelle des espaces dans les rues urbaines ainsi que d'évaluation de divers scénarios alternatifs plus équilibrés dans un contexte d'action publique.

La présente thèse vise à développer une méthode de mesure et d'évaluation du partage de la rue, et ce, à l'aide de méthodes automatisées appliquées à l'échelle de 11 arrondissements montréalais. L'objectif des présents travaux n'est pas de proposer une méthode de conception routière, mais bien d'offrir un outil supplémentaire aux décideurs, aux professionnels de l'aménagement et aux différentes parties prenantes leur permettant de réfléchir au partage de la rue sur des bases communes à l'aide de principes formels de justice.

Cette thèse est structurée en neuf chapitres, la présente introduction constituant le chapitre 1. Le chapitre 2 effectue une revue de la littérature scientifique et professionnelle ayant abordé ces thèmes. Le chapitre 3 présente le cadre méthodologique et les étapes de conception de la base de données qui sert de base aux présents travaux. Le chapitre 4 offre une description de la variation spatiale et temporelle de l'allocation de l'espace dans les rues du territoire d'étude. Une méthode

d’évaluation de l’équilibre entre les principales dimensions de la rue – le lien, le lieu et l’environnement – est proposée au chapitre 5. Le chapitre 6 s’attarde à la dimension de lien de la rue, c'est-à-dire à son rôle dans la mobilité des personnes et des biens, et applique trois principes de justice distributive afin d’évaluer le partage des rues du territoire d’étude. Des indicateurs synthèses pour chacun des principes étudiés sont proposés au chapitre 7 et appliqués à différentes échelles spatiales. Ces indicateurs sont ensuite employés afin d’évaluer l’effet de différents scénarios de partage alternatif de la rue au centre-ville de Montréal dans le chapitre 8. En guise de conclusion, le chapitre 9 présente une synthèse des travaux, effectue un rappel des contributions, synthétise les limites de l’approche choisie et offre un survol des perspectives de recherche sur le thème du partage de la rue.

CHAPITRE 2 REVUE DE LA LITTÉRATURE

Le développement d'une méthodologie d'évaluation du partage de la rue nécessite tout d'abord de définir l'objet d'étude, c'est-à-dire la rue, ainsi que les cadres théoriques et les méthodes ayant été proposées pour en évaluer le partage. Les objectifs de cette revue de la littérature scientifique et technique sont les suivants :

1. Recenser les modèles proposés pour représenter la rue en tant qu'objet d'étude et terrain d'action publique;
2. Définir la notion de partage de la rue et présenter les cadres théoriques qui s'y rattachent;
3. Présenter la notion d'équité et le potentiel de son opérationnalisation dans le contexte de la mesure du partage de la rue;
4. Réaliser une revue des méthodes et techniques existantes de mesure de l'offre et de la demande en espace dans la rue.

Une courte synthèse et une discussion des besoins à combler dans le domaine de la mesure et de l'évaluation du partage de la rue conclut le présent chapitre.

2.1 La rue

Il est difficile, comme le souligne Rapoport (1987, p. 80), de dégager une définition de la rue qui soit applicable à toutes les cultures et à toutes les périodes historiques. Il est cependant possible d'identifier une définition générale de la rue qui découle de ses propriétés morphologiques. Dans sa représentation la plus schématique, un milieu urbain peut être considéré comme un assemblage de volumes pleins et vides qui se définissent mutuellement. Les volumes pleins sont constitués des structures bâties, tandis que les volumes vides sont constitués des espaces extérieurs publics et privés. La rue correspondrait ainsi à un sous-ensemble des espaces extérieurs, c'est-à-dire ceux qui sont encadrés par des façades et qui sont d'accès public (Ellis, 1978).

Toutefois, la rue est davantage qu'un espace délimité par des bâtiments. En effet, au-delà de ses propriétés morphologiques, la notion de rue est fortement associée à la fonction de circulation des personnes et des biens. La rue serait ainsi un « espace linéaire plus ou moins étroit, délimité par les

bâtiments d'un établissement humain et utilisé pour la circulation ainsi que, parfois, d'autres activités[2] » [notre traduction] (Rapoport, 1987, p. 81).

Plusieurs auteurs ont proposé des modèles permettant de saisir la rue dans toute sa complexité. Deux dimensions fondamentales de la rue sont systématiquement reprises par ces auteurs : celle de lien et celle de lieu (voir tableau 2.1). Une rue serait donc à la fois un espace dédié à la circulation des personnes et des marchandises (un « lien ») et un espace d'activités (un « lieu »). De plus en plus, le rôle environnemental de la rue, c'est-à-dire son potentiel comme espace dédié au verdissement, est aussi souligné. En plus de ces rôles primordiaux, certains auteurs soulignent les dimensions de la rue liées aux réseaux d'infrastructures urbaines et au cadre bâti. À chacune de ces dimensions sont associés divers usagers et pratiques, lesquels évoluent en fonction de la période de la journée, de la semaine, du mois et de l'année (Billiard, 1988, p. 76; Fleury, 2004).

Tableau 2.1 Dimensions de la rue identifiées dans la littérature scientifique

	Dimensions		
Publication	**Transport**	**Activités**	**Autres**
Brès (2006)	Mouvement	Riveraineté	
Jones, Marshall et Boujenko (2008, 2009)	Lien	Lieu	
Marshall (2003)	Lien	Lieu	Bâti
Marshall (2002)	Artère	Cellule	
Cerdà (1863), cité dans Magrinya (1996)	Mouvement	Séjour	Infrastructures
Ministère des Transports du Québec (2010, chap. 1, p. 2)	Circulation	Accès	
Hui et al. (2018); Rodriguez-Valencia (2014, 2015)	Mouvement	Lieu	Environnement
Creutzig et al. (2020)	Transport	Lieu	Climat et durabilité

Les sections qui suivent approfondissent chacune des dimensions suivantes: la rue comme lien, la rue comme lieu, la rue comme environnement ainsi que la notion de temporalité de la rue. Les autres dimensions de la rue soulevées dans la littérature sont également brièvement abordées.

[2] Texte original : « [Streets] are the more or less narrow, linear spaces lined by buildings found in settlements and used for circulation and, sometimes, other activities. »

2.1.1 La rue comme lien

Le rôle de la rue comme lien la distingue des autres espaces publics. Les définitions de la rue que l'on retrouve dans la littérature soulignent immanquablement cette dimension comme une de ses caractéristiques fondamentales. La rue est ainsi décrite comme « un moyen d'organiser des activités autour d'une dynamique de circulation [et] avant tout une forme urbaine orientée vers le transport[3] » [notre traduction] (Marshall, 2003, p. 771-772) ainsi que comme un espace « répondant en même temps aux exigences de la locomotion et de l'organisme social et urbain » (Magrinya, 1996). Il s'agit donc fondamentalement d'un espace dont le rôle premier est de permettre la circulation des personnes et des biens, tout en accueillant également d'autres activités.

Jones et al. (2008) décrivent ainsi la fonction de « lien » d'une rue urbaine :

> « En tant que Lien, une rue fournit un canal aux mouvements de transit et fait partie intégrante d'un réseau plus large de rues urbaines et d'autres réseaux plus spécialisés de transport urbain (le réseau de tramways, par exemple). L'usager d'un Lien peut s'y déplacer à l'aide d'une variété de modes, de l'automobile ou du camion privés à l'autobus, la bicyclette ou la marche. Son besoin essentiel consiste à suivre un itinéraire continu et linéaire sur le réseau viaire, itinéraire qui doit compter le moins de perturbations possible et assurer une connexion ininterrompue entre l'origine et la destination du déplacement. De manière générale, l'usager cherche à minimiser son temps de parcours à travers chaque tronçon de la rue[4]. » [Notre traduction]

Ainsi, la rue en tant que lien est vouée, d'abord et avant tout, aux usagers en transit et s'inscrit au sein d'un réseau. Il s'agit d'un espace multimodal dont la fonction première est d'assurer un déplacement efficace et de minimiser les frictions afin d'accélérer le départ de l'usager et la poursuite de son déplacement sur le réseau. Les activités réalisées sur une rue donnée, l'accès aux

---

[3] Texte original: « [T]he street is fundamentally a means of organizing activities around a pattern of circulation. Besides all else, a street is a transport-oriented urban form. »

[4] Texte original: « As a Link, a street provides a conduit for through movement, and forms an integral part of the wider urban street network and other, more specialised, urban transport networks (e.g. on-street light rail network). A Link user may travel by a variety of modes, from private car or truck to bus, bicycle or on foot. Their essential need is to follow a continuous, linear path through the street network, with minimum disruption and a seamless connection from the beginning to the end of their journey. In general, they are seeking to minimise travel time along each section of street. »

destinations et les déplacements n'appartenant pas à une logique de transit (déambulations, lèche-vitrine, etc.) relèvent plutôt, selon les auteurs, de la fonction de lieu de la rue (voir section 2.1.2 ci-dessous).

2.1.1.1 La rue comme élément d'un réseau de circulation

Le principal outil de hiérarchisation des rues en fonction de leur rôle dans le réseau viaire d'un territoire est la classification fonctionnelle. Celle-ci consiste en une série de catégories représentant le rôle qu'une rue doit jouer à l'échelle du réseau. Ce rôle peut être celui que joue la rue au moment de l'établissement de la classification – on parle alors d'une classification descriptive – ou encore celui que les pouvoirs publics envisagent pour la rue à court, moyen ou long terme – on parle alors d'une classification prescriptive (Marshall, 2002, p. 4-5).

Différents paliers de gouvernement peuvent élaborer une classification prescriptive, souvent appelée classification fonctionnelle, pour un même territoire en fonction de leurs besoins et de leurs domaines de compétence. Marshall (2002, p. 15) identifie les critères généraux de classification fonctionnelle des tronçons routiers à la suite d'une revue des pratiques en Europe[5] :

- La vitesse affichée du tronçon;
- La longueur des déplacements desservis par le tronçon;
- Les activités auxquelles donne accès le tronçon;
- Le rôle stratégique du tronçon;
- L'équilibre entre les rôles de circulation et d'accès aux destinations[6] sur le tronçon.

2.1.1.2 Les usagers de la rue

Tel que mentionné précédemment, le transit est l'usage principal de la rue comme lien et constitue le rôle qui la définit en tant que telle. La rue est ainsi un corridor permettant à des personnes empruntant une variété de modes, mais également à des marchandises, de compléter un trajet sur

---

[5] La revue recense les pratiques dans neuf pays: Allemagne, Belgique, Danemark, Espagne, Grèce, Hongrie, Portugal, Royaume-Uni, Suède.

[6] On note ici une ressemblance avec la notion de rue comme lieu abordée ci-après.

le réseau. Toutefois, les usages de la rue sont beaucoup plus nombreux et divers que le seul transit. Déjà au XIX^{e} siècle, Ildefons Cerdà identifie plus de 90 usages distincts de la rue[7] à Barcelone (Magrinya, 1996). Un groupe de travail sur le partage de la voirie du Conseil national des transports, en France, identifiait en 2004 deux groupes d'usagers principaux qui utilisent la rue en tant que lien : les usagers des transports (transport collectif, transport individuel, modes vulnérables) et les usagers professionnels (services, livraison, accompagnement, santé et sécurité, exploitation et entretien, travaux publics) (Conseil national des transports, 2004).

Eichner et Tobey (1987) divisent pour leur part les usagers selon le mode qu'ils empruntent (voir tableau 2.2) : la circulation véhiculaire et la circulation piétonne – notons ici l'absence du vélo et des autres modes actifs.

Tableau 2.2 Usages majeurs de l'espace de la rue (Eichner et Tobey, 1987, p. 280, tableau 22-1)

Circulation véhiculaire	**Circulation piétonne**
Transit	Transit
Dépôt et cueillette de passagers	Attente, embarquement et débarquement de véhicules de transport collectif
Stationnement sur rue	
Accès au stationnement hors-rue	Entrée et sortie du métro
Bus	Traversée de la rue
Services sur rue	Entrée et sortie des bâtiments
Services hors-rue	
Véhicules d'urgence	

On parle de la rue chez Marshall (2003) comme d'un « assemblage de trafic et de transport multimodal répondant à une diversité de types de mouvements [qui] accommode des déplacements de transit, des déplacements arrivant à destination, du stationnement, des activités de service ainsi qu'une variété de modes de transport, des tramways aux véhicules individuels en passant par les piétons[8] ». Marshall souligne d'ailleurs que les usagers n'ont pas droit au même traitement selon

[7] L'auteur citant Cerdà ne donne que deux exemples de ces usages (les vendeurs et les services de voirie) et mentionne qu'il n'en subsiste que 30 dans une « rue actuelle », sans non plus les énumérer (Magrinya, 1996, p. 19).

[8] Texte original : « […] the street can be regarded as a multi-modal traffic and transport package, catering for a diversity of kinds of movement. The street accommodates through trips, terminating trips, parking and servicing activities, and a variety of transport modes from street-running trams through to vehicular traffic to pedestrians »

le mode qu'ils utilisent, certaines « formes de mouvement véhiculaire » jouissant d'une plus grande reconnaissance et de considération lors de l'aménagement des rues.

2.1.2 La rue comme lieu

En plus de son rôle de lien, la rue occupe également le rôle d'espace public le plus structurant dans une ville. En effet, en milieu urbain, la majorité de l'espace public est consacré à la rue (Mehta, 2013, p. 9). Les rues remplissent ainsi, à des degrés variables, une fonction de lieu d'activités où leurs usagers entrent en relation avec diverses activités riveraines ainsi qu'entre eux. Jones et al. (2008) définissent ainsi la fonction de lieu d'une rue :

> « En tant que Lieu, une rue est une destination à part entière : un endroit où se tiennent des activités, que ce soit sur la rue elle-même ou dans des espaces adjacents. L'usager du Lieu cherche à se rendre sur une rue en particulier pour y effectuer une activité et s'y rend habituellement à pied. Ces usagers, souvent considérés comme des « piétons », ne font pourtant pas que traverser l'espace de la rue – ils y passent du temps et peuvent y pratiquer une multitude d'activités.[9] » [Notre traduction]

Le piéton, usager du lien, est donc distingué de celui que Paquot (2004) appelle le « flâneur », c'est-à-dire l'usager du lieu. Le même usager, selon l'activité qu'il pratique, peut appartenir à l'une ou l'autre des catégories, ce qui entraîne une évaluation différente de ses besoins. Ces activités peuvent être de diverses natures : repos, promenade, lèche-vitrine, achats, contacts sociaux, loisirs ou encore expression politique (voir tableau 2.3).

---

[9] Texte original : « As a Place, a street is a destination in its own right: a location where activities occur on or adjacent to the street. A Place user is someone wishing to make use of some of the features that are on that particular street, and will usually do so on foot. While such people are classified as 'pedestrians', they are not passing through the area – they are spending time in the area, and may be carrying out a wide variety of activities […]. »

Tableau 2.3 Activités liées aux usagers des deux dimensions principales de la rue (d'après Marshall, 2003, p. 776)

Personnes dans des véhicules	**Axe du transport**					
	Automobiles (circulation, stationnement)					
	Véhicules de transport de marchandises (circulation, livraison, etc.)					
	Transport collectif (circulation, embarquement/débarquement, etc.)					
	Bicyclettes (circulation, stationnement)					
Personnes dans la rue	Piétons/personnes (marche, chemin de A à B)	Personnes (promenade, exercice, magasinage, tourisme)	Personnes (attente, flânerie, repos)	Personnes (parade, manifestation, communication)	Personnes (vente, affaires, itinérance)	**Axe des personnes**
	Activités liées au transport	Activités non liées au transport				

2.1.2.1 La rue comme élément d'un réseau métropolitain de lieux

Jones et al. (2008) soulignent qu'en plus de s'inscrire dans un réseau hiérarchisé de voies de circulation, la rue s'inscrit également dans un réseau hiérarchisé de lieux à l'échelle de la région métropolitaine où elle se trouve. Certaines rues ont une importance locale, hébergeant des fonctions qui répondent aux besoins de leurs riverains ou des résidents des rues avoisinantes, tandis que d'autres rues attirent des gens qui viennent des quatre coins de la région métropolitaine, ou même de l'extérieur. Contrairement à la classification hiérarchique traditionnelle du réseau routier (voir section 2.1.1.1), omniprésente dans les juridictions occidentales, peu de villes classent l'ensemble de leurs rues selon leur importance en tant que lieu. Les auteurs suggèrent d'employer l'utilisation du sol, le bassin d'attraction des commerces d'une rue ou encore la valeur patrimoniale des bâtiments qui l'encadrent pour établir son importance dans la hiérarchie des lieux urbains, ou encore de déterminer la hiérarchie à l'aide d'un processus de consultation avec les acteurs concernés (voir tableau 2.4). Il n'existe toutefois pas de pratique standardisée à cet effet.

Tableau 2.4 Caractéristiques de lieu possibles pour une classification en six catégories (traduit et adapté de Jones et al., 2007, p. 57)

Rôle de lieu	**Explication**
National (niveau A)	Lieux d'importance nationale et internationale
Ville (niveau B)	Lieu possédant un rôle d'importance à l'échelle de la ville entière, mais qui ne sont pas nécessairement reconnus à l'échelle nationale
Secteur (niveau C)	Lieu desservant tout un secteur d'une grande ville, mais dont les usages ne desservent pas la ville entière
District (niveau D)	Lieu possédant un rôle à l'échelle d'un district (magasinage, usages commerciaux) mais dont les usagers proviennent rarement des autres districts de la ville
Quartier (niveau E)	Lieu agissant comme une destination pour les usagers locaux
Local (niveau F)	Rues d'accès local sans intérêt pour les usagers autres que les riverains

Il est à noter que cette approche cherche à décrire l'importance du rôle de lieu d'une rue, et non son confort pour les usagers qui y pratiquent des activités. Ainsi, une rue d'importance nationale peut vraisemblablement offrir un environnement peu sécuritaire et attractif pour les piétons, par exemple, même en présence d'un équipement à fort rayonnement.

2.1.3 La dimension environnementale de la rue

On retrouve aussi dans les rues un ensemble de surfaces dédiées à la végétation : fosses de plantation d'arbres, saillies de trottoirs, banquettes végétalisées, plates-bandes, marges avant végétalisées, bacs à fleurs, etc. Mehta (2013, p. 16) souligne la montée en popularité de la notion de rue « verte », une conception de la rue qui, en plus d'être un axe de circulation et un lieu d'activités, agit comme partie intégrante de l'écosystème urbain. En plus de fournir de nombreux bénéfices aux usagers de la rue (abaisser la température ambiante, offrir un environnement attrayant, créer une barrière entre les piétons et la circulation automobile, favoriser le ruissellement des eaux de pluies, etc.), la végétation présente dans les rues absorbe également une part des gaz à effet de serre émis par les véhicules, contribuant à l'amélioration de la qualité de l'air à l'échelle de la ville (Will et al., 2018). Les espaces végétalisés relèvent ainsi, selon Rodriguez-Valencia (2014, 2015), d'une troisième dimension à part entière de la rue puisqu'elles en occupent une partie de l'espace et répondent à une catégorie de besoins de leurs usagers.

2.1.4 La temporalité de la rue

Tel que discuté plus haut, la rue est caractérisée par une multitude d'usages et de pratiques de l'espace. Or, toute personne qui pratique l'espace de la rue le fait pendant une certaine durée, occupant donc une unité d'espace-temps (Héran, 2013). De plus, la capacité des usagers d'occuper l'espace(-temps) nécessaire à leur circulation ou leurs activités pendant une période donnée est régulée par plusieurs dispositifs : feux de circulation, interdictions de stationnement, fermetures temporaires ou saisonnières, voies réservées en période de pointe, heures d'ouverture des commerces et ainsi de suite. Il est ainsi impossible de traiter l'espace public qu'est la rue sans considérer sa composante temporelle, c'est-à-dire que, comme le dit Billiard, (1988, p. 76), « l'espace public est d'abord temps public ». La rue présente un visage différent selon l'instant, l'heure, la période de pointe, la journée, la semaine, le mois ou l'année, et offre ainsi un accès différent aux usagers de ses différentes fonctions (Fleury, 2004).

2.1.4.1 L'allocation dynamique du temps

Les dispositifs de signalisation routière sont les méthodes de régulation du temps de la rue les plus dynamiques puisqu'ils allouent, de manière passive ou active, un droit de passage instantané aux usagers circulant dans la rue. Le temps alloué par un feu de signalisation à chaque mouvement ou groupe de mouvements est calculé à la seconde près en fonction de la vitesse affichée, de la nature des mouvements de circulation permis, de la configuration des voies et de l'intersection ainsi que d'une foule d'autres facteurs (Federal Highway Administration, 2010, chap. 4; Ministère des Transports du Québec, 2010b). Les dispositifs de signalisation statiques, tels que les panneaux d'arrêt, exercent également une influence sur le temps disponible pour les usagers puisqu'ils influencent la vitesse à laquelle ils peuvent parcourir un tronçon de rue donné, augmentant ou diminuant ainsi l'espace-temps consommé et, par le fait même, la capacité de l'infrastructure. L'intersection, où se retrouvent ces dispositifs, constitue donc l'instrument principal d'allocation du temps dans une rue urbaine.

2.1.4.2 La variation temporelle de l'allocation d'espace et de temps

Afin de répondre à la fluctuation de la demande ainsi qu'aux contraintes opérationnelles des municipalités, les paramètres d'allocation de l'espace varient selon diverses échelles temporelles. Par exemple, une voie de stationnement peut faire place à une voie réservée en période de pointe

pour assurer que le transport collectif reste compétitif en période de congestion. À Montréal, 75 % de la signalisation liée au stationnement concerne la régulation des espaces de stationnement en fonction de la période de la journée (Bourdeau, 2014, p. 52). Ces variations peuvent s'effectuer sur une base horaire, quotidienne, hebdomadaire, mensuelle ou annuelle. Par exemple, certaines voies cyclables de l'agglomération de Montréal sont en fonction du printemps à l'automne, mais l'espace qui leur est consacré retourne à la circulation générale pendant la saison hivernale, du 16 novembre au 31 mars (Ville de Montréal, 2018). De la même manière, certaines rues peuvent être interdites à la circulation automobiles durant la saison estivale, comme la rue Sainte-Catherine Est ou la rue Saint-Paul à Montréal (Ville de Montréal, s. d.-d). Au fil des années, les interventions publiques peuvent également modifier l'offre d'espace dans une rue, changeant ainsi sa capacité, tandis que l'évolution des activités qui s'y trouvent et les changements dans le profil sociodémographique des riverains peuvent avoir un effet sur la demande en espace à laquelle elle doit répondre (Fleury, 2004)

2.1.5 Autres dimensions de la rue

En plus des dimensions de lieu et de lien, l'espace de la rue accueille plusieurs dimensions identifiées dans la littérature, tel que présenté au tableau 2.1. Déjà au XIX^{e} siècle, Ildefons Cerdà, père de l'urbanisme, souligne l'importance des réseaux techniques et de l'infrastructure (aqueduc, égouts, réseaux de télécommunication, etc.) dans la conception des rues et les intègre systématiquement à ses propositions urbanistiques (Magrinya, 1996). Encore aujourd'hui, la localisation et la nature des réseaux techniques influence le design des rues et leur réaménagement constitue une contrainte non négligeable dans toute opération de réallocation d'une emprise routière (Shapard et Cole, 2013).

D'autres auteurs (Ellis, 1978; Marshall, 2003) identifient le cadre bâti comme troisième dimension de la rue, c'est-à-dire celle qui encadre ses deux dimensions principales et qui fait de la rue un élément fondamental de la ville en trois dimensions[10] (Marshall, 2003, p. 771). Les caractéristiques des bâtiments qui encadrent la rue ont un effet majeur sur la manière dont les usagers l'occupent : des bâtiments isolés de faible hauteur couplés à une large emprise accentuent le rôle de lien de la

[10] Texte original : « *the three-dimensional "building block" of urban form* ».

rue, encourageant des déplacements véhiculaires rapides et peu d'activité sur les trottoirs, tandis qu'une rue étroite bordée de bâtiments contigus aux façades diverses favorise le flânage, les activités locales et le rôle de lieu de la rue (Gehl, 2012). La notion de « squelette de la rue[11] », utilisée notamment par Harvey, Aultman-Hall, Troy et Hurley (2017), exprime les différentes configurations d'encadrement de la rue par le bâti à l'aide de variables quantitatives pouvant être mesurées à l'aide d'un système d'information géographique (SIG). L'analyse des villes de Boston, New York et Baltimore, aux États-Unis, leur permet de dégager une typologie de « squelettes de rue » qui ne sont pas directement corrélées à la hiérarchie routière, suggérant qu'il s'agit d'une dimension indépendante de la rue.

2.2 Le partage de la rue

Le partage d'une rue peut être défini comme la distribution d'une certaine quantité d'espace à chacune des dimensions de la rue identifiées précédemment puis, au sein de chacune de ces dimensions, à différents usagers ou catégories d'usagers.

Marshall (2003) souligne que cette distribution ne se fait pas sans compromis, puisque les usages et usagers en compétition pour un accès à l'espace limité de la rue sont nombreux. La rue peut ainsi être considérée comme un bien commun, pour employer une terminologie économique, c'est-à-dire un bien ouvert à tous, mais où un usager qui fait usage d'une unité d'espace de la rue empêche, par le fait même, un autre usager de profiter de la même unité d'espace (Black et al., 2013). Puisque l'espace de la rue est limité, les pouvoirs publics se voient contraints d'effectuer des choix en faveur de l'un ou l'autre des usages ou usagers lorsque la demande en espace excède l'offre. Afin d'être considérés comme équitables pour les usagers, ces choix gagneraient, selon plusieurs auteurs (Creutzig et al., 2020; Hui et al., 2018; Martens, 2016; Nello-Deakin, 2019), à être guidés par des principes de justice formels.

La présente section effectue un survol de la notion d'équité en transport et s'attarde à la manière dont les travaux précédents sur le partage de la rue se sont inscrits dans le cadre de l'équité, que ce soit implicitement ou explicitement.

---

[11] Terme original : « *streetscape skeleton* ».

2.2.1 L'équité

Diverses définitions de l'équité ont ainsi été proposées dans la littérature scientifique. Dans le domaine de l'aménagement du territoire et de la planification des transports, on relève par exemple celle de Di Ciommo et Shiftan (2017) : « the basic definition of equity [is] "the distribution of benefits and costs over members of society" [using a] distributive principle that determines whether a particular distribution is "morally proper" and "socially acceptable" ». Une planification équitable serait donc celle qui débouche sur une distribution équilibrée des bénéfices et coûts tout en faisant l'objet d'un consensus social.

Afin de déterminer si une politique ou un projet de transport est équitable, Pereira, Schwanen et Banister (2016) proposent un cadre d'évaluation composé de trois questions :

1. Quels sont les bénéfices et les coûts qui sont répartis?
2. Sur quels principes moraux devrait-on établir les mécanismes de répartition?
3. Quel est le schéma de répartition le plus équitable?

Une analyse de l'équité d'une des composantes d'un système de transport devrait donc tout d'abord identifier et mesurer les différents bénéfices et impacts qui lui sont associés. Un principe fondamental menant à une répartition équitable de ces bénéfices et coûts (mais aussi les impacts non monétaires) devrait ensuite être identifié afin de guider l'élaboration d'un indicateur de l'équité de cette répartition. L'identification du schéma de répartition le plus équitable nécessite également, comme le soulignent Behbahani, Nazari, Jafari Kang et Litman (2018), l'identification des individus, groupes ou zones entre lesquels sont répartis les bénéfices et les impacts en question.

Feitelson (2013) observe pour sa part qu'il existe deux manières de concevoir l'équité d'une démarche de planification : l'équité des résultats du processus de planification, c'est-à-dire la répartition équitable des bénéfices et impacts d'un projet, mais aussi l'équité du processus de planification en lui-même, c'est-à-dire l'inclusivité des mécanismes décisionnels vis-à-vis de l'ensemble des membres d'une société. Un processus de planification équitable pourrait donc être jugé à partir de ses résultats, mais aussi de sa capacité à inclure les membres de la société dans l'élaboration des objectifs et des critères d'équité. Une formule de Harvey (1973, cité dans Martens,

2016, p. 9) résume cette pensée simplement : « [F]airness[12] is defined as "a just distribution justly arrived at" ». Dans le contexte des politiques publiques en planification des transports, on pourrait donc définir une planification équitable comme la répartition juste des bénéfices et impacts d'un plan ou d'un projet de transport entre les membres d'une société, distribution effectuée à travers un processus juste. Plus récemment, Jian et al. (2020) soulignent que l'équité de la distribution de l'espace public urbain ne doit pas être seulement jugée à l'aune de la superficie allouée aux différentes populations, mais également en fonction de critères tels que l'inclusion sociale que permet cette distribution, du confort et du sentiment de sécurité ressentis par ses usagers de la rue, ou encore de la pluralité d'activités sociales permises par l'aménagement de l'espace public.

La portée des présents travaux étant toutefois limitée au développement et à l'opérationnalisation d'indicateurs d'équité et de scénarios portant sur l'aménagement physique des rues, les autres dimensions – procédurale, sociale, sécuritaire, etc. – du partage de la rue ne sont pas abordées. En effet, les présents travaux se positionnent comme un des multiples outils qui peuvent être mobilisés en soutien au processus de planification, et non comme une solution unique. Tel que souligné par Martens (2016), ce type d'outils est nécessaire pour informer un processus de planification équitable et participatif en fournissant l'information nécessaire à ses intervenants pour évaluer l'état de la situation et les solutions potentielles aux problèmes rencontrés. Ces outils peuvent ensuite être intégrés à une analyse tenant compte de plusieurs critères (à l'image de Marleau Donais et al., 2019) afin de concevoir des rues qui répondent à l'ensemble des besoins des parties prenantes.

Ainsi, la présente section s'attarde principalement aux différentes définitions et opérationnalisations du concept de distribution équitable de l'espace de la rue. Les différents types de populations à travers lesquelles une distribution équitable peut être appliquée sont abordés de prime abord. Sont recensées par la suite les différentes conceptions des ressources – bénéfices, coûts et impacts – pouvant être appliquées au partage de la rue, puis les différents principes

[12] Le concept est nommé de manière relativement interchangeable « *equity* », « *fairness* » ou « *justice* » dans la littérature anglophone (voir notamment Di Ciommo et Shiftan, 2017; Hay, 1995; Pereira et al., 2016) et « justice » ou « équité » dans la littérature francophone (voir notamment Bonnafous et Masson, 2003; Raux et Souche, 2001).

proposés dans la littérature scientifique dans le but d'atteindre une distribution équitable des bénéfices et impacts d'une action publique.

2.2.1.1 Populations visées

De manière générale, l'évaluation de l'équité d'un réseau de transport implique de déterminer si les bénéfices et les impacts générés par ce réseau sont répartis de manière équitable à travers l'ensemble de la population. Malgré la disponibilité de données parfois très détaillées sur la population en milieu urbain, il est déconseillé d'effectuer ces analyses au niveau de l'individu. En effet, la position sociale et les caractéristiques sociodémographiques d'une personne peuvent évoluer avec le temps; une évaluation fine de l'équité d'un projet ou d'un système à un temps t en fonction des caractéristiques fines de chaque individu concerné deviendrait caduque à un temps $t + 1$ en raison de l'évolution de leur situation personnelle ou de leur trajectoire résidentielle (Martens, 2016, p. 152). Un certain niveau d'agrégation est donc nécessaire afin que les analyses s'appliquent de manière généralisable aux populations ciblées.

Il existe deux grands principes de répartition équitable des ressources : l'équité horizontale et l'équité verticale. L'équité horizontale, ou égalitarisme, requiert que les ressources soient réparties de manière égale entre les différents groupes de la société considérés comme égaux, tandis que l'équité verticale, ou compensatoire, permet une répartition asymétrique des ressources ajustée aux caractéristiques ou aux besoins des différents groupes (Litman, 2018, p. 4).

2.2.1.1.1 Groupes sociaux

La plupart des démarches d'analyse de l'équité dans le domaine de la planification des transports se rattachent au champ de l'équité environnementale, une discipline qui s'intéresse principalement à la répartition des impacts – mais parfois également des bénéfices – de nouveaux projets de transport sur les populations vulnérables. L'analyse de l'équité environnementale d'un projet implique généralement d'identifier les groupes vulnérables en fonction de leurs caractéristiques socioéconomiques ainsi que de leur localisation et leur usage de l'espace (Feitelson, 2013). Di Ciommo et Shiftan (2017) identifient, à titre d'exemple, les critères d'identification suivants : le revenu, l'accès à une automobile, la structure du ménage, l'isolement du lieu de domicile, la défavorisation générale du quartier, l'appartenance à une minorité ethnique ainsi que la mobilité réduite. L'impact des projets et infrastructures de transport (pollution, sécurité routière, etc.) sur

les populations environnantes – les résidents d'une rue, par exemple – peut ainsi être mesuré pour les segments de population identifiés comme vulnérables. Chez Guzman et al. (2021), c'est plutôt à la répartition de l'espace de la rue et des investissements en réaménagement des rues que l'on s'intéresse dans une perspective d'équité entre les groupes sociaux selon leur revenu.

2.2.1.1.2 Modes de transport

Quelques auteurs commencent également à appliquer la notion d'équité en transport à d'autres types de groupes de population. Parmi ces nouvelles approches, notons tout particulièrement celle de l'équité modale, telle que définie par Lee, Sener et Jones (2017). Cette approche vise à évaluer l'équité d'un projet ou d'un réseau de transport selon la répartition des bénéfices et impacts qu'il génère en fonction des différents modes de transport empruntés par ses usagers. À titre d'exemple, Strauss et al. (2014) remarquent que l'aménagement actuel du réseau routier de Montréal augmente de 12 à 14 fois l'exposition des piétons et des cyclistes au risque d'être victime d'une collision. Mullen et al. (2014) arrivent à des conclusions similaires en analysant des données provenant du Royaume-Uni et proposent un nouveau cadre d'évaluation des politiques de transport visant à tenir compte de cette iniquité des impacts entre modes actifs et motorisés dans tout nouveau projet de transport. Parmi les exemples d'application de la notion d'équité modale, on note l'évaluation de processus de design de réseaux de transport collectif afin de mesurer les gains relatifs de leurs usagers par rapport aux automobilistes (voir notamment Kim, 2016) ainsi que l'« équité surfacique[13] », une application de l'équité modale à la répartition de l'espace dans les rues urbaines (Agentur für clevere Städte, 2014; Creutzig et al., 2020; Nello-Deakin, 2019).

2.2.1.1.3 Dimensions de la rue

Chez Jones et al. (2009), les « groupes » entre lesquels on répartit l'espace dans les rues urbaines sont plutôt les dimensions fondamentales de la rue, à savoir le lien, le lieu. Il en va de même chez Rodriguez-Valencia (2014), avec l'ajout de la dimension environnementale. Une rue équitablement partagée devrait donc répondre au moins aux besoins minimaux des usagers de chacune des trois

---

[13] Traduction littérale du terme allemand « *Flächengerechtigkeit* », composé de « *Flächen* », signifiant « surfaces », et « *Gerechtigkeit* », signifiant « équité ».

dimensions de la rue (voir section 2.2.2.1 ci-dessous pour un traitement plus approfondi de cette approche).

2.2.1.2 Ressources

La première étape dans l'évaluation de l'équité d'un réseau ou d'un projet de transport est l'identification des ressources faisant l'objet d'une répartition. Dans le cas du transport, l'action publique se traduit par la mise en place d'infrastructures permettant les déplacements à l'aide d'un mode donné. Toutefois, l'infrastructure ne constitue pas en soi un bénéfice pour ses usagers, mais plutôt un moyen d'accéder à diverses opportunités. De la même manière, outre les coûts directs engendrés par la construction de l'infrastructure, une panoplie d'impacts directs et indirects dérivent des projets de transport. La littérature identifie ainsi plusieurs bénéfices et impacts différents qui peuvent être considérés lors de l'analyse de l'équité d'un projet ou d'un réseau de transport.

2.2.1.2.1 Infrastructure

Une série d'auteurs s'intéressent à l'espace urbain comme un bien public devant être réparti de manière équitable entre les usagers de la rue en fonction de ses différentes dimensions. L'accès à l'espace dans une rue constituerait donc un bénéfice en soi. Le CERTU (2007), par exemple, s'intéresse à la répartition de l'espace dans les villes françaises entre les infrastructures de transport et les autres fonctions urbaines, tandis que Gössling et al. (2016) et plusieurs autres mesurent la superficie allouée à chaque mode de transport dans les rues urbaines. Pour sa part, Rodriguez-Valencia (2014) introduit la dimension environnementale comme un bénéfice à distribuer lors du partage de la rue (voir section 2.1.5).

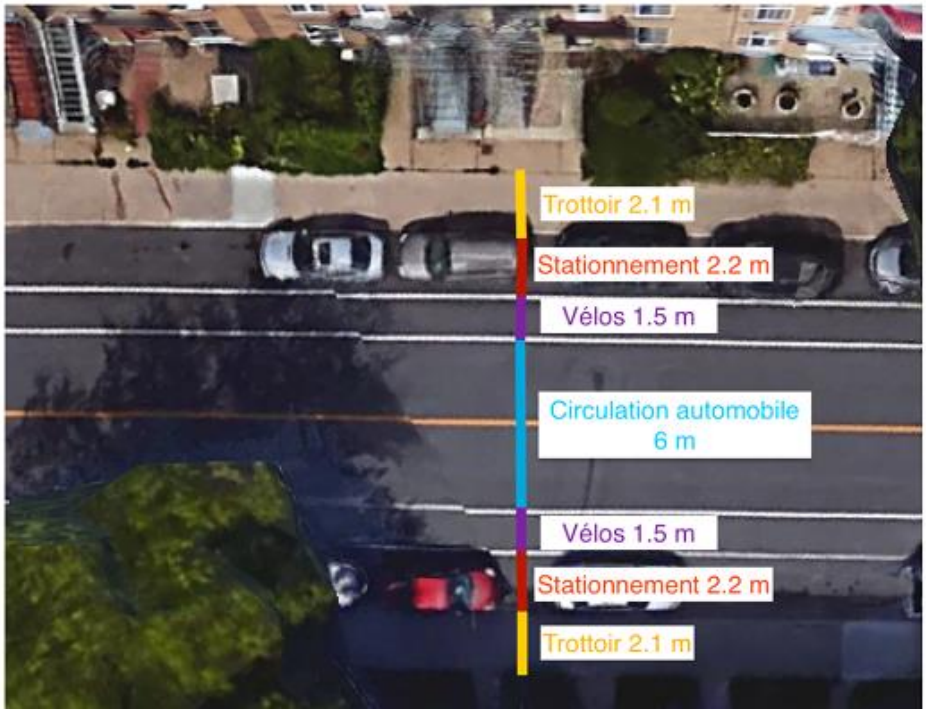


Figure 2.1 Représentation du partage de la rue à partir de la largeur moyenne des voies (tiré de Martin, 2016, p. 78). Reproduit avec la permission de l'auteur.

L'unité de mesure favorisée par les auteurs devant récolter leurs données à l'aide de relevés de terrain ou faisant face à une quantité limitée de données est la largeur moyenne de chaque type de surface (Hampton, 2013; Jones et al., 2009; Martin, 2016). Puisque la rue est une infrastructure linéaire, la largeur moyenne des voies est souvent employée pour représenter le partage de l'espace à l'échelle d'un tronçon (voir figure 2.1).

Il s'agit d'une manière simple et intuitive de représenter le partage de la rue puisqu'elle peut être illustrée à l'aide d'un simple profil en travers. Toutefois, certains équipements que l'on retrouve dans les rues d'une ville sont plutôt de nature ponctuelle, tels que les arrêts d'autobus, les stations de vélopartage ou encore certains usages restrictifs de la voie de stationnement. Cette nature ponctuelle se prête mal à la représentation par un profil en travers car les équipements peuvent être ignorés si la mesure est prise à un certain point du tronçon de rue.



Figure 2.2 Allocation de l'espace selon le mode pour une section du boulevard Hans Christian Andersen à Copenhague (Colville-Andersen, 2018, p. 94). Reproduit avec la permission de Springer Nature Customer Service Centre GmbH.

La majorité des applications existantes considèrent plutôt la superficie de l'infrastructure allouée à chaque groupe de la population comme la ressource qui est distribuée dans le cadre du partage de la rue. En d'autres mots, la rue équitable est celle dont la surface est répartie le plus équitablement possible entre ses différents usagers. La superficie est parfois pondérée selon divers critères (Creutzig et al., 2020), mais les auteurs ne considèrent généralement pas les bénéfices et les coûts engendrés par la distribution observée des surfaces, faute de méthodes standardisées dans la littérature sur le sujet.

Afin de mieux représenter les usages ponctuels, la majorité des auteurs (Agentur für clevere Städte, 2014; Colville-Andersen, 2018; Creutzig et al., 2020; Gössling et al., 2016; Nello-Deakin, 2019; van Liere et al., 2017) mesurent directement la largeur ou la superficie allouée à chaque mode dans les rues étudiées (voir figure 2.2 à titre d'exemple) tandis que d'autres (Szell, 2018) l'estiment à partir de la largeur des voies telle que codifiée dans la base de données cartographiques participative OpenStreetMap (voir figure 2.3).

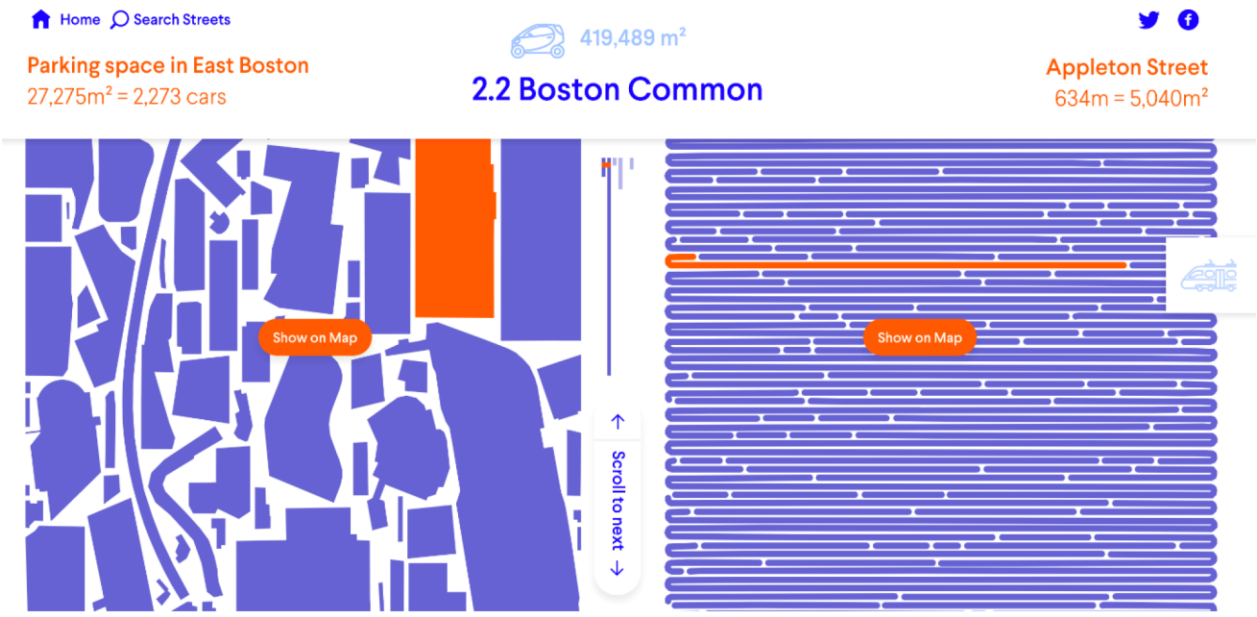


Figure 2.3 Extrait du portail *The Mobility Report : What the Street!?* représentant une part de l'espace consacré aux automobilistes (stationnements à gauche et voies de circulation à droite) dans la ville de Boston, aux États-Unis (reproduit depuis Szell, 2018 sous licence CC BY 4.0).

Dans les années 1970, l'ingénieur français Louis Marchand emploie pour la première fois le concept d'espace-temps afin de mesurer l'emprise effective d'un mode de transport en milieu urbain en comptabilisant à la fois sa consommation d'espace en mouvement et en stationnement (Héran et Ravalet, 2008, p. 65). Marchand développe l'unité du m²*h, c'est-à-dire une surface d'un mètre carré utilisée pendant une heure. Cette unité est utilisée dans la pratique pour la première fois dans le cadre d'une étude de cas sur les villes de Bourges et Toulouse, en France (Cabinet Jean Beauvais, 1982, 1983).

À l'aide de relevés et de sondages, les auteurs réussissent à estimer la consommation totale d'espace-temps, selon le mode de transport, dans les centres-villes étudiés. Un diagnostic de l'importance de la voiture individuelle dans le paysage urbain est posé et les auteurs proposent un rééquilibrage des espaces viaires au bénéfices de modes moins « spatiophages », sans toutefois référer à un principe explicite d'équité entre les modes.

Les applications théoriques (Bruun et Vuchic, 1995; Héran et Ravalet, 2011; Shin, 1997; Shin et al., 2009) et pratiques (Brunnquell, 2015; Guzman et al., 2021; Héran et Ravalet, 2008; Will et al., 2018) de l'unité des m²*h raffinent au fil du temps les méthodes de calcul de la consommation

d'espace-temps selon le mode de transport. Il est ainsi possible de comparer l'espace-temps consommé par un automobiliste, en mouvement pendant deux heures et stationné pendant huit heures, avec l'espace-temps consommé par le passager d'un autobus, ce dernier étant beaucoup moindre étant donné la plus grande efficacité d'utilisation de l'espace et du temps (circulation et stationnement) par rapport au nombre de passagers transportés (voir figure 2.4).

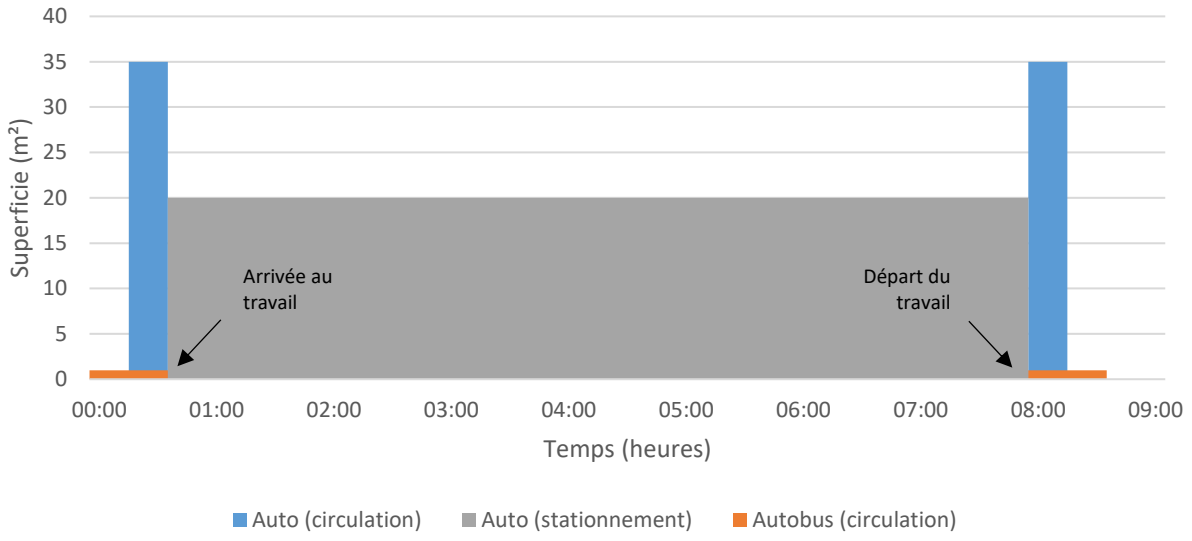


Figure 2.4 Consommation d'espace-temps par un usager selon le mode pour une journée de travail typique (adapté de Bruun et Vuchic, 1995)

Les auteurs employant le m²*h afin de comparer la consommation d'espace-temps des divers modes de transport ne proposent toutefois jamais de principes explicites de répartition de l'espace-temps entre ces mêmes modes. Il est d'ailleurs à noter que l'unité du m²*h n'est utilisée dans aucun article pour mesurer l'offre, qui est représentée de manière bidimensionnelle à l'aide de m², mais seulement la demande. En effet, selon Héran et Ravalet (2008), l'ajout de la dimension temporelle ne serait pas nécessaire puisqu'ils considèrent comme quasi-nulle la variabilité de l'allocation de l'espace dans le temps. De plus, les auteurs soulignent la complexité associée à l'allocation des chaussées à différents modes puisqu'une chaussée donnée peut être partagée entre différents modes, ce qui nécessite l'utilisation de « clefs de répartition calquées sur l'usage, c'est-à-dire la demande » (Héran et Ravalet, 2008, p. 69), et privilégient donc l'utilisation du m²*h pour quantifier directement la demande observée en espace-temps.

2.2.1.2.2 Bénéfices

Depuis la genèse du domaine de la planification des transports, la vitesse constitue le bénéfice principal identifié par les planificateurs lors de la conception et de l'extension des réseaux de transport. Les interventions sur les réseaux visent principalement à réduire les délais engendrés par l'éloignement géographique et la congestion, afin que chacun ait un accès fluide et sans entraves au réseau routier. Martens (2016, p. 25) souligne toutefois que cette vision, qui conçoit la mobilité comme un bénéfice en soi, omet de considérer que la mobilité n'est utile que si elle permet aux individus d'atteindre un ensemble d'activités qui répond à leurs besoins. Le consensus dans la littérature scientifique depuis le tournant du XXI^{e} siècle est plutôt que l'accessibilité, et non la mobilité, constitue le bénéfice principal généré par un système de transport (voir notamment Di Ciommo et Shiftan, 2017; Lucas et al., 2016; Martens, 2016; Pereira et al., 2016). L'accessibilité peut être définie comme « l'ensemble des conditions économiques et spatio-temporelles auxquelles une offre de déplacement et de communication peut être utilisée » (Kaufmann, 2005), c'est-à-dire un panier d'opportunités rendues disponibles à un individu[14] à travers le système de transport.

Une autre approche consiste à ne pas comptabiliser directement la superficie et le temps alloués à chaque type d'usager, mais plutôt la capacité qui en résulte. C'est l'approche choisie par la National Association of City Transportation Officials (NACTO, 2013), la Ville de Stockholm (The City of Stockholm Traffic Administration, 2012) et la Ville de Londres (Mayor of London, 2018) afin de mettre en relief la capacité accrue, mesurée en individus plutôt qu'en véhicules, des rues offrant davantage d'espace aux modes actifs et collectifs. Plutôt que de considérer l'espace, le temps ou l'espace-temps comme la ressource distribuée lors du partage de la rue, ces approches s'intéressent à la capacité, calculée sur la base des passagers au lieu des véhicules. La Ville de Stockholm, dans sa stratégie de transport, mentionne par exemple la nécessité de prioriser les modes les plus économes en matière d'espace afin d'augmenter la capacité effective des rues de la ville (The City of Stockholm Traffic Administration, 2012). La National Association of City Transportation Officials (NACTO) souligne, dans un guide pratique intitulé *Urban Street Design Guide* (NACTO, 2013), qu'une rue consacrant davantage d'espace aux modes collectifs et alternatifs offre une plus

[14] On peut également envisager l'accessibilité du point de vue des lieux en la représentant comme l'ensemble des individus pouvant accéder à un lieu donné à travers le système de transport.

grande capacité, en termes de passagers transportés par heure, qu'une rue conçue de manière traditionnelle.

Zheng et Geroliminis (2013) développent pour leur part une méthode permettant de mesurer l'impact de l'allocation d'une emprise dédiée au transport collectif dans une ville fictive à l'aide d'un diagramme fondamental macroscopique multimodal[15] (DFMM). En calibrant le DFMM à partir de de comptages automobiles et du service planifié de transport collectif, les auteurs déterminent la capacité maximale du réseau à l'étude. Ils sont ensuite en mesure de quantifier les effets de l'implantation de voies réservées en heure de pointe sur la capacité totale du système en posant des hypothèses de transfert modal, ce qui permet de déterminer la part optimale du réseau à consacrer exclusivement au transport collectif afin de maximiser la capacité totale du système. En raison des données disponibles, l'approche est toutefois limitée aux modes motorisés.

En plus des bénéfices directs (accessibilité, capacité) associés à un partage donné de la rue, une série de bénéfices indirects en découlent. À titre d'exemple, les rues résidentielles où le partage de la rue s'effectue à l'avantage des modes actifs au lieu de la circulation automobile sont plus propices au développement de relations sociales entre leurs voisins (Marshall, 2002, p. 97) et sont caractérisées par des valeurs foncières plus élevées (Litman, 1999, p. 17). Une augmentation de la part de la rue allouée à la dimension végétale est également corrélée à une hausse de la valeur des propriétés (Donovan et Butry, 2010; Pandit et al., 2013), en plus de jouer un rôle important dans l'absorption des émissions polluantes (Will et al., 2018), d'abaisser la température ressentie (Mehta, 2013) et de contribuer à un environnement plus agréable pour les usagers de la rue (Gehl, 2012).

2.2.1.2.3 Coûts

La construction ou la reconstruction d'une rue entraîne des coûts directs pour les autorités, tout comme son entretien. Les coûts de construction diffèrent selon le choix des matériaux et la diversité des types de voies et d'espaces publics; ainsi, une rue qui inclut une voie réservée aux autobus et

[15] Un diagramme fondamental macroscopique décrit la relation entre la densité de véhicules dans un réseau routier et le débit total de véhicules transitant par le réseau, ce qui permet de déterminer la capacité comme la densité de véhicules maximisant le débit total (Levinson et al., 2017, sect. 6.12).

une piste cyclable protégée sera plus dispendieuse à construire pour les autorités qu'une rue composée seulement d'une chaussée générale et de trottoirs (Shapard et Cole, 2013). Le fardeau financier associé à l'entretien des équipements de la rue varie pour sa part en fonction du type de véhicule qui les utilise, une chaussée qui accueille beaucoup de véhicules lourds devant être refaite plus souvent qu'une chaussée peu fréquentée (Hirshhorn, 2002). De plus, les techniques d'entretien varient en fonction du type d'infrastructure, particulièrement en période hivernale. Le déneigement efficace d'une piste cyclable protégée, par exemple, nécessite un équipement différent de celui employé pour le déneigement des trottoirs ou de la chaussée générale (Jolicoeur, 2016). Guzman et al. (2021) démontrent que dans le contexte d'un pays du Sud global, les investissements dans la conception et l'entretien des infrastructures routières peuvent varier significativement selon le type de quartier et la composition de la population.

Les choix en matière d'allocation de l'espace dans une rue peuvent aussi entraîner des coûts directs pour leurs usagers. Les espaces de stationnement, sur rue comme hors-rue, sont ceux qui sont le plus souvent tarifés sur les rues urbaines. Cette tarification peut se déployer de différentes façons : parcomètres, permis de stationnement temporaire, vignettes de stationnement sur rue réservé aux résidents (SRRR), etc. Dans l'agglomération de Montréal, on compte entre 475 000 et 515 000 places de stationnement sur rue, dont 4 % sont régulées par un système de vignette de SRRR et 5 % par des parcomètres (Ville de Montréal, 2016, p. 20). Ainsi, environ 90 % des places de stationnement sur rue à l'échelle de l'agglomération est non tarifée. S'ajoutent à cela plus de 470 000 places de stationnement hors-rue, parmi lesquelles la majorité n'est pas non plus tarifée (Ville de Montréal, 2016, p. 24).

Les usagers peuvent également encourir des coûts directs lorsqu'ils utilisent une infrastructure régulée par un péage. Dans la région de Montréal, les péages se retrouvent seulement en contexte autoroutier[16], mais certaines villes, telles que Singapour, emploient des systèmes de péage sur un ensemble d'artères urbaines (Morency et al., 2018, p. 26-27).

---

[16] On compte deux péages routiers dans la région montréalaise en 2018 : celui du pont Olivier-Charbonneau, où l'autoroute 25 traverse la rivière des Prairies, ainsi que celui du pont Serge-Marcil, où l'autoroute 30 enjambe le fleuve Saint-Laurent.

2.2.1.2.4 Nuisances

La distribution de l'espace d'une rue entraîne une série d'effets non-monétaires sur ses usagers et ses riverains. Il est ainsi démontré qu'un nombre élevé de voies de circulation automobile et des dimensions plus larges ont un effet à la hausse sur l'exposition au risque des piétons et des cyclistes qui circulent sur la rue (Strauss et al., 2014). L'allocation d'une plus grande quantité d'espace alloué à un mode de transport est également corrélée avec une augmentation de sa part modale et ce, particulièrement dans le cas des transports actifs puisque les usagers sont plus sensibles aux considérations de sécurité perçue sur le réseau (Dill et Carr, 2003). Le partage des rues urbaines a aussi une influence sur l'empreinte carbone d'un milieu urbain : les artères qui comptent davantage de voies de circulation automobile, par exemple, exposent leurs résidents et leurs usagers à davantage de pollution atmosphérique (Carrier et al., 2014). À l'inverse, les rues où l'on retrouve de la végétation contribuent à absorber une partie des gaz à effet de serre produits par la circulation automobile et à diminuer l'empreinte écologique de leur milieu (Will et al., 2018).

2.2.2 Principes de justice distributive

On retrouve une multitude de principes d'équité dans la littérature scientifique, mais également dans la pratique professionnelle. En effet, la conception des réseaux de transports est, par essence, un processus de distribution des ressources et cette distribution s'effectue toujours selon un principe d'équité, qu'il soit explicite ou non (Martens, 2016, p. 21).

2.2.2.1 Distribution de la ressource : le problème d'allocation de l'emprise

Un cadre d'allocation de l'emprise de la rue en fonction de ses diverses dimensions a été proposé par Jones et al. (2008, 2009) et étendu à la dimension environnementale par Rodriguez-Valencia (2014). La figure 2.5 illustre la demande en espace associée à une rue dans un cadre bidimensionnel considérant les dimensions de circulation et lieu.

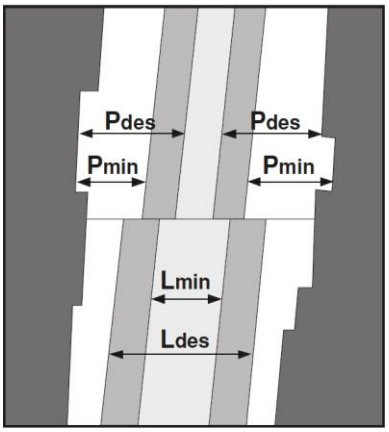


Figure 2.5 Répartition de la demande en espace selon les dimensions de lieu (*Place*) et de circulation (*Link*) de la rue (reproduit depuis Jones et al., 2008 sous licence CC-BY-NC-ND 4.0)

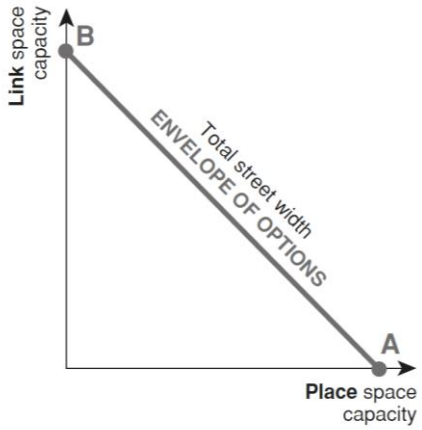


Figure 2.6 Le « triangle des compromis », illustration des paramètres possibles de répartition de l'espace de la rue en fonction de l'espace disponible (reproduit depuis Jones et al., 2008 sous licence CC-BY-NC-ND 4.0)

Pour chaque dimension, on évalue les besoins d'espace en fonction de la demande et on établit un seuil minimal d'espace pour une dimension ainsi qu'une quantité d'espace correspondant à une réponse idéale à la demande. Pour les dimensions de lieu (P, pour *Place*) et de lien (L, pour *Link*), on peut ainsi identifier un espace minimal (P_{min}, L_{min}) et un espace désirable (P_{des}, L_{des}) correspondant chacun, dans ce schéma, à une part du profil en travers de la rue.

La droite tracée sur le plan de la figure 2.6 représente les options possibles de répartition du profil en travers représenté à la figure 2.5 selon l'importance accordée à chacune des deux dimensions

considérées, ce que les auteurs nomment le « triangle des compromis » (*« trade-off triangle »*). Il est toutefois à noter que l'ensemble des possibilités théoriques ne peut pas nécessairement se traduire en aménagements physiques : une voie de circulation, par exemple, doit respecter certaines dimensions minimales afin d'assurer le passage efficace et sécuritaire de ses usagers. Par ailleurs, les diverses demandes en espace (espace minimal et espace désirable) ne correspondent pas nécessairement à l'offre disponible. Jones et al. (2008) identifient quatre situations distinctes illustrées à la figure 2.7.

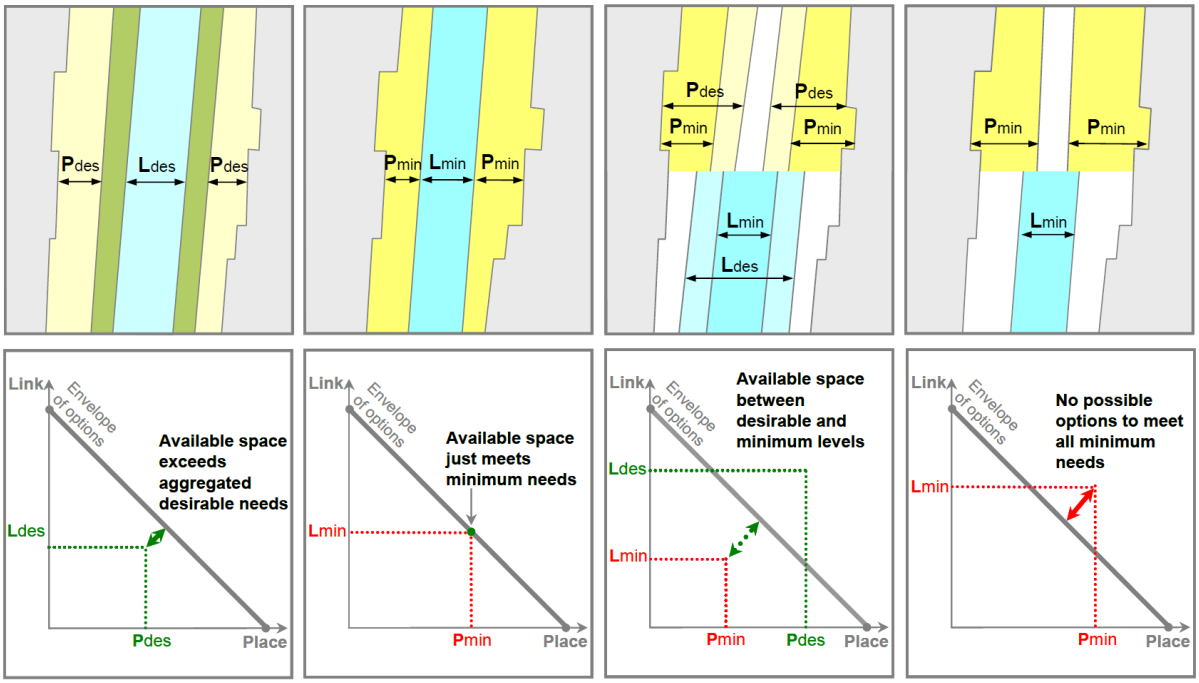


Figure 2.7 Allocation de l'espace de lieu et de circulation en fonction des contraintes (reproduit depuis Jones et al., 2008 sous licence CC-BY-NC-ND 4.0)

Dans le premier cas, la quantité d'espace désirable pour chaque dimension (P_{des}, L_{des}) est inférieure à la quantité d'espace disponible pour répondre à la demande. L'espace résiduel peut donc être alloué à d'autres dimensions, ou encore redistribué aux usagers de l'une ou l'autre des dimensions, sans nécessité d'effectuer des compromis entre les besoins des différents usagers. Dans le deuxième cas, l'espace disponible ne permet de répondre qu'aux besoins minimaux d'espace des usagers (P_{min} , L_{min}), ce qui n'offre aucune marge de manœuvre dans la distribution de l'espace.

Dans les troisième et quatrième cas, la notion de compromis entre en jeu. Le troisième cas illustre une situation où l'espace disponible permet de subvenir aux besoins minimaux des usagers (P_{min},

L_{min}), sans toutefois pouvoir offrir à chacun l'espace considéré désirable (P_{des}, L_{des}), tandis que le quatrième cas illustre une situation où l'espace disponible n'est pas en mesure de répondre aux besoins de base (P_{min}, L_{min}) des usagers en matière d'espace. Dans les deux cas, un arbitrage a alors lieu afin de déterminer la dimension et les usagers devant être priorisés (ou carrément omis) lors de la distribution de l'espace dans la rue étudiée.

Rodriguez-Valencia (2014) nomme cet arbitrage le problème d'allocation de l'emprise (« *Right-of-way*[17] *Allocation Problem* »). Selon cet auteur, l'objectif du problème d'allocation de l'emprise est de fournir, à l'échelle d'une rue urbaine ou dans les rues adjacentes, un espace suffisant aux trois dimensions fondamentales de la rue : le lieu, la circulation et l'environnement (voir section 2.1.5 ci-dessus). La figure 2.8 présente une extension tridimensionnelle du triangle des compromis introduit par Jones et al. (2008) et appliqué par Rodriguez-Valencia (2014) à la définition de l'enveloppe des distributions possibles de la largeur d'une rue entre ses dimensions.

Selon Jones et al. (2008), dans le cas où les besoins minimaux des dimensions concernées ne peuvent être remplis au sein d'une rue en raison des limites physiques de son emprise, le rôle de la rue dans le réseau de lieux ou de liens peut être revu afin de diminuer la demande pour la dimension problématique. Alternativement, un espace équivalent situé dans une autre rue peut être considéré, à condition que le besoin auquel cet espace répond ne soit pas dépendant de la rue d'origine. À titre d'exemple, la fonction de transit d'une rue, qui relève de sa dimension de lien, peut ainsi être remplie par une rue adjacente, tandis que la terrasse d'un restaurant, qui relève de la dimension de lieu, ne peut être située ailleurs qu'en face du restaurant en question (Rodriguez-Valencia, 2014). Ainsi, le partage de la rue peut s'effectuer à l'échelle de la rue elle-même, mais peut également être envisagé à l'échelle d'une unité plus large, un corridor composé d'une rue donnée et des rues adjacentes offrant un parcours alternatif aux usagers du lien.

---

[17] Il importe ici de préciser qu'il existe deux emplois distincts du terme « *right-of-way* » : d'une part l'emprise physique servant à la circulation (la notion mobilisée par l'auteur) et, d'autre part, la priorité accordée à un mode par rapport à un autre dans l'utilisation de l'emprise (Prytherch, 2018, p. 5-6).

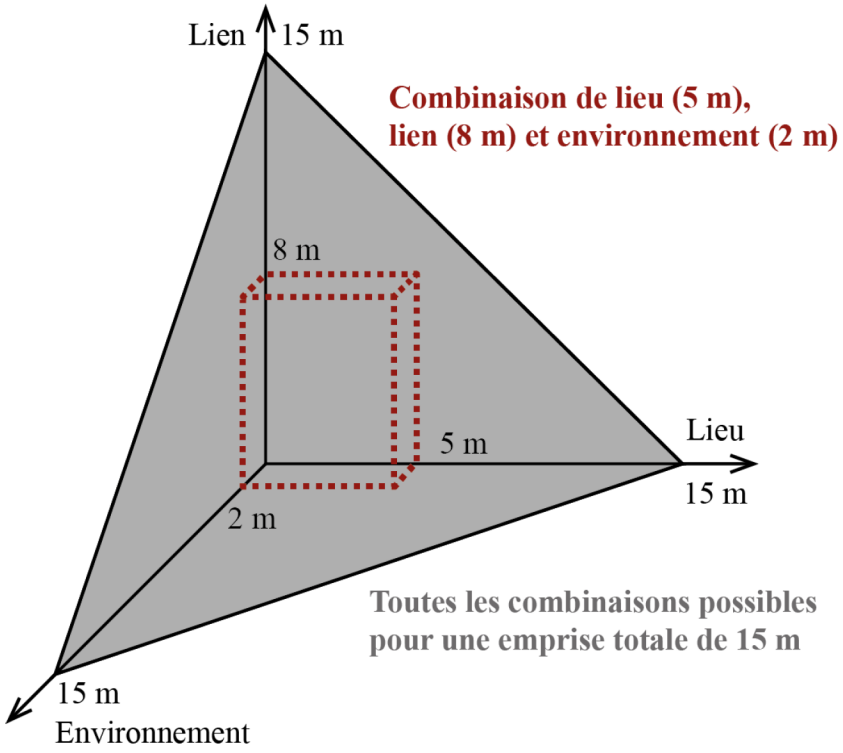


Figure 2.8 Combinaisons possibles des trois dimensions de la rue pour une emprise de 15 mètres (adapté de Rodriguez-Valencia, 2014)

La résolution du problème d'allocation de l'emprise nécessite donc d'identifier le partage équilibré des différentes dimensions d'une rue ainsi qu'entre les différents usagers au sein de ces dimensions. Dans la pratique, toutefois, la résolution du problème d'allocation de l'emprise s'effectue de manière totalement contextualisée. Lorsque l'emprise d'une rue est révisée, les priorités de l'administration responsable, les projets des différentes parties prenantes, les dynamiques d'usage de la rue et les revendications du milieu sont prises en compte par les planificateurs qui proposent un design basé sur un arbitrage ad hoc de ces considérations.

Pour ce faire, des principes fondamentaux de distribution des ressources doivent être formalisés et des lignes directrices doivent être dégagées pour guider la distribution – ou la redistribution – de l'espace de la rue entre ses différents usagers, particulièrement dans le cas où les besoins de tous ne peuvent être entièrement comblés (comme dans les troisième et quatrième situations illustrées à la figure 2.7).

2.2.2.2 Principes implicites

La majorité des démarches recensées dans la littérature scientifique et technique ainsi que dans les documents de planification de différentes villes, ne s'appuient sur aucun principe formel de distribution équitable de l'espace de la rue. Bien que ne référant pas explicitement au cadre théorique de l'équité, ces approches critiquent la répartition actuelle des espaces et proposent, pour la plupart, des pistes de répartition visant à rééquilibrer le partage de la rue, se plaçant par le fait même dans le cadre de l'équité.

Le principe le plus employé dans la planification des transports est l'utilitarisme, c'est-à-dire la maximisation de l'utilité totale nette de la population. C'est ce principe qui est au centre de l'outil principal d'aide à la décision dans le domaine des transports, à savoir l'analyse coûts-bénéfices (ACB). L'ACB consiste à agréger l'ensemble des coûts (ou impacts) et des bénéfices d'un projet, transformés en unités monétaires, et à comparer sur cette base l'ensemble des alternatives afin de sélectionner celle qui, au total, génère le plus de bénéfices pour l'ensemble de la population. En considérant seulement l'utilité totale, on pose l'hypothèse que les bénéfices rejaillissent sur l'ensemble de la population, sans devoir considérer les différents groupes et leurs particularités ou besoins (Pereira et al., 2016). Cela peut mener à des situations où l'alternative gagnante génère des bénéfices nets pour l'ensemble de la société, mais n'amène que des inconvénients aux groupes les plus vulnérables, sans que cette iniquité n'entre en ligne de compte dans l'analyse. Les démarches qui emploient la capacité d'une rue comme ressource devant être maximisée (Mayor of London, 2018; NACTO, 2016; The City of Stockholm Traffic Administration, 2012; Zheng et Geroliminis, 2013) se basent implicitement sur ce principe.

Plusieurs décisions dans le domaine des transports sont également prises en fonction du principe d'équité basée sur la demande, tel que défini par Talen (1998). Selon ce principe, les ressources sont allouées en fonction de l'usage révélé ou prédit des infrastructures, ou encore selon l'importance des revendications faites par les usagers du système de transport. Ce principe peut être assimilé à la notion d'égalitarisme, ou d'équité horizontale, puisqu'il considère comme la répartition la plus équitable celle qui offre à chaque mode une part de l'espace équivalente à son poids dans la demande, et donc, à terme, une répartition égale de l'espace entre les groupes. Parmi les démarches traitant spécifiquement du partage de la rue, il s'agit du principe dominant. En effet, la plupart des auteurs (Colville-Andersen, 2018; Gössling et al., 2016; Guzman et al., 2021; Szell,

2018; van Liere et al., 2017) effectuent une comparaison entre offre et demande en espace dans les rues selon le mode et constatent une forme de déséquilibre. Cette méthode est toutefois remise en question par Nello-Deakin (2019), qui souligne que les constats qui peuvent être tirés d'une telle comparaison sont largement dépendants de la manière de quantifier l'offre et la demande. Afin d'illustrer cette sensibilité des constats, l'auteur compare la part de l'offre et de la demande en espace selon le mode en employant diverses pondérations de la demande.

Tableau 2.5 Écart entre l'offre et la demande selon le mode à Amsterdam en fonction de la pondération de la demande (adapté depuis Nello-Deakin, 2019, tableaux 1, 2 et 3)

Mode	**Superficie**	**Part modale non pondérée**		**Distance moyenne parcourue par jour par personne**		**Part modale pondérée par l'emprise au sol du mode**	
	%	**%**	**Δ**	**%**	**Δ**	**%**	**Δ**
Auto	51	32	+19	71	–20	96	–45
Marche	40	18	+22	8	+32	1	+39
Vélo	7	27	–20	21	+14	3	+4

Le tableau 2.5 permet de constater que le résultat du calcul de l'écart (Δ) entre l'offre et la demande en transport selon le mode dans les rues d'Amsterdam varie selon la manière dont la demande est calculée. En effet, la comparaison de la part de la superficie pour chaque mode considéré avec sa part modale brute résulte en une sur-représentation des piétons sur la voirie, ce que l'auteur souligne comme étant un constat contraire au paradigme de la mobilité durable qui guide les objectifs de planification à Amsterdam et ailleurs en Occident. En utilisant plutôt la distance moyenne parcourue par jour pour chacun des modes – en l'absence de données permettant de pondérer la part modale par la distance réelle parcourue pour chaque mode au sein du territoire d'étude –, l'auteur fait le constat d'une sous-représentation de l'espace consacré à l'automobile par rapport à son poids dans la demande, ce qui est également contre-intuitif. La pondération de la demande pour chaque mode par l'emprise au sol nécessaire à sa circulation, pour sa part, produit également un constat de sous-représentation de l'espace automobile par rapport à la demande en raison de l'inefficacité spatiale de l'automobile par rapport aux modes actifs (voir à ce sujet les travaux de Héran et Ravalet, 2008). Il est également à noter que ces principes de répartition basés sur la demande observée, bien qu'ils répondent directement aux besoins exprimés par les usagers,

tendent à reproduire les schémas d'iniquité existants. En effet, les usagers les plus favorisés ont tendance à utiliser davantage le système de transport; toute intervention répondant en priorité à leurs besoins facilitera donc leurs déplacements, augmentant ainsi leur influence sur les décisions futures (Martens, 2016, p. 28-29).

Afin de compenser pour les inégalités engendrées par ces schémas plus traditionnels de répartition des ressources, des auteurs ont proposé des principes d'équité inspirés par la notion d'équité verticale, ou compensatoire. Dans son ouvrage intitulé *Transport Justice : Designing Fair Transportation Systems*, Martens (2016) propose un cadre d'évaluation de l'équité des projets de transport qui vise à assurer à tous les groupes de la population un accès suffisant aux opportunités. L'auteur développe une extension de la théorie de la justice de John Rawls[18] en l'appliquant à la ressource de l'accessibilité. La théorie de Martens s'inspire du principe du suffisantisme[19], qui vise à assurer à tous les groupes de la population un panier minimal de biens (Lucas et al., 2016), ainsi que des théories de Ronald Dworkin[20]. L'auteur propose une méthode de répartition de l'accessibilité qui privilégie les interventions offrant une amélioration de l'accessibilité aux groupes dont l'accès aux opportunités est le plus faible par rapport à un seuil de suffisance. Ce seuil, selon l'auteur, doit être déterminé par les parties prenantes du processus de planification. Ainsi, l'intervention équitable sur le réseau est celle qui permet d'augmenter l'accessibilité des groupes caractérisés par une accessibilité sous le seuil établi, ou à tout le moins d'améliorer leur situation par rapport à ce seuil.

Il est à noter qu'à la fois le suffisantisme et le principe de Martens ne se préoccupent pas explicitement de la nature de la distribution des ressources chez les personnes au-dessus du seuil

---

[18] La théorie de la justice de John Rawls préconise qu'advenant un choix entre deux modèles de distribution des biens primaires dans une société, le modèle maximisant les bénéfices accordés aux individus les plus démunis devrait être priorisé (Martens, 2016, chap. 5).

[19] Traduction du terme anglais « *sufficientarianism* » (Gosseries, 2011). Parfois aussi nommé « sufficientisme » (Dupriez et Verhoeven, 2006; Gosseries, 2000; Sánchez, 2017) ou « sufficientarisme » (Cornut, 2018; Frick et Mpondo-Dika, 2018; Michaud, 2019).

[20] Ronald Dworkin soutient que la répartition des ressources devrait se faire en adéquation avec les aspirations des individus tout en leur garantissant un minimum de ressources en cas de malchance (Martens, 2016, chap. 6).

de suffisance. En effet, du moment que l'intervention étudiée améliore la situation des groupes les plus défavorisés, cette intervention peut indifféremment ne pas affecter les individus favorisés ou, au contraire, leur offrir davantage de ressources (Lucas et al., 2016; Martens, 2016, p. 156-157; Pereira et al., 2016).

2.2.2.3 Principes explicites

Dans un article intitulé *Fair street space allocation: ethical principles and empirical insights*, Creutzig et al. (2020) développent le premier cadre d'application des principes de justice distributive au problème du partage de la rue dans ses trois dimensions. Des dix principes de justice répertoriés par les auteurs découlent quatorze « mécanismes d'allocation », c'est-à-dire des stratégies de répartition de l'espace de la rue dérivées d'un principe formel de justice distributive et appliqués à une dimension de la rue en particulier. Un résumé graphique de l'interaction entre dimensions de la rue, principes de justice et mécanismes d'allocation dans les travaux de Creutzig et al. (2020) est présenté à la figure 2.9, tandis que les mécanismes d'allocation sont détaillés au tableau 2.6.

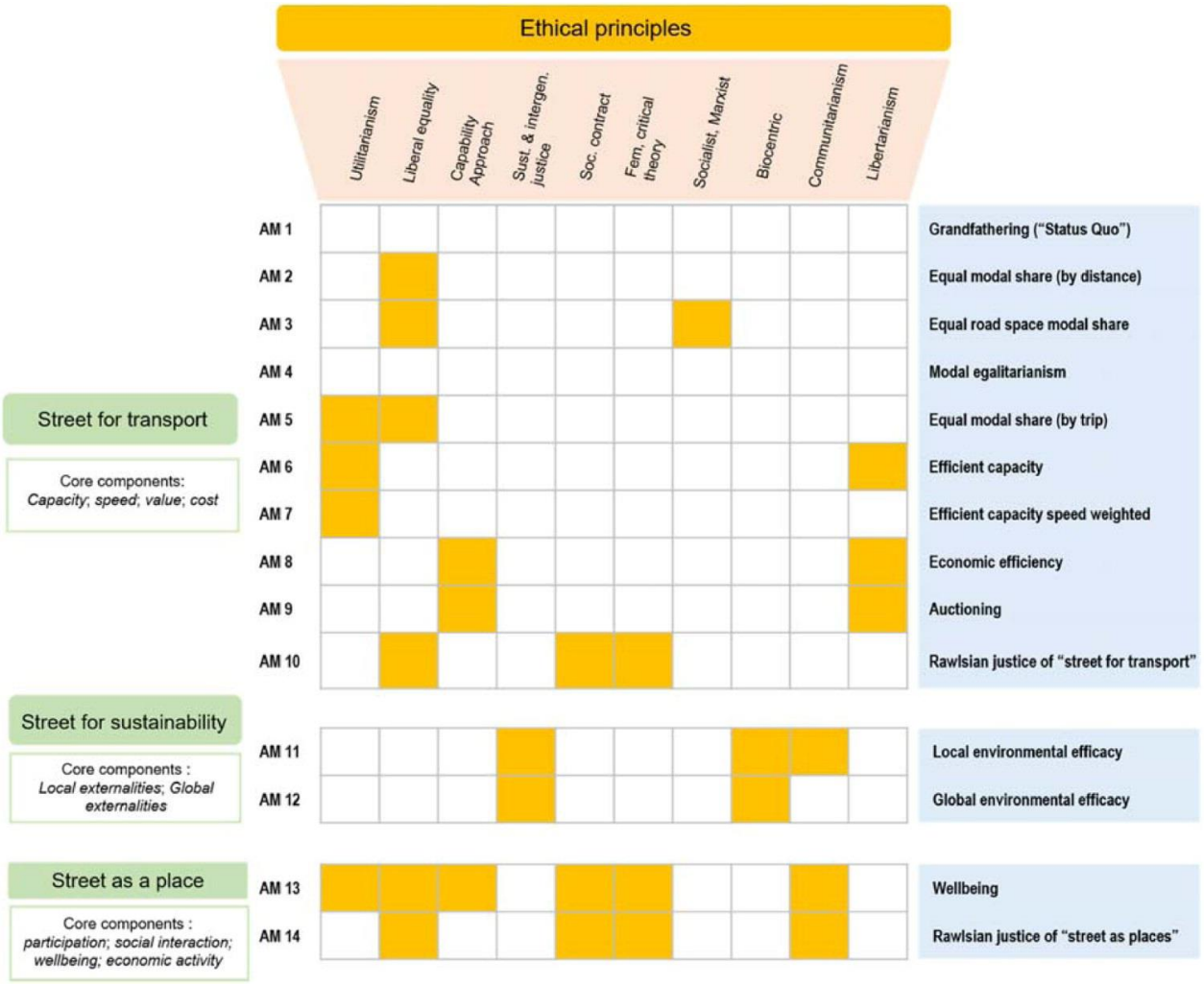


Figure 2.9 Mécanismes d'allocation (en bleu), dimensions (en vert) et principes éthiques (en jaune) applicables au partage de la rue (Creutzig et al., 2020). Reproduit avec la permission de Taylor & Francis Group.

Tableau 2.6 Mécanismes d'allocation pour un partage équitable de la rue (traduit de Creutzig et al., 2020)

Mécanisme d'allocation	**Définition du mécanisme**	**Quantifiable**[21]
Statu quo	Maintien des paramètres actuels	Oui
Superficie égale selon la part modale (pondérée par la distance)	Allocation de la superficie en fonction de la part modale (pondérée par la distance)	Oui
Superficie de chaussée égale selon la part modale (pondérée par la distance)	Même principe que le mécanisme précédent, mais applicable seulement à la chaussée	Oui
Égalitarisme modal	Superficie égale pour chaque mode	Oui
Superficie égale selon la part modale (non-pondérée)	Allocation de la superficie en fonction de la part modale (poids égal pour chaque déplacement)	Oui
Capacité	Maximisation du débit : allocation de l'espace aux modes à plus forte capacité	Oui
Capacité pondérée par la vitesse	Maximisation du débit pondéré par la vitesse	Oui
Efficacité économique	Allocation de la superficie en fonction de la valeur économique (priorisation des modes les plus rapides)	Non
Mise à l'enchère	Allocation de l'espace en fonction des usagers payant pour la réallocation	Non
Justice rawlsienne (rue comme lien)	Accès (lien) amélioré pour les personnes jouissant d'un accès limité à l'infrastructure (enfants, personnes âgées, personnes à mobilité réduite)	Non
Efficacité environnementale locale	Minimisation de la pollution locale	Non
Efficacité environnementale globale	Minimisation des changements climatiques et de l'utilisation des ressources	Non
Bien-être	Facilitation d'une vie bonne en fournissant des services propices au bien-être (subsistance, loisir, participation sociale et identité)	Non
Justice rawlsienne (rue comme lieu)	Amélioration de l'usage des rues pour les activités de lieu des personnes jouissant d'un accès limité (enfants, personnes âgées, personnes à mobilité réduite)	Non

[21] Les auteurs considèrent comme quantifiables les mécanismes d'allocation qui peuvent être appliqués en disposant seulement de données sur la répartition des surfaces selon le mode ainsi que sur la part modale

Le partage de la voirie d'un échantillon de rues est évalué à l'aune de ces mécanismes d'allocation. Parmi les principes de justice appliqués, on note l'absence notable du suffisantisme strict. En effet, les auteurs favorisent les principes qui peuvent mener à une distribution de l'ensemble des superficies d'une rue, alors que le suffisantisme, dans son acception stricte, ne permettrait d'allouer que la superficie minimale nécessaire pour accueillir chaque mode. Les auteurs ne sont également pas en mesure de développer des mesures quantitatives pour la moitié des mécanismes qu'ils proposent, notamment en ce qui a trait aux bénéfices et aux coûts associés aux différentes surfaces de voirie, mais également aux dimensions de lieu et d'environnement de la rue.

2.3 Méthodes existantes de mesure de l'offre et de la demande en espace

Diverses techniques sont employées à travers la littérature afin de calculer la quantité d'espace disponible dans les rues étudiées ainsi que, dans certains cas, la demande pour ce même espace. La mesure de l'espace se fait de trois manières différentes : avec des mesures prises sur le terrain, à partir de photos satellites ou d'images satellites, ou encore à l'aide d'une procédure de fusion de données à grande échelle. La demande, quant à elle, provient soit de comptages réalisés sur les sites étudiés, soit d'enquêtes de type origine-destination.

2.3.1 Mesure de l'offre pour la dimension de lien

2.3.1.1 Collecte manuelle de données

La collecte manuelle de données, soit à travers des relevés de terrain (Agentur für clevere Städte, 2014; Creutzig et al., 2020; Hampton, 2013) ou par le traitement manuel de photos (Colville-Andersen, 2017) ou d'images satellites (Colville-Andersen, 2017; Gössling et al., 2016) est la plus fréquente dans la littérature sur l'évaluation du partage de la rue. Parmi ces méthodes, le relevé de terrain est sans doute celle qui offre la plus grande précision puisqu'elle permet une observation directe et à jour du terrain d'étude. Un observateur présent sur le terrain peut non seulement effectuer des relevés précis, mais également noter la présence de zones informellement partagées entre divers usagers, d'entraves non documentées dans les bases de données officielles, ou encore de variations temporelles dans l'allocation de l'espace. La réalisation de relevés sur le terrain

nécessite toutefois de disposer d'une équipe pouvant se déplacer sur le terrain et d'équipement de mesure suffisamment précis.

L'utilisation de photos, qu'elles soient prises depuis un point surélevé (voir figure 2.10) ou par satellite (voir figure 2.11) permet d'éviter l'usage d'équipements de mesure devant être déplacés sur le terrain. Cela peut constituer un avantage dans le cas d'une rue particulièrement achalandée où la prise de mesures est compliquée par le flux des usagers. La prise d'une photo du site depuis un point de vue surélevé amène nécessairement une distorsion des mesures en raison de l'angle, ce qui nuit à la rigueur de l'analyse. L'usage de l'imagerie satellite, en revanche, permet de réaliser des mesures précises et rigoureuses, mais l'analyste n'est généralement pas en contrôle de la fréquence de publication des images satellite. Le suivi d'une intervention ponctuelle ne peut ainsi être fait que si la fréquence et la disponibilité des images satellite le permettent, ou encore à l'aide de relevés de terrain complémentaires.

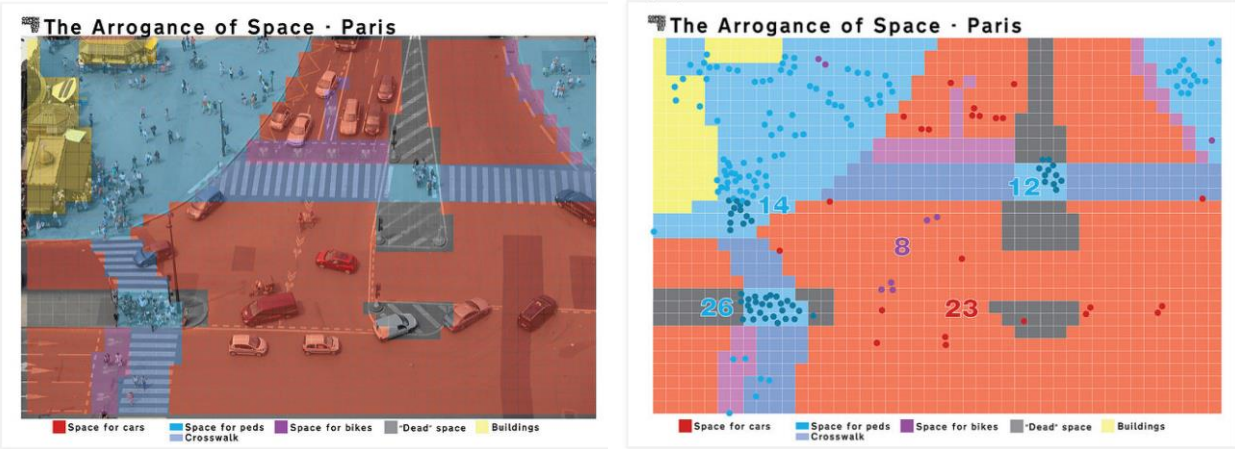


Figure 2.10 Identification de l'espace alloué à chaque mode dans une intersection parisienne et de la demande qui lui est associée (reproduit depuis Colville-Andersen, 2018, p. 92 avec la permission de Springer Nature Customer Service Centre GmbH)

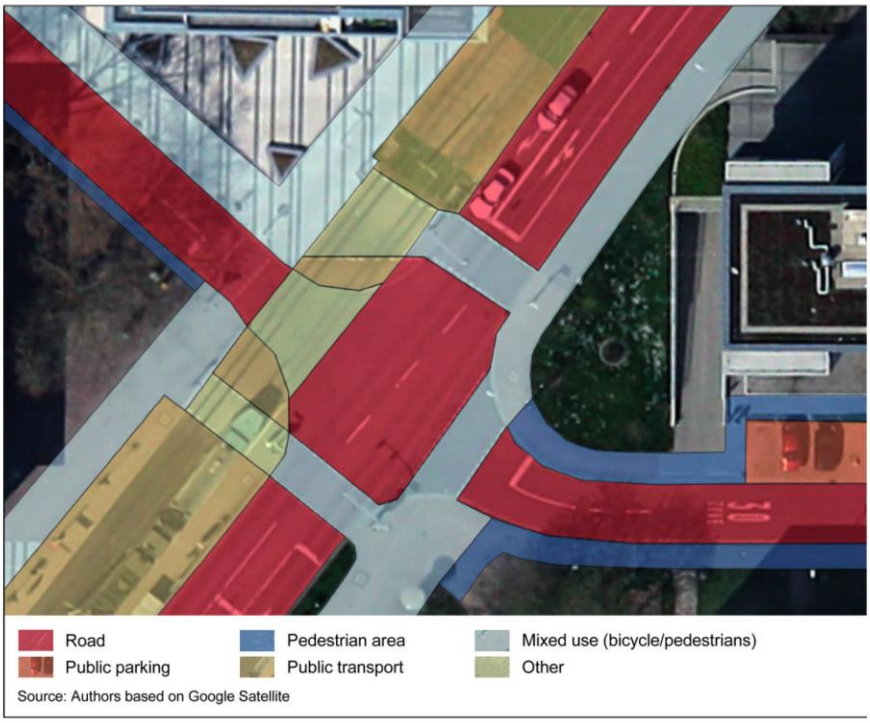


Figure 2.11 Détection manuelle de la superficie allouée à différents modes et combinaisons de modes à Fribourg à partir d'une image satellite (tiré de Gössling et al., 2016, licence en cours d'acquisition)

Dans tous les cas, l'analyse manuelle de photographies, tout comme les relevés de terrain, consomme beaucoup de temps et de ressources humaines, ce qui rend à toutes fins pratiques impossible la généralisation de ce type d'approche à l'échelle d'une ville. Afin de contourner cette limite, les travaux de l'Agentur für clevere Städte (2014) emploient des facteurs d'expansion basés sur la hiérarchie routière afin de généraliser à l'échelle d'une ville les relevés effectués sur un échantillon de rues, une démarche qui nécessite de poser des hypothèses robustes afin d'éviter les distorsions. Aucune démarche d'apprentissage machine permettant le traitement automatisé d'images n'a été recensée dans la littérature sur le partage de la rue, même si ce type d'approche existe dans d'autres domaines de recherche (Lefèvre et al., 2017, par exemple). Les approches par relevé de terrain et par photographie sont donc pour l'instant limitées à l'analyse de sites précis et peuvent difficilement être mobilisées dans le cadre de l'aide à la décision à l'échelle d'un territoire municipal ou métropolitain.

2.3.1.2 Fusion automatisée de données

Certains auteurs travaillant sur la question du partage de la rue bénéficient de l'existence de jeux de données plus ou moins complets et exhaustifs pour représenter l'offre en espace dans les rues de leur territoire d'étude. Dans le cas des Pays-Bas, un inventaire complet des surfaces de voirie à l'échelle du pays, la base de données BGT, permet à Nello-Deakin (2019) et à van Liere et al. (2017) d'effectuer des analyses sur la répartition de l'espace brut alloué à certains modes à l'échelle d'une ville complète. La base de données BGT représente toutefois les actifs de voirie d'une manière statique, c'est-à-dire qu'elle ne fournit aucune information sur l'éventuelle variation dans l'affectation de la voirie au cours d'une journée, d'une semaine ou d'une année.

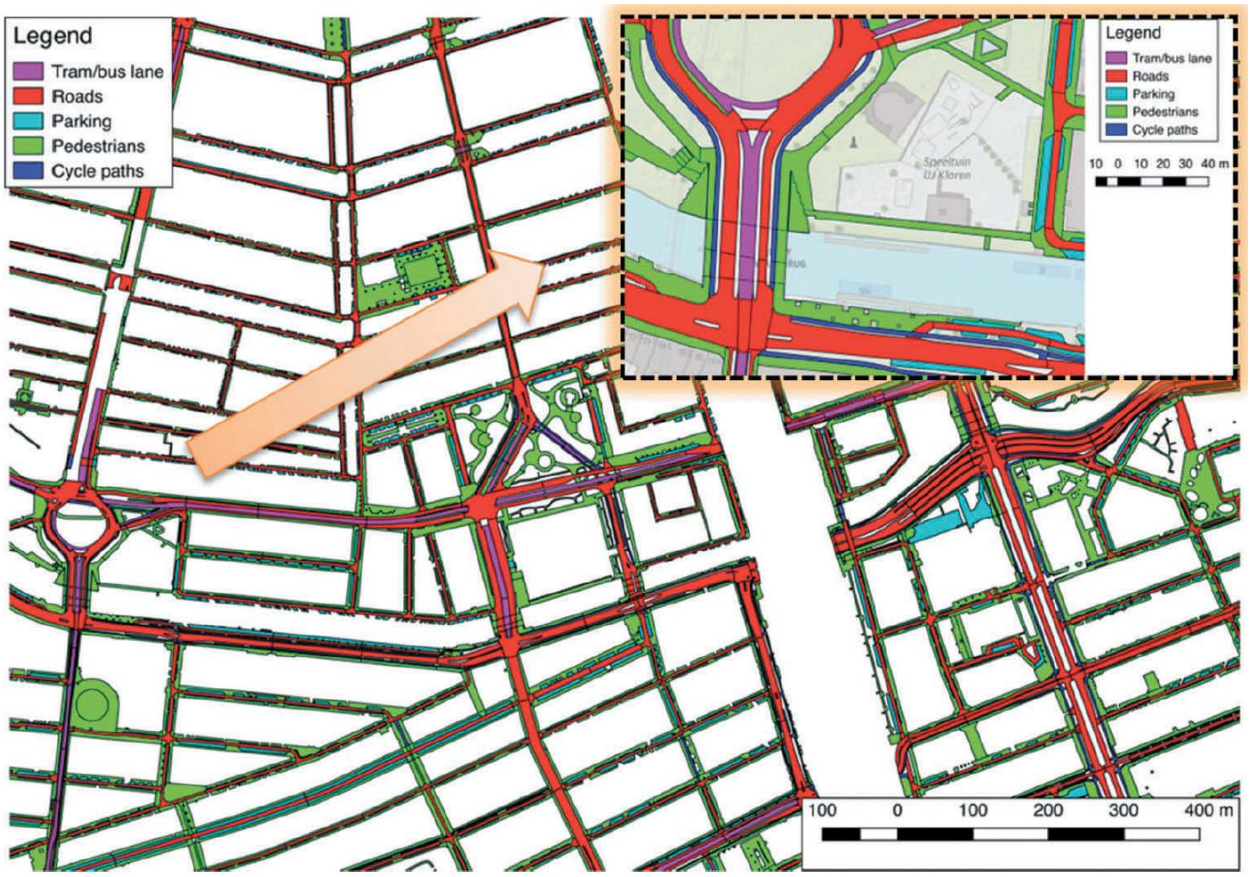


Figure 2.12 Échantillon de l'inventaire des actifs de voirie des Pays-Bas compris dans la base de données BGT (reproduit depuis Nello-Deakin, 2019 sous licence CC BY-NC-ND 4.0)

En l'absence d'un tel inventaire, Martin (2016), Szell (2018) et Guzman et al. (2021) développent des procédures permettant de calculer l'emprise de différents modes dans les rues de leurs territoires d'étude en fusionnant différents jeux de données opérationnels et en posant une série

d'hypothèses sur la largeur et la position des voies, par exemple. Dans le cas de Szell (2018) et de Guzman et al. (2021), les données cartographiques ouvertes issues de la plateforme collaborative OpenStreetMap fournissent l'armature de la procédure, ce qui requiert que les données soient complètes et exactes pour le territoire choisi. L'assemblage de plusieurs jeux de données peut par ailleurs créer des décalages lorsque leur calendrier de mise à jour n'est pas synchronisé, particulièrement dans le cas d'un suivi longitudinal du partage de la rue. Les faiblesses en termes d'exactitude et de précision des méthodes automatisées sont toutefois largement compensées par leur potentiel d'application à grande échelle, ce qui en fait des méthodes adaptées à la prise de décision dans un contexte municipal ou métropolitain. En présence des données appropriées, une méthode automatisée pourrait également permettre le suivi temporel de l'allocation de l'espace de la rue, même si aucune démarche de ce type n'est recensée dans la littérature.

2.3.2 Mesure de la demande pour la dimension de lien

Tel que souligné à la section 2.2.2.2, plusieurs des démarches recensées s'appuient sur des principes d'équité implicites et postulent que l'offre d'espace dans les rues devrait être proportionnelle à la demande. Deux méthodes de mesure de la demande sont employées : les comptages ponctuels et les estimations à l'aide d'enquêtes de type origine-destination.

2.3.2.1 Comptages

Seules deux démarches recensées comprennent un volet de mesure de la demande à l'aide de comptages. Colville-Andersen (2018) effectue une comparaison simple entre la superficie allouée à chaque mode considéré dans une rue et le nombre d'usagers de ces modes qui sont présents sur le site au moment de la prise de la photographie (voir figure 2.10 à la section 2.3.1.1 ci-dessus). Une telle collecte de données ne peut prétendre à la représentativité puisqu'il s'agit d'un instantané de la fréquentation de la rue à un moment précis sélectionné par le photographe. Toutefois, il s'agit d'un outil efficace de communication et de mobilisation par sa simplicité.

Pour leur part, Creutzig et al. (2020) récoltent, pour chacune des rues de l'échantillon traité, des comptages des usagers des différents modes durant diverses périodes de la journée et de l'année. La période de comptage s'étend sur les mois de novembre et décembre, y compris pendant le congé de Noël. Les relevés sont effectués durant une seule journée de semaine par site pour chacun des 18 sites, pendant une période d'une heure, entre 10 h et 16 h (Creutzig et al., 2020 annexe A,

section D). Il est difficile de concevoir que ces données soient représentatives de la demande en raison de la variation dans les périodes de comptage ainsi que de l'exclusion des périodes de pointe. De plus, de tels comptages ne peuvent être réalisés sur un large territoire à l'aide de méthodes manuelles, ce qui limite le potentiel de généralisation de la méthode. Les données de comptage ne permettent pas non plus de collecter les caractéristiques sociodémographiques des usagers de la rue – âge, genre, revenu, etc. – ni leur provenance ou leur destination, ou encore la longueur de leur déplacement. Les auteurs contournent toutefois cette dernière limite pour certaines de leurs analyses en pondérant chaque observation par la distance moyenne effectuée par les usagers de chaque mode selon les données d'enquête disponibles pour la région de Berlin.

2.3.2.2 Données d'enquêtes

La majorité des démarches recensées emploient des données issues d'enquête de type origine-destination afin de représenter la demande dans les rues de leurs territoires d'étude respectifs. Les auteurs emploient principalement la part modale des différents modes considérés à l'échelle du territoire métropolitain pour représenter la demande, à l'exception de Guzman et al. (2021) qui, pour leur part, ventilent les données par grands secteurs de la ville. Cela mène parfois à la comparaison d'une donnée très locale, c'est-à-dire l'aménagement d'un tronçon de rue, avec une donnée agrégée à l'échelle métropolitaine qui peut masquer une très forte variabilité. De plus, l'utilisation de la demande observée dans les enquêtes peut mener à des constats biaisés puisque la manière dont l'espace est structuré dans les rues contribue, du moins en partie, aux choix de mobilité des usagers. Aucun des auteurs recensés ne propose de méthode afin de contourner cet enjeu d'endogénéité.

2.3.3 Traitement des dimensions de lieu et d'environnement

À l'exception de Colville-Andersen (2018), qui intègre les activités de lieu en comptant à la fois l'offre et la demande pour les activités statiques réalisées dans la rue, ainsi que de Will et al. (2018), qui s'intéressent à la provision de surfaces végétalisées dans les rues et à la demande représentée par le besoin d'absorption des polluants qui résultent de la circulation des véhicules motorisés, l'ensemble des démarches recensées s'attarde uniquement à la dimension de lien de la rue. On observe chez Creutzig et al. (2020) une réflexion sur l'intégration des dimensions de lieu et d'environnement mais aucun indicateur quantitatif n'est proposé. Le cadre bi- ou tridimensionnel

élaboré par Jones et al. (2009) et Rodriguez-Valencia (2014) n'est donc, à ce jour, jamais appliqué à l'aide d'indicateurs quantitatifs, les auteurs considérant plutôt l'espace alloué à la dimension de lien comme fixe et s'interrogeant par la suite sur la part relative que chaque mode devrait occuper au sein de cet espace.

2.4 Synthèse et discussion

Le survol de la littérature scientifique et technique portant sur le partage de la rue effectué dans ce chapitre permet de tirer quelques constats qui orienteront les suites du présent projet de recherche. Tout d'abord, la rue doit être envisagée comme un objet multidimensionnel et non pas simplement comme un corridor de circulation. La dimension de lien est certes importante, mais le rôle de la rue comme lieu est tout aussi fondamental. L'équilibre entre ces dimensions, ainsi qu'entre les différents usagers au sein de ces dimensions – tout particulièrement entre les différents modes de transport –, doit être considéré non seulement comme problème d'allocation d'une emprise physique, mais également d'une offre temporelle régulée à diverses échelles. Si des auteurs (Jones et al., 2008, 2009; Rodriguez-Valencia, 2014) ont proposé des esquisses de cadres théoriques relatifs au partage de la rue, il n'existe pour l'instant aucun cadre permettant de quantifier les compromis effectués dans le cadre du partage d'une rue urbaine et d'effectuer une répartition des espaces-temps sur la base de principes formels d'équité (Hui et al., 2018).

Une série de chercheurs et de praticiens ont abordé la question de la mesure du partage de la rue dans ses aspects spatiaux et temporels ainsi que sous l'angle de la consommation d'espace-temps et de la capacité (se référer au tableau 2.7 pour une synthèse des limites des approches recensées). Les mesures recensées se limitent pour la plupart au seul traitement soit de l'espace, soit du temps, lorsqu'elles tentent d'établir si la rue offre un accès équitable à tous ses usagers. La seule approche tenant compte à la fois de l'espace et du temps, c'est-à-dire celle du m²*h, n'est appliquée dans la littérature qu'à la mesure de la demande observée ou potentielle, mais jamais pour caractériser l'offre.

Tableau 2.7 Synthèse des caractéristiques des approches recensées d'évaluation du partage de la rue

Application existante / Éléments considérés	Hampton (2013)	Martin (2016)	Agentur für clevere Städte (2014)	Gössling et al. (2016)	Colville-Andersen (2018)	Szell (2018)	van Liere et al. (2017)	Will et al. (2018)	Nello-Deakin (2019)	Creutzig et al. (2020)
Traitement de la dimension de lien	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Traitement de la dimension de lieu					(✓)					
Traitement de la dimension environnementale								✓		
Approche basée sur un principe d'équité			(✓)	(✓)		(✓)		(✓)	(✓)	✓
Utilisation de superficies				✓	✓		✓	✓	✓	✓
Approche automatisée et généralisable		✓				✓	✓	✓	✓	
Traitement de tous les modes	✓		✓	✓	✓					✓
Traitement des espaces partagés				(✓)					✓	✓
Suivi temporel										

Les méthodes de quantification actuelle du partage de la rue sont limitées sur le plan analytique. Tout d'abord, ces méthodes tiennent seulement compte de la dimension de lien de la rue, ignorant son rôle en tant que lieu, et donc les usages de l'espace associés à d'autres usages que le transport. De plus, à l'exception de Creutzig et al. (2020), les auteurs qui effectuent un diagnostic du partage de la rue ne réfèrent jamais à un principe explicite de répartition équitable de l'espace de la rue, rendant ainsi difficile la création d'indicateurs et d'outils de design des rues urbaines s'intégrant dans le cadre de l'équité. L'ensemble des modes de déplacement possibles sont par ailleurs rarement considérés dans les méthodes existantes, celles-ci se limitant souvent au traitement de deux ou trois modes, à l'exception des travaux de Gössling et al. (2016) et, plus récemment, de Creutzig et al. (2020).

Du point de vue méthodologique, plusieurs des approches existantes sont basées sur des méthodes manuelles de collecte de données. Cela limite leur potentiel de généralisation à une échelle municipale ou métropolitaine sans devoir faire appel à des méthodes d'expansion basées sur des hypothèses. Pour leur part, les méthodes basées sur une méthodologie automatisée présentent un bon potentiel de généralisation, mais sont limitées par les données disponibles sur les modes qui ne sont pas traditionnellement modélisés dans les outils de planification des transports – les modes actifs en particulier – et doivent souvent recourir à des hypothèses afin de les traiter, quand ils ne sont pas complètement omis des analyses. De plus, aucune des méthodes recensées n'emploie des données permettant de saisir la variabilité de l'allocation de l'espace dans les rues étudiées en fonction du moment de la journée ou de l'année.

Il existe également un potentiel d'amélioration de la prise en compte de la demande dans l'analyse du partage de la rue. En effet, les auteurs qui évaluent l'adéquation entre l'offre et la demande de la dimension de lien de la rue emploient pour ce faire soit des parts modales globales à l'échelle de la ville étudiée issues d'enquêtes de type origine-destination, soit des comptages ponctuels réalisés sur les rues faisant partie de l'échantillon étudié. Dans le premier cas, on aplanit les différences entre les secteurs et les types de rues en présumant que la demande est uniforme sur l'ensemble du réseau. Dans le deuxième cas, on respecte les particularités locales, mais au détriment de la représentativité statistique des données et de la possibilité de segmenter la demande selon ses différentes composantes (provenance géographique, caractéristiques sociodémographiques des individus, potentiel des modes actifs, etc.)

Il y a donc là l'opportunité de développer une méthodologie permettant de mesurer de manière généralisable la distribution de l'espace dans un réseau de rues urbaines et de poser un diagnostic sur le partage de cet espace à partir de principes formels d'équité à différents moments dans le temps et selon différents profils de demande. Le prochain chapitre expose la méthodologie proposée afin de mener à bien cet objectif.

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE

La présente thèse présente le développement d'un cadre d'analyse ainsi que de méthodes de mesure et de modélisation de la rue en milieu urbain. Ce cadre d'analyse et ces méthodes de mesures sont ensuite appliqués à des scénarios alternatifs de partage de la rue, le tout selon divers profils de demande. Pour ce faire, une approche automatisée basée sur de grands ensembles de données géoréférencées est privilégiée afin de permettre le développement d'une méthode qui puisse éventuellement être transférée à d'autres contextes urbains.

Cette thèse s'inscrit dans le modèle conceptuel de la rue développé par Jones et al. (2009) et dans la continuité des travaux présentés au chapitre précédent, avec pour objectif de combler les lacunes identifiées dans les méthodes existantes de mesure du partage de la rue et de proposer une méthode tenant compte des trois principales dimensions de la rue – le lieu, le lien et l'environnement– en se basant sur les principes de justice distributive issus de la littérature sur l'équité.

Les objectifs de recherche spécifiques sont les suivants :

1. Développer une méthode automatisée et généralisable de mesure de l'espace de la rue à partir de grands ensembles de données;
2. Caractériser la variation spatiale et temporelle de l'allocation d'espace dans les rues du territoire d'étude;
3. Développer un cadre d'évaluation du partage de la rue entre ses trois dimensions principales;
4. Développer un cadre d'évaluation du partage de l'espace de la rue associé à la dimension de lien;
5. Appliquer les cadres d'évaluation à une série de scénarios alternatifs de partage de la rue.

Ce chapitre vise tout d'abord à présenter la méthodologie générale du projet à travers son cadre conceptuel et ses principales contributions à la recherche sur le partage de la rue. Les jeux de données et le territoire d'étude employés au cours du projet sont ensuite présentés. S'ensuit une description de la méthode développée afin de construire une base de données de l'offre d'espace dans les rues du territoire d'étude; c'est sur cette base de données que se fondent l'ensemble des résultats présentés au cours des chapitres suivants.

3.1 Méthodologie générale

3.1.1 Définition de l'objet d'étude

L'évaluation du partage de la rue nécessite tout d'abord de définir l'objet d'étude, c'est-à-dire la rue elle-même. La définition retenue s'inspire de celle de Rapoport (1987) : « espace linéaire plus ou moins étroit, délimité par les bâtiments d'un établissement humain et utilisé pour la circulation ainsi que, parfois, d'autres activités » (voir section 2.1). Ainsi, dans le cadre de ce projet, la notion de rue est entendue comme l'espace libre, qu'il soit public ou privé, compris entre les façades des bâtiments et qui sert à la fois à la circulation des individus à l'aide de différents modes de transport et à la pratique d'activités non liées à la circulation (voir figure 3.1). Sont exclus de cette définition, aux fins du présent projet, par exemple, les sentiers situés dans les parcs, puisqu'il ne s'agit pas de corridors dédiés principalement au transport.

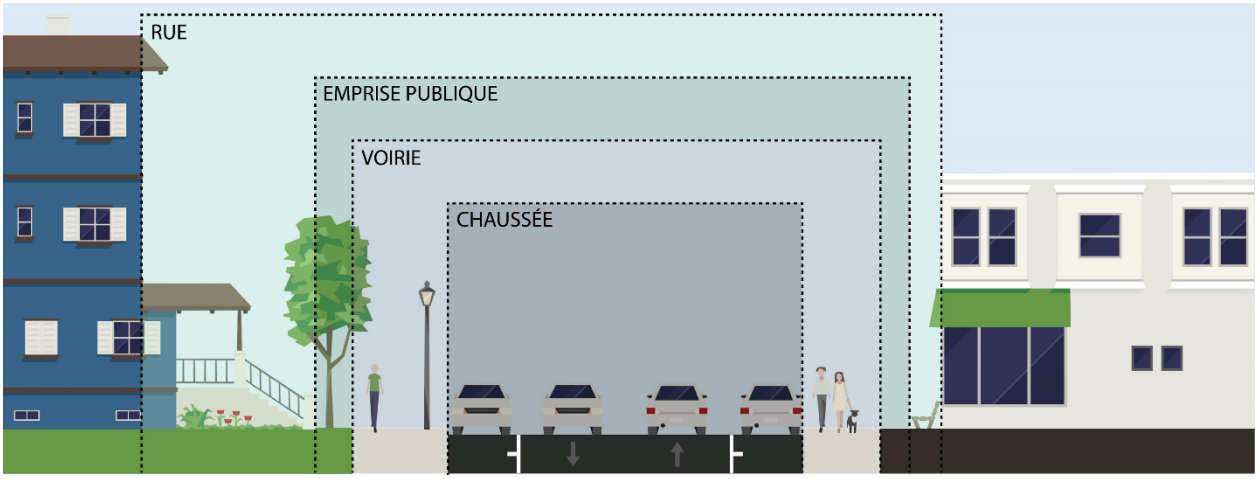


Figure 3.1 La rue et ses différentes composantes (créé avec Streetmix, CC BY-SA 4.0)

Le partage de la rue tel qu'effectué par les pouvoirs publics est d'abord et avant tout un exercice de distribution des ressources spatiotemporelles de la rue à différents groupes d'usagers utilisant la rue pour diverses raisons. Afin de sélectionner les objets à cibler dans la démarche de mesure du partage de la rue, le modèle tridimensionnel de la rue développé par Rodriguez-Valencia (2014) sur la base des travaux de Jones et al. (2009), qui décompose la rue en ses dimensions de lien, de lieu et d'environnement, est retenu. La prise en compte des dimensions de lieu et d'environnement permet de considérer le rôle de la rue comme espace de vie, d'activités et de loisir pour ses usagers, une perspective qui est peu traitée dans les approches existantes de mesure du partage de la rue, tel

que souligné au chapitre précédent. Les autres dimensions identifiées dans la littérature (voir section 2.1.5) ne sont pas traitées dans le projet en raison de la difficulté à en formaliser la demande en espace, mais pourraient éventuellement faire l'objet de l'extension du cadre d'analyse.

Afin de poser un diagnostic du partage de l'espace des rues du territoire à l'étude, le projet mobilise des principes de distribution provenant de la littérature sur l'équité en appliquant à un large territoire une série de principes inspirés notamment des travaux de Creutzig et al. (2020). Cela permet d'aller au-delà du jugement ad hoc sur la répartition de l'espace qui caractérise les démarches actuelles d'étude du partage de la rue et de proposer, à terme, des scénarios cohérents qui permettent un suivi des objectifs de rééquilibrage du partage de la rue.

3.1.2 Contributions

Les travaux menés dans le cadre de cette thèse se déclinent en cinq étapes identifiées à la figure 3.2 (étapes 1 et 2) et à la figure 3.3 (étapes 3 à 5), chacune correspondant à l'un des objectifs de recherche présentés ci-haut. Chacune de ces étapes permet d'apporter une contribution à la recherche sur la mesure et l'évaluation du partage de la rue.

Dans un premier temps, une méthode de calcul des superficies par éléments finis est développée afin de mesurer l'allocation de l'espace des rues de manière systématique et automatisée. Cela permet de formaliser un cadre d'analyse de l'allocation de l'espace et du temps et, éventuellement, de comparer différents milieux urbains à l'aide d'une méthode standardisée et applicable à l'aide de jeux de données largement disponibles.

La présente thèse propose ensuite une série d'indicateurs permettant de faire le suivi et l'évaluation du partage de la rue dans l'espace et le temps afin d'informer la prise de décision publique. Des indicateurs de variation temporelle sont tout d'abord proposés afin de capturer les variations de l'espace dynamique et changeant qu'est la rue, et ce, à différentes échelles spatiales. Cela permet de mieux comprendre la manière dont s'articulent les paramètres d'opération des différentes zones de la rue au travers du territoire d'étude et d'en étudier la relation avec le milieu d'insertion des différentes rues.

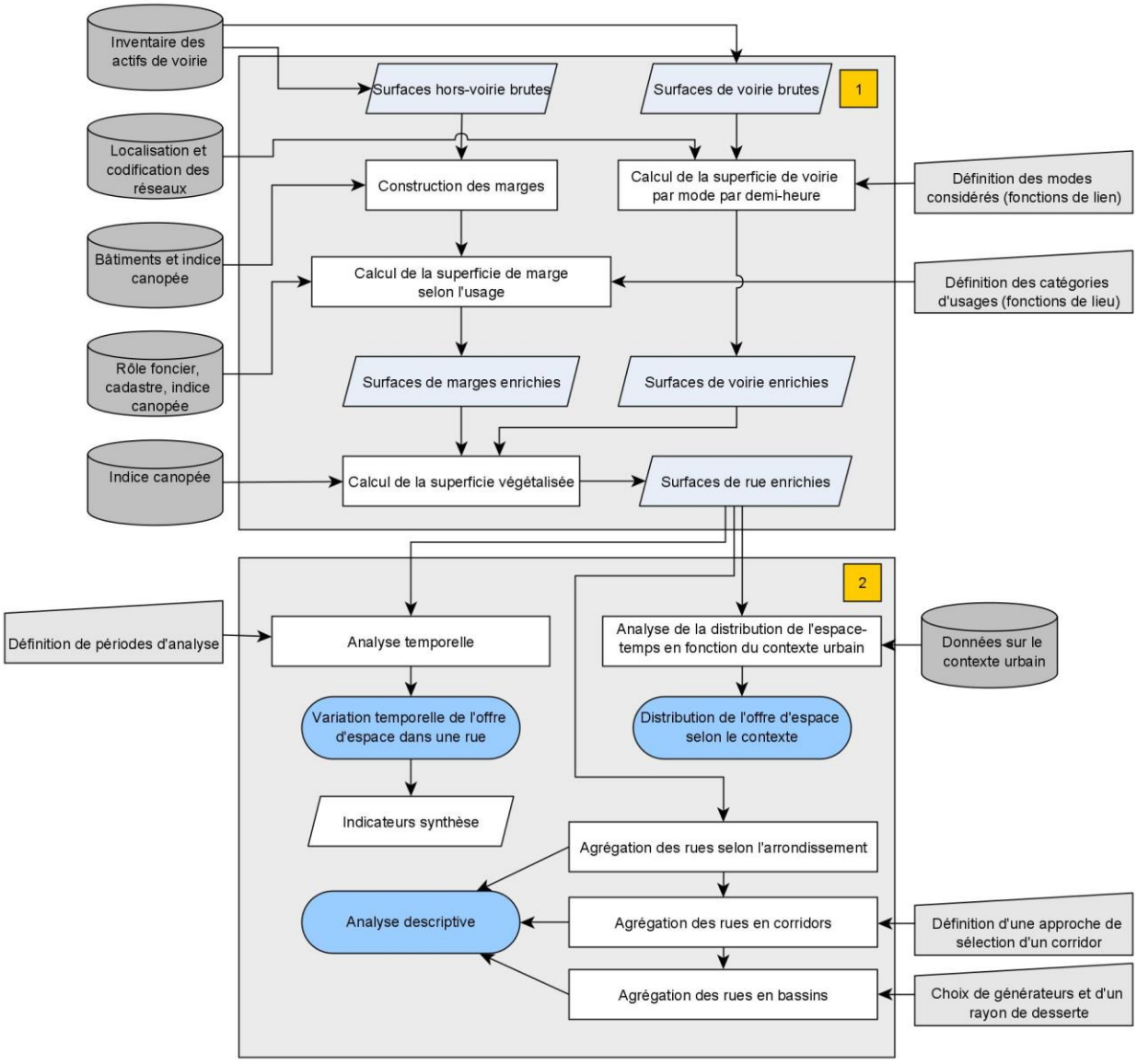


Figure 3.2 Schéma méthodologique du projet[22] (1/2)

[22] Se référer à la section 3.2.1 pour une description des différentes échelles spatiales – le tronçon, l'axe, le corridor [, le bassin] et l'arrondissement – mobilisées dans la présente thèse.

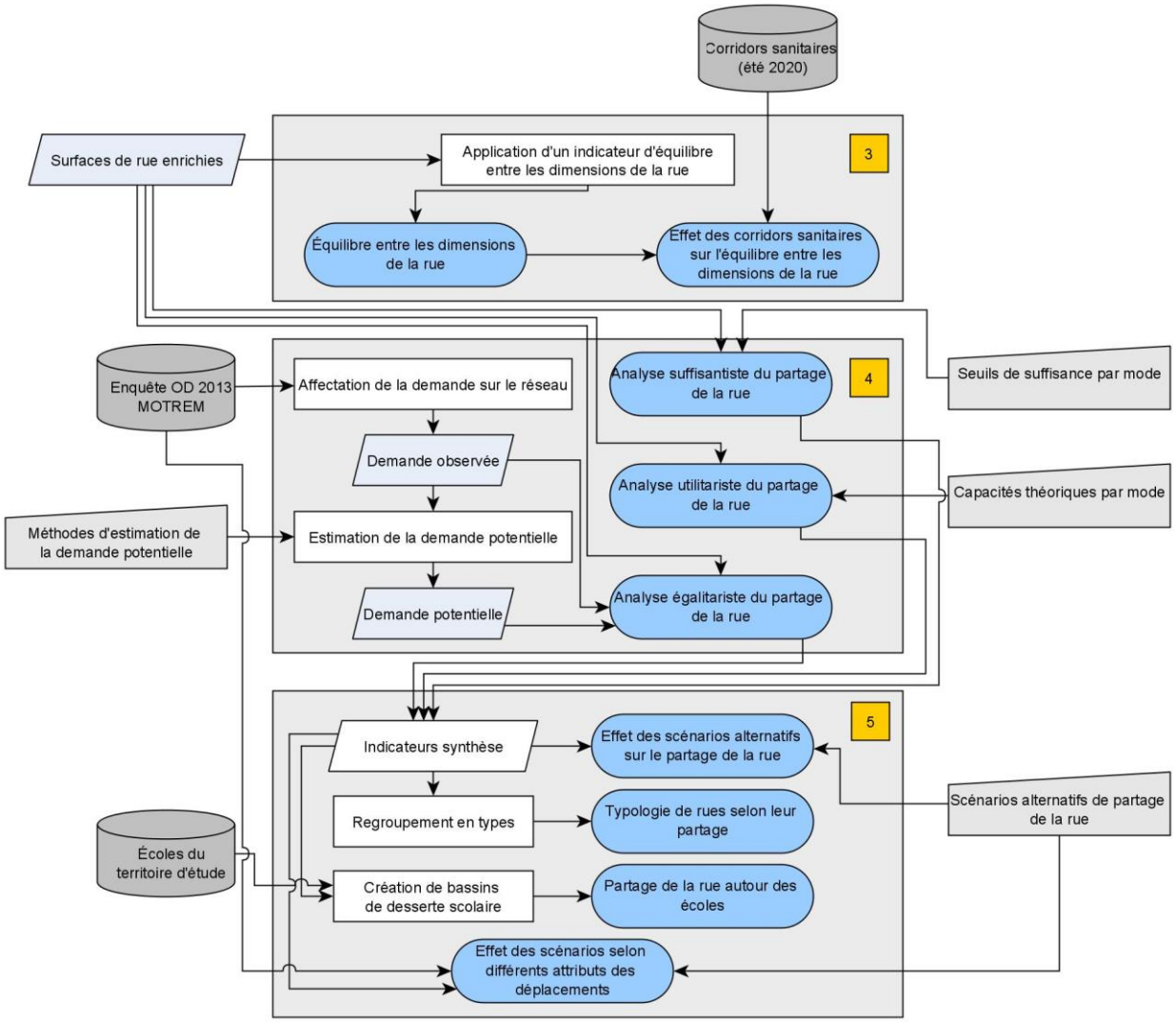


Figure 3.3 Schéma méthodologique du projet[23] (2/2)

Des indicateurs permettant d'évaluer l'équilibre entre les dimensions de lien, de lieu et d'environnement de la rue sont par la suite élaborés, ce qui constitue une première étape vers la formalisation d'une méthode de résolution du problème d'allocation de l'emprise tel que défini par Rodriguez-Valencia (2014) pour les trois dimensions fondamentales de la rue.

Le partage de la rue dans sa dimension de lien est ensuite évalué à la lumière de trois principes de justice distributive : le suffisantisme, l'utilitarisme et l'égalitarisme, étendant ainsi pour une

[23] Se référer à la section 5.3 pour la notion de corridor sanitaire.

première fois l'approche multi-principes de Creutzig et al. (2020) à l'échelle d'un territoire urbain à l'aide de grandes bases de données. Cela permet d'identifier les méthodes, indicateurs et paramètres les plus appropriés selon le contexte et les objectifs de planification. Dans le cas des indicateurs tenant compte de la demande en transport, divers profils de demande sont employés afin de limiter les biais liés à l'utilisation de la demande observée.

Sur la base de ces analyses, des indicateurs synthèses sont mis au point afin de développer une typologie des rues en fonction des différents principes étudiés. Les indicateurs développés sont par la suite appliqués à des scénarios de réallocation de l'espace de voirie à l'échelle d'un arrondissement afin d'en démontrer l'utilité pour faire le suivi et l'évaluation des politiques publiques de réaménagement des rues.

3.1.3 Jeux de données employés

Le tableau 2.1 recense les jeux de données employés afin de représenter le plus précisément possible l'offre et la demande en espace dans les rues du territoire d'étude[24]. La majorité des jeux de données employés dans le cadre du présent projet sont ouverts, tandis que certaines données ont été obtenues à l'aide d'ententes entre la Chaire Mobilité et ses partenaires industriels. À terme, plusieurs des jeux de données non ouverts pourraient être remplacés par un extrait de la plateforme de cartographie collaborative OpenStreetMap (OpenStreetMap, s. d.), en autant que celles-ci soient suffisamment détaillées et tenues à jour par la communauté.

[24] Se référer au tableau 3.2 pour les abréviations des arrondissements.

Tableau 3.1 Jeux de données employés

Jeu de données	**Producteur des données**	**Année**	**Type de géométrie**	**Attributs utilisés**	**Données ouvertes?**	**Étendue spatiale**
Inventaire des actifs de voirie	Ville de Montréal (VdM)	2019	Polygone	• Type de surface • Arrondissement • Identifiant de tronçon de géobase	Oui (sauf l'identifiant de tronçon)	Agglomération de Montréal (AG)
Géobase linéaire	VdM	2019	Ligne	• Nombre de directions	Oui	AG
Réseau routier	Adresses Québec (AQpro)	2019	Ligne	• Vitesse permise	Non	Province de Québec (QC)
Réseau routier du modèle de microsimulation	VdM	2018	Ligne	• Nombre de voies	Non	AG
Réseau routier du modèle de macrosimulation (MOTREM13)	MTQ	2013	Ligne	• Volume de véhicules selon le type	Non	Territoire de l'Enquête OD 2013 (OD)
Signalisation	VdM	2018	Point	• Règles de stationnement • Périodes d'activité • Type de poteau	Oui	Certains arrondissements (AC, CN, LC, LN, LR, MH, MN (part.), OM, PM, PR (part.), RO, RP, SO, VM, VS)[25]
Parcomètres	VdM	2019	Point	• Règles de stationnement • Périodes d'activité	Oui	AG
Inventaires des mesures préférentielles pour bus	- MTQ - exo - STM	2017–2019	Ligne	• Position sur la chaussée • Véhicules permis • Périodes d'activité	Non	- QC - Territoire d'exo - AG
Réseau cyclable linéaire	VdM	2018	Ligne	• Type d'infrastructure • Périodes d'activité	Oui	AG
Stations BIXI	BIXI	2019	Point	• Nombre d'ancrages	Oui	Territoire de BIXI
Supports à vélo publics	VdM	2017	Point	• Capacité	Oui	Ville de Montréal (VM)
Arbres publics	VdM	2018	Point	• Position sur la chaussée • Année de plantation	Oui	Certains arrondissements (AC, CN, LN, LR, LS, MH, PM, PR, RO, RP, SO, VD, VM, VS)[25]
Indice canopée	CMM	2017	Polygone	• Catégorie de surface	Oui	Territoire de la CMM (CMM)
Limites administratives	VdM	2019	Polygone	• Nom de l'arrondissement	Oui	AG
Recensement de la population	Statistique Canada	2016	Polygone	• Population du secteur de recensement	Non	RMR de Montréal
Enquête Origine-Destination 2013, v13.2b	ARTM	2013	Point	• Origine et destination du déplacement • Mode déclaré du déplacement • Heure de départ du déplacement	Non	OD

[25] Se référer au tableau 3.2 pour la liste des abréviations des noms d'arrondissement

Tableau 3.1 Jeux de données employés (suite)

Jeu de données	**Producteur des données**	**Année**	**Type de géométrie**	**Attributs utilisés**	**Données ouvertes?**	**Étendue spatiale**
Rôle d'évaluation foncière	MAMH	2018	Point	• Utilisation du sol de l'unité d'évaluation	Non	QC
Corridors sanitaires	VdM	2020	Ligne	• Type de corridor	Oui	AG
Bâtiments	VdM	2016	Polygone	• Géométrie	Oui	Certains arrondissements (AC, PM, RO, SO, VM) [25]
Bâtiments	OpenStreetMap	2018	Polygone	• Géométrie	Oui	QC (incomplète)
Cadastre	MERN	2018	Polygone	• Géométrie • Identifiant d'unité d'évaluation foncière	Non	QC
Schéma d'aménagement et de développement – Équipements collectifs	VdM	2016	Point	• Type d'équipement • Portée de l'équipement	Oui	AG
Schéma d'aménagement et de développement - Affectation du sol et densité d'occupation	VdM	2016	Polygone	• Localisation des grands espaces verts	Oui	AG
Sites et immeubles protégés en vertu de la Loi sur le patrimoine culturel	VdM	2017	Point Polygone	• Type de classification patrimoniale	Oui	AG
Localisation des établissements d'enseignement du réseau scolaire au Québec	MEQ	2018	Point	• Localisation de l'établissement d'enseignement	Oui	QC

3.1.4 Territoire d'étude

L'objectif du présent projet de recherche étant de développer des méthodes d'analyse et un cadre d'évaluation du partage de la rue qui pourraient être appliqués à divers contextes urbains, le choix a été fait de prioriser l'approche la plus détaillée possible à l'aide du plus grand nombre de jeux de données possible. Cela a pour effet de limiter l'étendue spatiale à laquelle peuvent être appliquées les méthodes proposées puisque les jeux de données disponibles dans le contexte de la région de Montréal sont contraints par diverses considérations. Par exemple, le jeu de données répertoriant les paramètres d'opération du stationnement sur rue à Montréal est issu du système SIGNALEC, qui n'est pas en opération dans tous les arrondissements. De même, les données répertoriant les arbres publics ne sont pas disponibles pour tous les arrondissements. De plus, les standards de codification des jeux de données (actifs de voirie, signalisation, etc.) diffèrent entre les différentes villes qui rendent disponibles de telles données, ce qui complique le développement méthodologique.

Afin de maximiser le niveau de détail dans les méthodes appliquées, le choix a été fait de travailler seulement avec les données de l'inventaire des actifs de voirie de la Ville de Montréal et de se limiter aux arrondissements pour lesquels l'ensemble des jeux de données était disponible[26]. Le territoire d'étude pour le projet est donc constitué des 11 arrondissements identifiés à la figure 3.4. Dans le but de démontrer le potentiel de certaines méthodes nécessitant une puissance de calcul plus importante ou en raison de limitations dans l'étendue spatiale de certains jeux de données, quelques analyses portent sur un seul arrondissement (voir chapitre 8). Le tableau 3.2 recense les abréviations employées pour référer aux arrondissements de la Ville de Montréal dans le présent document et identifie les arrondissements inclus dans le territoire d'étude.

---

[26] La seule exception à cette règle est l'arrondissement d'Outremont. En effet, aucune donnée sur les arbres publics n'est disponible pour l'arrondissement, mais une validation à l'aide d'images satellites a démontré que, malgré l'important couvert végétal, il n'existe pratiquement aucun arbre planté sur l'emprise publique dans l'arrondissement. La perte d'information due à l'absence de ce jeu de données a donc été jugée suffisamment minime pour qu'il puisse être inclus dans le territoire d'étude.

Tableau 3.2 Arrondissements de la Ville de Montréal

Arrondissement	Abréviation	Territoire d'étude
Ahuntsic-Cartierville	AC	✓
Anjou	AJ	
Côte-des-Neiges–Notre-Dame-de-Grâce	CN	✓
Île-Bizard–Sainte-Geneviève	IS	
Lachine	LC	
LaSalle	LS	
Le Plateau-Mont-Royal	PM	✓
Le Sud-Ouest	SO	✓
Mercier–Hochelaga-Maisonneuve	MH	✓
Montréal-Nord	MN	
Outremont	OM	✓
Pierrefonds-Roxboro	PR	
Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles	RP	✓
Rosemont–La Petite-Patrie	RO	✓
Saint-Laurent	LR	
Saint-Léonard	LN	✓
Verdun	VD	
Ville-Marie	VM	✓
Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension	VS	✓

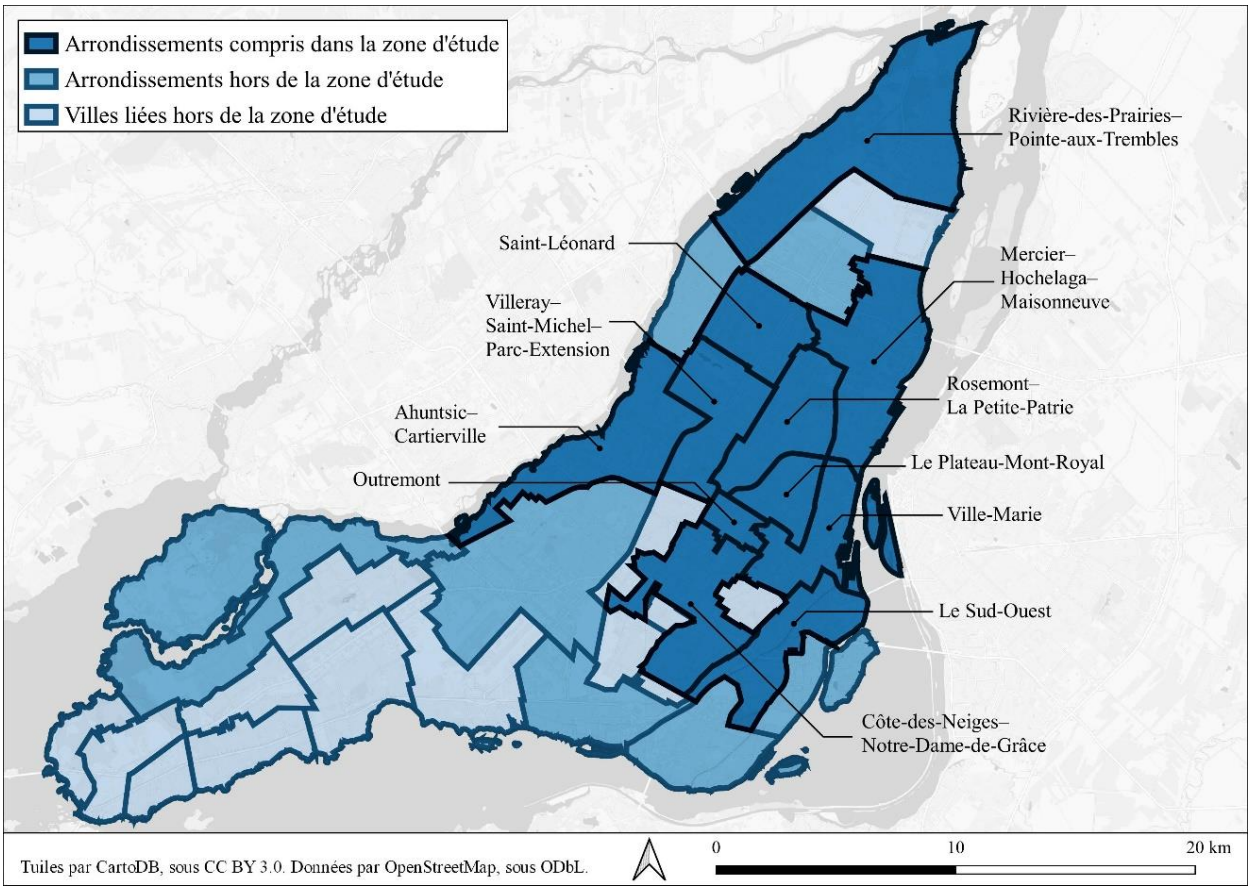


Figure 3.4 Territoire d'étude

3.2 Construction d'une base de données de l'offre d'espace dans les rues du territoire d'étude

Dans le but d'obtenir le portrait le plus précis possible de l'allocation de l'espace et du temps dans les rues du territoire d'étude, une série de jeux de données sont mis en relation dans un SIG. La fusion des données est effectuée à l'aide d'une série de scripts SQL exécutés dans une base de données à extension spatiale PostgreSQL 10.9/PostGIS 3.0 et de scripts Python exécutés sous Python 3.6/Pandas 1.1.13.

3.2.1 Échelles spatiales considérées

Puisque la rue est un espace qui s'inscrit dans une logique de réseau, son partage peut s'envisager à diverses échelles spatiales. Les cinq échelles mobilisées dans cette thèse sont les suivantes : le tronçon de rue, l'axe, le corridor, le bassin et l'arrondissement.

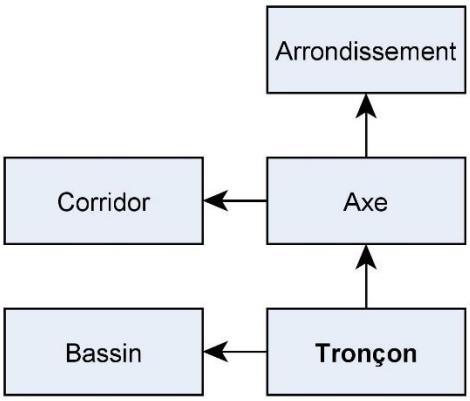


Figure 3.5 Lien entre les différentes échelles d'analyse

3.2.1.1 Le tronçon

Le tronçon est l'unité de base de la démarche. L'ensemble des calculs présentés dans le présent document est effectué à l'échelle des tronçons de rues, puis agrégé à une échelle supérieure lorsque nécessaire. Ce choix découle de l'utilisation, comme jeu de données fondamental de la présente démarche, de l'inventaire des actifs de voirie de la Ville de Montréal (voir section 3.2.4), dont chaque objet est rattaché à un tronçon de la géobase linéaire de la Ville. Le tronçon de géobase est défini comme : « une portion de route possédant des caractéristiques homogènes décrites principalement par les attributs suivants : un toponyme officiel et en vigueur, des plages d'adresses

et une référence aux limites administratives (arrondissements, limites municipales, quartiers selon le cas) » (Ville de Montréal, s. d.-c). La figure 3.11 (section 0 ci-dessous) illustre différents tronçons de rues.

Il est à noter qu'une rue comptant un terre-plein médian est considérée comme deux tronçons distincts. Cette distinction a été conservée dans le cadre des présents travaux pour faciliter le traitement et la mise en relation des données, malgré qu'elle puisse aller à l'encontre d'une conception plus intuitive de la rue. La Ville de Montréal distingue également les portions de rues situées sous une autre rue (passages inférieurs, viaducs, etc.) comme des tronçons distincts (voir la section 0 pour plus de détails sur le traitement de ces objets). De plus, un changement de configuration de la voirie entre deux intersections (l'apparition d'un terre-plein, par exemple) amène également une segmentation en différents tronçons.

3.2.1.2 L'axe

Certains tronçons peuvent posséder des caractéristiques ponctuelles qui les distinguent des autres tronçons qui les précèdent ou qui les suivent. Le regroupement de plusieurs tronçons successifs en un seul axe permet d'analyser le partage de la rue en lissant les différences ponctuelles pour obtenir une vue d'ensemble. Pour les fins des présents travaux, un axe est défini comme un ensemble de tronçons successifs partageant un même toponyme, situés dans le même arrondissement et possédant un rôle similaire dans le réseau. Une classification basée sur la limite de vitesse affichée – moins de 50 km/h, 50 km/h ou plus de 50 km/h – est employée comme proxy du rôle dans le réseau. La section 1 de la figure 3.6 illustre la construction d'un axe.

3.2.1.3 Le corridor

Dans une trame viaire orthogonale, telle celle que l'on retrouve dans les quartiers centraux de Montréal et de nombreuses autres villes nord-américaines, plusieurs rues parallèles peuvent offrir des alternatives de déplacement pour un même trajet. Il est donc intéressant de s'attarder non seulement à la manière dont chaque rue est conçue, mais également à la complémentarité entre les différentes rues au sein d'un même corridor d'alternatives potentielles. Pour les fins des présents travaux, le corridor d'un axe de référence A est définie comme l'ensemble des axes situés dans un rayon r qui offrent une alternative plausible à l'axe A. La figure 3.6 illustre la construction d'un corridor.

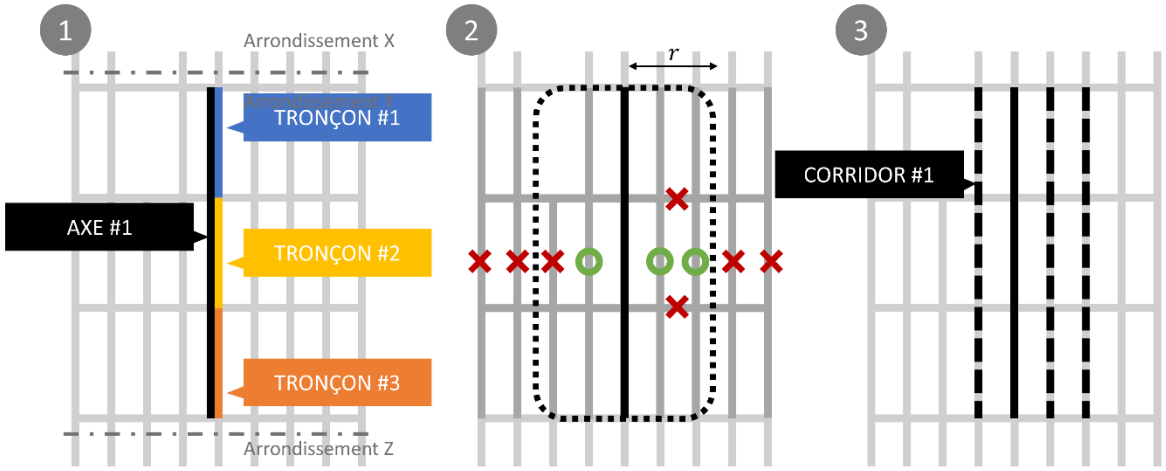


Figure 3.6 Construction d'un corridor pour un axe de référence

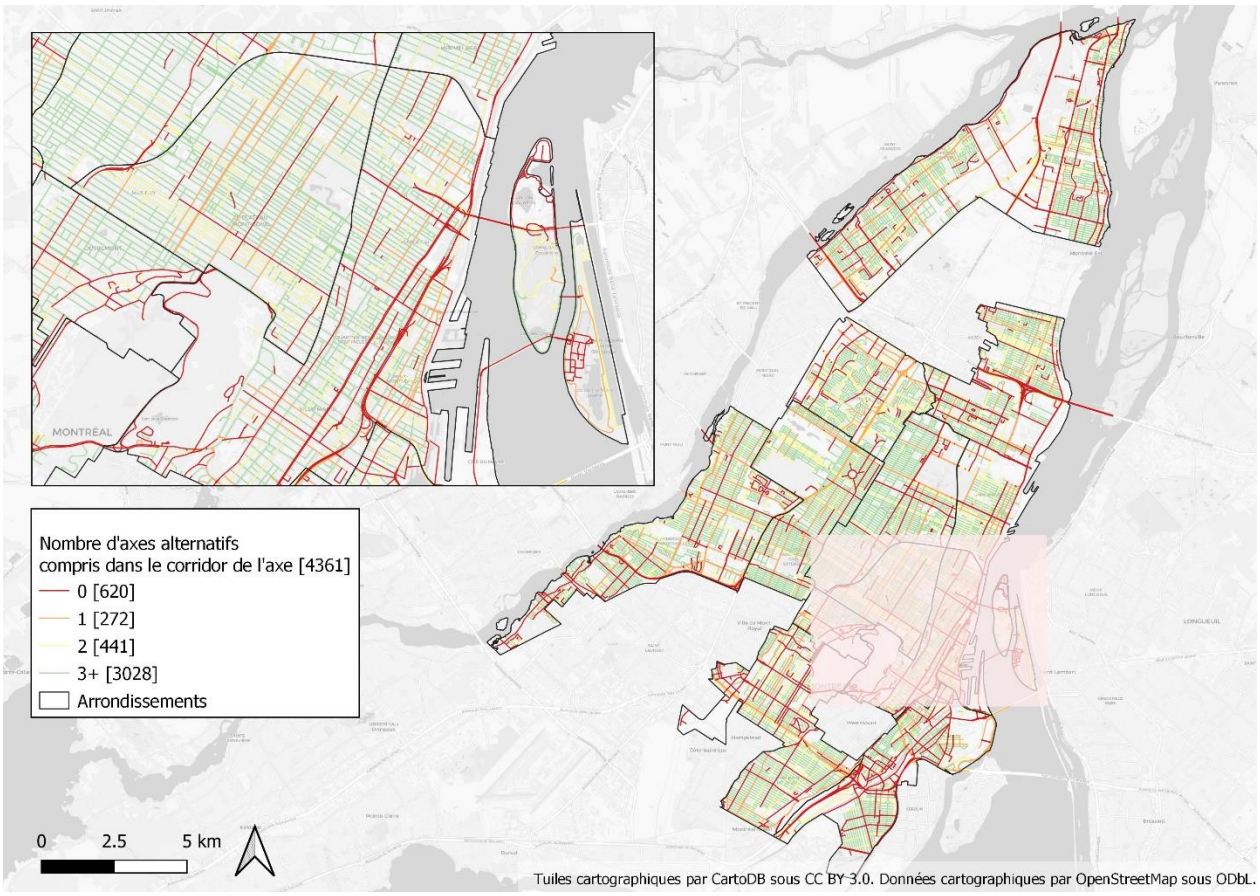


Figure 3.7 Nombre d'axes par corridor en plus de l'axe de référence

Le rayon de référence r est établi à 1 kilomètre, ce qui correspond à une distance qui peut être parcourue à pied en 10 à 15 minutes. Afin d'éviter que des axes trop dissemblables soient regroupés au sein d'un même corridor, seuls les axes appartenant à la même classe fonctionnelle (local,

collecteur, artériel, autoroute) que l'axe de référence sont considérés. La figure 3.7 permet de constater que 620 corridors ne contiennent que l'axe de référence et 272 corridors ne contiennent qu'une seule alternative, ce qui représente respectivement 22 % et 18 % de la longueur totale du réseau routier au sein du territoire d'étude.

3.2.1.4 Le bassin

La figure 3.8 illustre la construction d'un bassin autour d'une école à l'aide d'un rayon de 1 kilomètre.



Figure 3.8 Exemple d'un bassin de desserte piétonne : bassin de l'école primaire François-de-Laval, située dans l'arrondissement d'Ahuntsic-Cartierville

Contrairement aux échelles spatiales présentées plus haut, qui considèrent seulement les rues dans une perspective linéaire, le bassin permet d'étudier le partage des rues qui mènent à un générateur de déplacements. Cela rend possible un diagnostic de l'aménagement des rues qui dépasse la perspective du gestionnaire d'infrastructures pour s'intéresser plutôt aux conditions d'accès aux

opportunités. Ainsi, toutes les rues contiguës qui permettent d'atteindre un point donné G dans un rayon donné r forment un bassin à l'échelle duquel il est possible de calculer des indicateurs de partage de la rue.

3.2.1.5 L'arrondissement

Dans un système de gouvernance municipale tel que celui de Montréal, les pouvoirs en matière d'aménagement du domaine public sont répartis entre les divers paliers de gouvernement selon des découpages administratifs. De plus, certains projets urbains mènent à la définition de zones d'intervention (plans particuliers d'urbanisme (PPU), zones de projets-pilotes, etc.) qui englobent plusieurs tronçons, axes ou même corridors. Le découpage administratif le plus utilisé dans le cadre des présents travaux est celui de l'arrondissement, puisque les arrondissements montréalais disposent d'une série de pouvoirs spécifiques relatifs aux interventions sur le réseau viaire local. Les analyses à l'échelle d'un découpage administratif ne doivent pas être interprétées dans une perspective de transport linéaire, puisqu'un découpage donné peut comprendre des rues desservant des flux aux destinations totalement différentes, mais plutôt comme le diagnostic des choix d'aménagement du domaine public au sein de ce découpage.

3.2.2 Voirie et marge

La rue, prise d'une façade à l'autre, peut être découpée en deux grandes composantes: la voirie et les marges (voir figure 3.9). La voirie est composée des surfaces servant à la mobilité des personnes et des biens et relevant donc principalement de la dimension de lien de la rue. Pour leur part, les marges sont constituées des espaces situés entre la voirie et la façade des bâtiments bordant la rue et accueillent plutôt des activités relevant de la dimension de lieu. Ces zones peuvent être de propriété publique ou privée, sans que la délimitation entre les deux régimes ne soit nécessairement apparente aux yeux du public (voir figure 3.1).

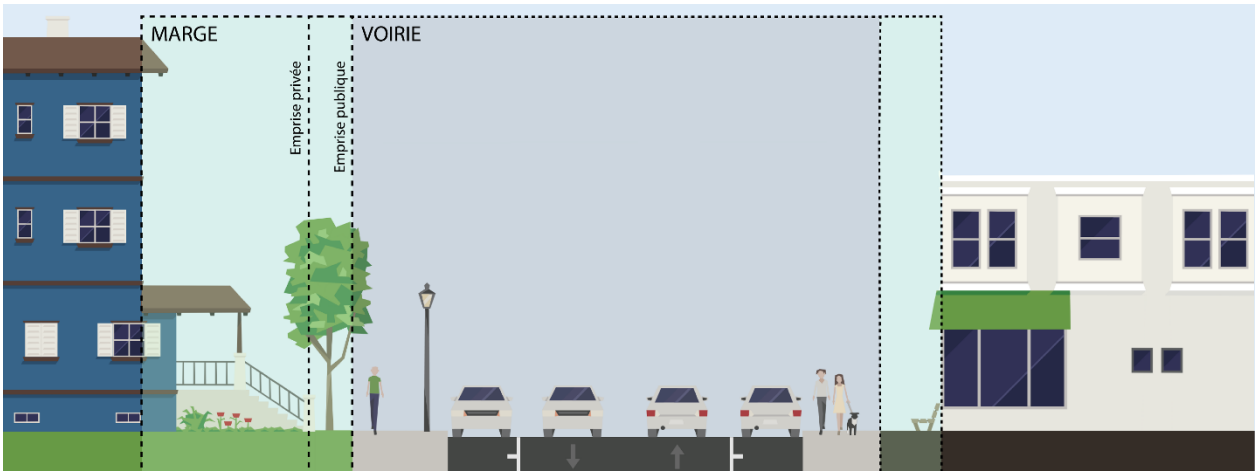


Figure 3.9 Illustration de la localisation typique de la voirie et des marges (créé avec Streetmix, CC BY-SA 4.0)

La marge, c'est-à-dire l'espace non-construit entre la façade des bâtiments et l'emprise publique, agit comme l'interface entre les espaces bâtis privés et la voirie. On retrouve dans ces espaces, souvent privés, une foule d'activités liées à l'usage des bâtiments qui encadrent la rue. Dans une rue résidentielle, par exemple, les résidents peuvent s'y adonner au jardinage, au repos, à la socialisation avec les voisins, pendant que les enfants y jouent. Dans une rue commerciale, les possibilités sont nombreuses : on peut y retrouver la terrasse d'un restaurant ou d'un bar, les étals d'un marchand, des espaces de repos ou encore un recul permettant tout simplement la mise en valeur de la façade du commerce (Conseil national des transports, 2004).

L'usage du trottoir, pour sa part, ne se limite pas à sa fonction d'espace de circulation; il s'agit également d'un espace pouvant héberger une multitude d'activités pratiquées par des individus, qu'ils soient stationnaires ou en mouvement (Marshall, 2002, p. 95). On note par exemple les usages liés au loisir (marche, course à pied, patin, planche à roulettes, promenade d'un chien), au tourisme (contemplation, photographie, orientation), à la consommation (lèche-vitrine, accès au commerce, achats à un marchand de rue, consommation de nourriture pour emporter), à la socialisation (conversations, rencontres, communications téléphoniques) ou au repos et à l'attente (usage des bancs publics, attente d'un taxi ou d'un ami). On peut également penser aux activités de nature économique qui prennent place sur les trottoirs (vente au détail, terrasses et contre-terrasses, ventes de garage et sollicitation commerciale, mais également musique de rue et mendicité) ainsi qu'aux activités communautaires et politiques (sollicitation caritative, sondages, kiosques de sensibilisation). Le trottoir et la zone tampon qui le sépare parfois de la chaussée sont

par ailleurs le lieu d'activités fonctionnelles telles que l'entreposage de la neige, le dépôt et le ramassage des déchets ou encore les opérations d'entretien et de réparation de divers éléments du mobilier urbain.

Le cas des espaces de stationnement est particulier, puisqu'il s'agit d'espaces dont la fonction principale est intrinsèquement liée à la dimension de circulation de la rue[27], mais dont on peut modifier la programmation afin d'y accueillir des activités liées à la dimension de lieu. Par exemple, les espaces de stationnement peuvent être convertis de manière temporaire en contre-terrasses ou en placottoirs, ou encore accueillir des camions de cuisine de rue ou d'autres services

À l'instar du trottoir, la chaussée, espace principal de la rue tant par la part de l'espace qu'elle occupe que par l'importance qu'elle revêt dans la planification des transports, n'est pas limitée à la dimension de circulation. En effet, dans plusieurs contextes, la chaussée est partagée entre véhicules en mouvement et individus pratiquant des activités. Par exemple, dans les « rues résidentielles » telles que formalisées en Europe[28], il est prévu dans le cadre légal que le jeu des enfants et les activités de voisinage puissent prendre place à même la chaussée (Bruneau et Morency, 2016, p. 33-34). Au Québec, il est fréquent que la chaussée des rues locales à très faible débit (impasses, croissants, etc.) et des ruelles soit utilisée pour le jeu libre, les activités sportives ou les activités de voisinage, une pratique qui peut, depuis 2017, être autorisée par une municipalité (Gouvernement du Québec, s. d., art. 500.2). En plus de ces pratiques, la chaussée accueille également des évènements ponctuels : ventes-trottoir, manifestations, parades, défilés et évènements culturels peuvent, à l'occasion, occuper une chaussée fermée pour l'occasion à la circulation (Conseil national des transports, 2004).

---

[27] Certains auteurs (Jones et al., 2009) assimilent également le stationnement des véhicules (automobiles, vélos individuels et partagés, etc.) ainsi que les opérations de livraison à la fonction de lieu de la rue, mais la plupart des auteurs consultés s'entendent pour considérer le stationnement et la livraison comme une composante du déplacement, et donc pour les considérer comme relevant de la fonction de circulation (Gössling et al., 2016; Héran et Ravalet, 2008, 2011; Marshall, 2002, 2003).

[28] La rue résidentielle, dans son acception européenne, est définie par Bruneau et Morency (2016, p. 33-34) comme une rue sans distinction entre le trottoir et la chaussée, où la vitesse est limitée à 20 km/h, où l'automobiliste doit céder la priorité aux autres usagers de la route en tout temps et où le jeu d'enfants est permis.

Finalement, les terre-pleins, bandes de plantations, saillies végétalisées et autres espaces verts au sein de la rue peuvent être fréquentés par les usagers désirant s'y reposer, jardiner ou même, dans les cas des jardins communautaires gratuits, cueillir les fruits qui y poussent (Ville de Montréal, 2014). Certains terre-pleins accueillent également des usages liés au transport (attente, déplacement).

3.2.3 Typologie des surfaces de rue

Un même type de surface de voirie peut accueillir différents types d'usagers. Une voie de circulation située sur une surface de type « chaussée », par exemple, peut accueillir non seulement des véhicules automobiles, mais également des véhicules de transport collectif, des cyclistes ou même des piétons, selon le contexte. Les marges, pour leur part, peuvent accueillir des usages liés à la dimension de lieu (marges résidentielles, commerciales, etc.), mais également à la dimension de lien (stationnement hors rue). Il importe donc de créer une classification des surfaces qui permette de représenter les multiples fonctions des surfaces de voirie et d'orienter le traitement et la fusion des différentes bases de données mobilisées dans le cadre du projet. La typologie présentée ci-dessous s'inspire de la classification de Gössling et al. (2016) et propose 14 types de surfaces de voirie représentant les modes et les combinaisons de modes les plus fréquentes au sein du territoire d'étude. Le tableau 3.3 détaille la fonction de chacun des types de surfaces. La section 3.2.5 détaille la méthode employée pour comptabiliser la superficie allouée à chacune des 14 catégories d'espace de voirie détaillées ci-dessus et présente une illustration de chacun des types de surfaces.

Tableau 3.3 Typologie des surfaces de voirie

Type de surface	Sigle	Description
Piétons	**[P]**edestrians	Trottoirs (excluant banquettes) et rues piétonnes
Cyclistes	**[C]**yclists	Pistes et bandes cyclables
Cyclistes (stationnement)	**[C]**yclist **[P]**arking	Supports à vélo et stations BIXI
Conducteurs	**[D]**rivers	Voies de circulation (excluant DT, CD et PCD)
Conducteurs (stationnement)	**[D]**river **[P]**arking	Espaces de la voie de rive ouverts au stationnement
Autres usages de la voie de rive	**[C]**urb **[S]**pace	Espaces de la voie de rive visés par des restrictions de stationnement (SRRR, livraisons, etc.)
Conducteurs et transport collectif	**[D]**rivers and **[T]**ransit	Voies de circulation comprenant un service de bus (excluant CD et PCD)
Transport collectif	**[T]**ransit	Voies réservées pour le transport collectif
Transport collectif (stationnement)	**[T]**ransit **[P]**arking	Portion de la chaussée réservée à un arrêt de bus
Cyclistes et conducteurs	**[C]**yclists and **[D]**rivers	Corridor de 1,5 mètre dans la voie la plus à droite sur les tronçons sans infrastructure cyclable dédiée
Piétons, cyclistes et conducteurs	**[P]**edestrians, **[C]**yclists and **[D]**rivers	Corridor de 1,5 mètre dans la voie la plus à droite sur les tronçons sans trottoir ni infrastructure cyclable dédiée
Terre-plein	**[M]**edian	Terre-plein
Banquette végétalisée	**[P]**lanted **[B]**uffer	Banquette de trottoir avec arbres
Banquette minéralisée	**[M]**ineral **[B]**uffer	Banquette de trottoir sans arbres

3.2.3.1 Variation longitudinale de l'allocation des surfaces de la rue

Tel que discuté à la section 2.1.4.2, la rue est un espace dynamique dont la fonction et l'allocation des surfaces varie au fil du temps. Des voies de stationnement peuvent être consacrées à la circulation automobile ou aux véhicules de TC en période de pointe, ou encore être réservées à différents usages non liés à la circulation (livraisons, stationnement réservé aux résidents, débarcadères, etc.). Des voies de circulation ou de stationnement peuvent être converties en pistes cyclables protégées durant la saison estivale, tandis que certaines chaussées peuvent être piétonnisées, partiellement ou entièrement, de manière ponctuelle ou saisonnière. Les marges, quant à elles, peuvent remplir des fonctions qui varient selon les heures d'ouverture des activités commerciales ou institutionnelles dont elles dépendent. À l'ère de la multiplication des modes de

transport, de la montée en popularité de la mobilité partagée et à l'aube de l'arrivée des flottes de véhicules autonomes, il est ainsi pertinent de proposer des manières de prendre la mesure de la flexibilité des espaces de voirie. Le chapitre 4 présente les indicateurs choisis pour mesurer la variabilité dans l'allocation des surfaces de la rue et analyse les facteurs corrélés à une forte variabilité.

3.2.4 Prétraitement de la base de données des actifs de voirie

Le principal jeu de données sur lequel se basent les analyses réalisées dans le cadre du présent projet est l'inventaire des actifs de voirie de la Ville de Montréal. Il s'agit d'une couche qui représente sous forme de polygones l'ensemble des surfaces de voirie situées sur le territoire de l'agglomération de Montréal. La base de données complète des actifs de voirie de la Ville de Montréal contient cinq grands types de surfaces : les chaussées, les îlots, les intersections, les trottoirs et les zones (voir figure 3.10). Ces surfaces peuvent ensuite être définies par plusieurs attributs, tel que détaillé à l'annexe A.

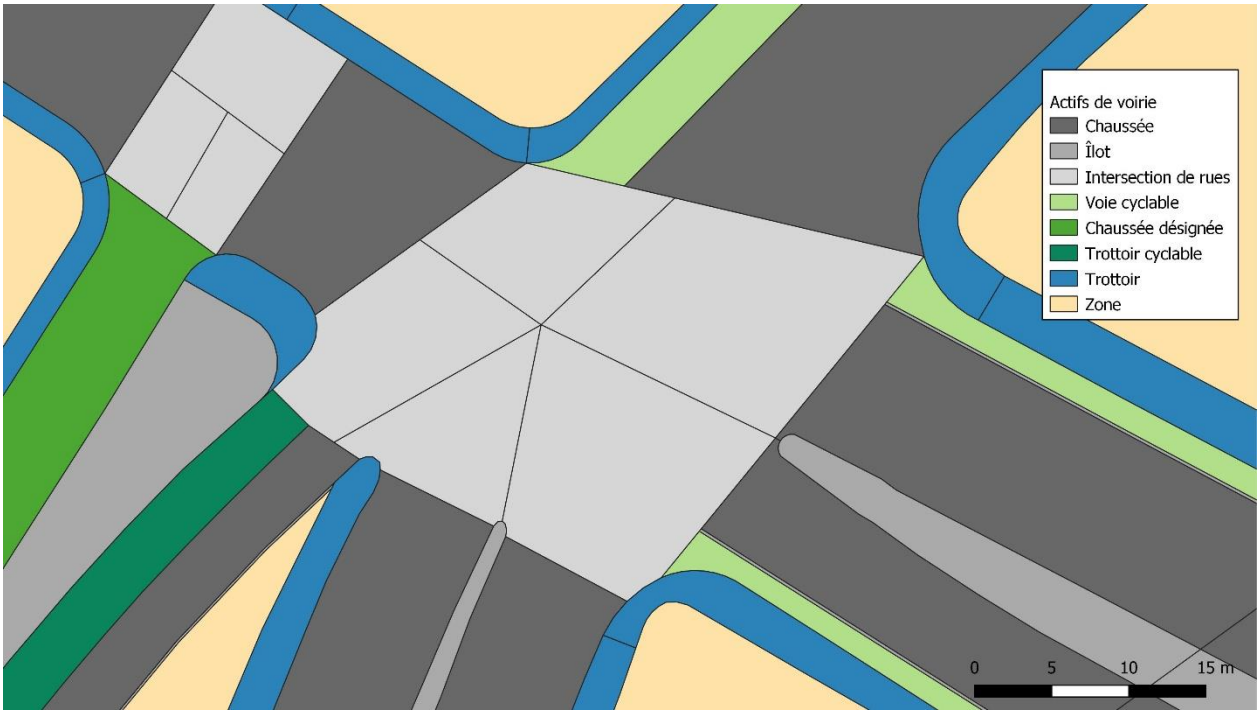


Figure 3.10 Exemples de surfaces répertoriés dans l'inventaire des actifs de voirie de la Ville de Montréal

3.2.4.1 Harmonisation terminologique et regroupement de catégories de surfaces

Les surfaces de types « îlot » correspondent aux terre-pleins et aux mails, conformément à la définition acceptée du terme dans le domaine du génie routier[29]. Pour leur part, les surfaces de type « zone » correspondent aux « régions situées entre les autres actifs de voirie et qui ne font pas partie du réseau routier local ou artériel » (Ville de Montréal, s. d.-a). Toutefois, le terme « zone » pose un problème en raison de sa polysémie, d'autant que ces zones peuvent aussi être nommées « îlots » si l'on emploie le vocabulaire technique du domaine de l'urbanisme[30].

Tableau 3.4 Classification simplifiée de l'inventaire des actifs de voirie

Classe originale	**Classe simplifiée**	**Classe originale**	**Classe simplifiée**
Accès - Passage de piétons avec feux de circulation	Intersection	Ruelle	Chaussée
Autoroute	Chaussée	Terre-plein central	Terre-plein
Autoroute accotement	Chaussée	Terre-plein central - autoroute	Terre-plein
Bordure	Terre-plein	Terre-plein latéral - autoroute	Terre-plein
Bordure - autoroute	Terre-plein	Terre-plein latéral - cyclable	Terre-plein
Bretelle	Chaussée	Terre-plein latéral - voirie	Terre-plein
Bretelle accotement	Chaussée	Traverse de piétons - vélo	Chaussée
Chaussée désignée	Chaussée	Trottoir	Trottoir
Îlot central	Terre-plein	Trottoir - autoroute	Trottoir
Îlot central giratoire	Terre-plein	Trottoir - Voie cyclable	Trottoir
Îlot déviateur	Terre-plein	Trottoir désigné	Trottoir
Îlot séparateur	Terre-plein	Voie cyclable - Bande cyclable	Cyclable
Intersection de rues	Intersection	Voie cyclable - Piste cyclable	Cyclable
Piste cyclable sans mail	Cyclable	Voie cyclable hors rue	Cyclable
Rue	Chaussée	Zone	Îlot

[29] Le Grand dictionnaire terminologique (GDT) de l'Office québécois de la langue française (OQLF) définit ainsi le terme « îlot » pour le domaine routier : « Espace aménagé entre les voies de trafic dont le rôle est de séparer ou de diriger des courants de circulation et de servir de refuge aux piétons » (OQLF, 2012a)

[30] Le GDT offre la définition suivante du terme « îlot » dans le domaine de l'urbanisme : « Espace limité par un réseau de voies de communication » (OQLF, 2012b)

Afin de clarifier la lecture, ces catégories sont donc renommées. Ainsi, pour le reste du présent document, le terme « terre-plein » désignera les surfaces catégorisées comme des « îlots » dans la base de données, c'est-à-dire au sens routier du terme, tandis que le terme « îlot » désignera plutôt les surfaces désignées comme « zones », c'est-à-dire au sens urbanistique du terme. De plus, certains types de surfaces sont regroupés afin de faciliter le traitement des données. Le tableau 3.4 présente les catégories originales et la typologie finale de surfaces de voirie.

3.2.4.2 Lien entre actifs de voirie et géobase

La version de la base de données des actifs de voirie disponible sur le portail des données ouvertes de la Ville de Montréal attribue un identifiant unique à chaque surface de voirie mais n'offre aucun identifiant commun permettant de regrouper les surfaces appartenant à un même tronçon de rue. Cet attribut, à savoir l'identifiant de tronçon relié à la géobase linéaire, n'est pas rendu public, et ce, même si les deux jeux de données sont disponibles en format ouvert. Une entente de partage de données a donc été conclue avec la Ville de Montréal afin d'obtenir une version de l'inventaire des actifs de voirie contenant l'identifiant du tronçon de géobase auquel se rattache chaque surface de voirie. Cela permet de regrouper les objets appartenant au même tronçon de rue et de faciliter la fusion avec d'autres ensembles de données. La version de référence de la géobase correspondante a également été fournie par la Ville.

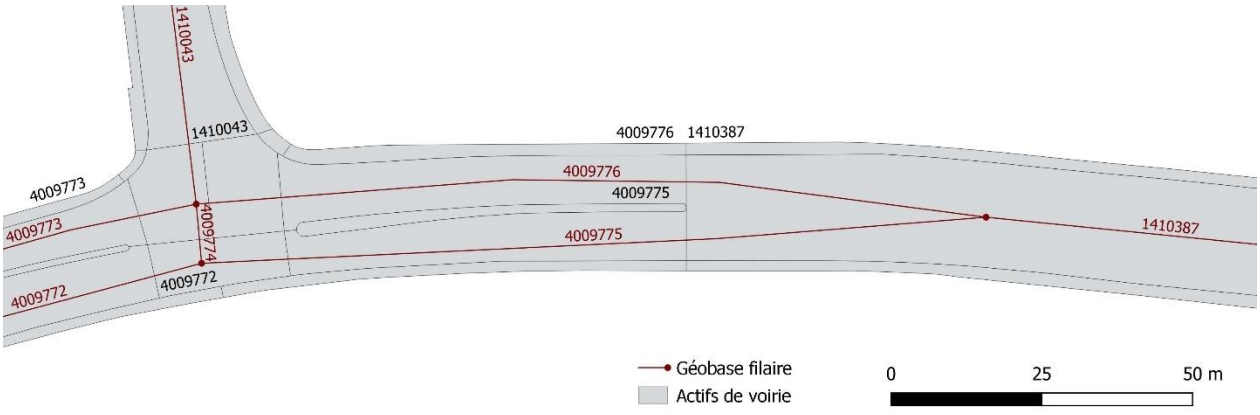


Figure 3.11 Lien entre la géobase linéaire et l'inventaire des actifs de voirie à travers l'identifiant de tronçon

Toutefois, la géobase de la Ville de Montréal faisait l'objet, lors de l'acquisition des données, d'une refonte de la codification de certains liens. L'inventaire des actifs de voirie étant mis à jour en fonction des modifications apportées à la géobase, il peut donc exister un écart entre les deux jeux

de données à un instant donné. Ainsi, dans les données reçues, un total de 3 726 surfaces de voirie du territoire d'étude (4,7 %) étaient associées à des identifiants de tronçon n'existant pas dans la géobase. Un examen de ces situations révèle qu'elles se produisent dans la plupart des cas sur des tronçons passant au-dessous ou au-dessus d'autres tronçons (bretelles d'autoroutes, passages inférieurs, etc.). L'attribution de l'identifiant de tronçon le plus près permet de corriger la situation dans 3 288 cas, ce qui laisse 438 surfaces de voirie sans correspondance, soit 0,6 % des surfaces de voirie du territoire d'étude.

3.2.4.3 Traitement des terre-pleins

Lorsqu'elles constituent la séparation entre plusieurs tronçons de géobase adjacents, les surfaces de type terre-plein sont associées à plusieurs tronçons. Afin de ne pas les dédoubler ou les affecter arbitrairement à un tronçon, ce type de terre-plein est tout simplement ignoré. Seuls les terre-pleins séparant deux surfaces au sein d'un même tronçon (les mails de béton séparant une piste cyclable des voies de circulation, par exemple) sont conservés.

3.2.4.4 Retrait des intersections

Les surfaces de type intersection sont retirées de la base de données des actifs de voirie, puisqu'elles appartiennent à plusieurs tronçons de rues et que, contrairement aux autres surfaces, leur allocation est par définition plus complexe étant donné que plusieurs modes s'y croisent sans marquage. En effet, dans le contexte montréalais, le marquage des chaussées consacrées aux cyclistes (pistes et bandes cyclables) et aux autobus (voies réservées) disparaît dans les intersections – il est parfois remplacé par une série de chevrons dans le cas des voies cyclables. Pour sa part, le marquage des divers types de passages piétons n'est répertorié dans aucune base de données accessible. Ainsi, il a été jugé impossible de représenter fidèlement l'allocation des espaces au sein des intersections. Par ailleurs, tout traitement d'une intersection résulte nécessairement de l'allocation des espaces de voirie des tronçons qui s'y rencontre : une intersection ne contiendra aucun passage piéton si aucun des tronçons qui s'y croisent ne comporte de trottoir. L'analyse des seuls tronçons de rues offre donc un portrait suffisamment précis du partage de la rue pour les fins des présents travaux.

3.2.4.5 Base de données finale

Une fois les étapes de prétraitement terminées, la base de données finale contient 67 809 surfaces de voirie regroupées en 21 638 tronçons de rues au sein du territoire d'étude.

3.2.5 Calcul de l'allocation de la voirie selon la période

Une même surface de voirie peut être allouée à un type d'usage différent selon l'heure, le jour ou le mois. De plus, au sein d'une même surface de voirie telle que définie dans l'inventaire des actifs de voirie, on peut retrouver plusieurs voies ou zones, chacune allouée à un type d'usage différent. Afin de détecter la superficie allouée à chacun des 14 types de surfaces de voirie proposés (voir tableau 3.3) pour chaque période possible d'une année de référence, différents jeux de données doivent être fusionnés à l'inventaire des actifs de voirie. Le tableau 3.5 détaille les données employées pour détecter chacun des types de surfaces. Pour chacune des 17 520 périodes d'une demi-heure[31] de l'année de référence 2018, il devient ainsi possible de déterminer précisément la superficie allouée à chacun des types de surfaces pour chaque tronçon de rue du territoire d'étude.

[31] 365 jours × 24 heures × 2 demi-heures

Tableau 3.5 Données utilisées pour identifier chacun des types de surfaces de voirie

Type de surface	**Description**
Piétons **[P]**	• Inventaire des actifs de voirie
Cyclistes **[C]**	• Inventaire des actifs de voirie • Réseau cyclable linéaire
Cyclistes (stationnement) **[CP]**	• Arceaux à vélo • Stations BIXI
Conducteurs **[D]**	• Inventaire des actifs de voirie • Géobase, réseau AIMSUN, Adresses Québec
Conducteurs (stationnement) **[DP]**	• Inventaire des actifs de voirie • Géobase, réseau AIMSUN, Adresses Québec • Signalisation de stationnement
Autres usages de la voie de rive **[CS]**	• Inventaire des actifs de voirie • Géobase, réseau AIMSUN, Adresses Québec • Signalisation de stationnement
Conducteurs et transport collectif **[DT]**	• Inventaire des actifs de voirie • Géobase, réseau AIMSUN, Adresses Québec • Inventaire des voies réservées
Transport collectif **[T]**	• Inventaire des actifs de voirie • Géobase, réseau AIMSUN, Adresses Québec • Inventaire des voies réservées
Transport collectif (stationnement) **[TP]**	• GTFS • Signalisation de stationnement
Cyclistes et conducteurs **[CD]**	• Inventaire des actifs de voirie • Géobase, réseau AIMSUN, Adresses Québec
Piétons, cyclistes et conducteurs **[PCD]**	• Inventaire des actifs de voirie • Géobase, réseau AIMSUN, Adresses Québec
Terre-plein **[M]**	• Inventaire des actifs de voirie
Banquette végétalisée **[PB]**	• Inventaire des actifs de voirie • Arbres publics
Banquette minéralisée **[MB]**	• Inventaire des actifs de voirie • Signalisation de stationnement

3.2.5.1 Construction d'un vecteur d'attributs pour chaque surface de voirie

La présente section détaille les opérations permettant de construire le vecteur d'attributs de chacune des quatre catégories de surfaces considérées dans l'inventaire des actifs de voirie : le trottoir, la voie cyclable, la chaussée et le terre-plein.

3.2.5.1.1 Trottoirs

Les surfaces identifiées comme trottoirs dans l'inventaire des actifs de voirie sont divisées en deux : le corridor piéton et la banquette. Le corridor piéton correspond à la section du trottoir où les piétons peuvent cheminer sans entrave, tandis que la banquette correspond à la section du trottoir où sont localisés le mobilier urbain, les arbres et les divers poteaux.

Pour détecter les trottoirs comportant une banquette, une jointure spatiale est effectuée entre les surfaces de trottoirs et les jeux de données ponctuels représentant les poteaux de signalisation et les arbres publics. Si un arbre public est détecté sur un trottoir, une surface équivalente au tiers[32] de la superficie du trottoir est retranchée, du côté adjacent à la chaussée, et classée comme une banquette végétalisée [**PB**]. Si on détecte seulement des poteaux de signalisation, la même superficie est extraite du trottoir mais est plutôt classée comme une banquette minéralisée [**MB**]. La surface restante, qui correspond au corridor piéton, est classée comme une surface piétonne [**P**].

En cas de présence d'un support à vélo[33] sur le trottoir, une superficie correspondant à 0,75 m² par place (selon l'attribut de capacité du support) est retranchée de la surface où il se trouve (banquette ou corridor piéton) et allouée au stationnement cycliste [**CP**].

Un exemple est illustré à la figure 3.12. Puisque l'allocation des trottoirs ne varie pas dans le temps, ces valeurs sont constantes pour toute l'année de référence.

[32] Cette valeur est dérivée d'observations réalisées à l'aide d'images satellites et correspond à la largeur moyenne de la banquette dans un échantillon aléatoire de rues observées sur le territoire d'étude. Une estimation plus précise et adaptée aux caractéristiques de chaque tronçon nécessiterait une localisation plus exacte des points dans les jeux de données des arbres publics et de la signalisation, ainsi qu'une information sur la largeur des fosses de plantation des arbres publics.

[33] Il est à noter que le jeu de données des supports à vélo n'a pas été mis à jour depuis 2016 et offre, selon les discussions disponibles sur le portail de données ouvertes de la Ville de Montréal (Ville de Montréal, s. d.-b), une représentation tronquée du réel inventaire de supports à vélo présents dans le territoire d'étude.

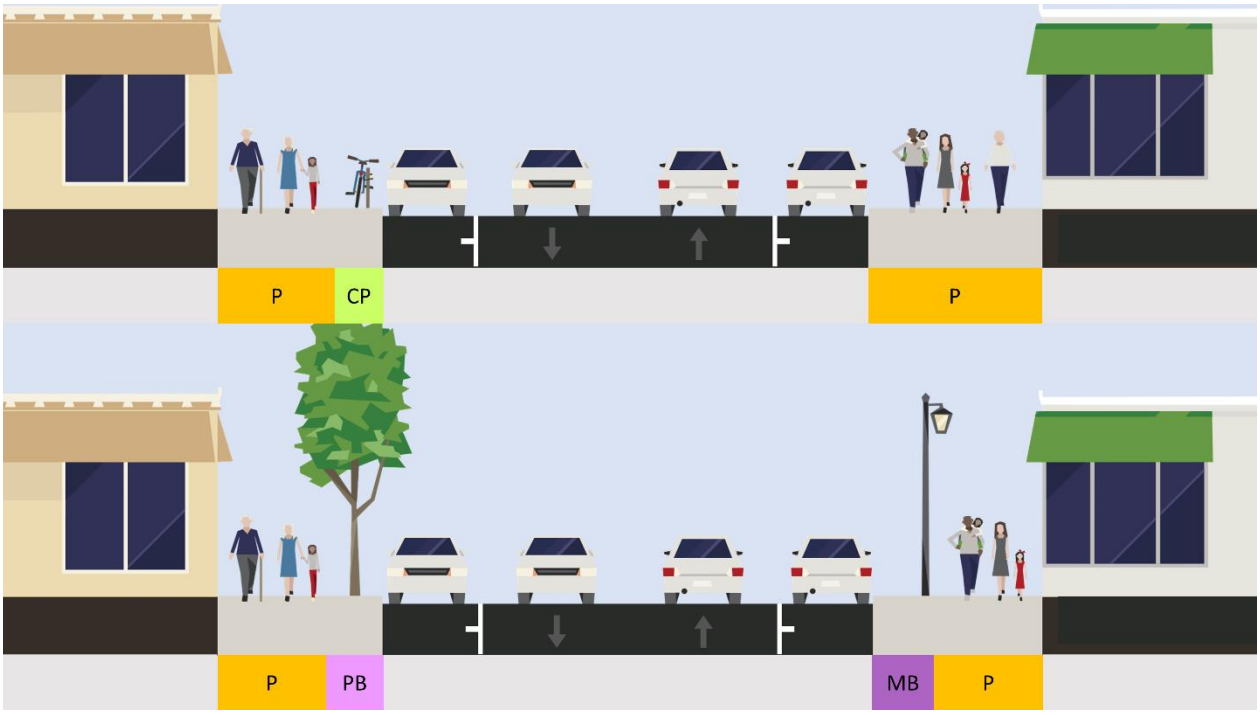


Figure 3.12 Illustration des types de surfaces de voirie possibles pour les actifs de type trottoir (créé avec Streetmix, CC BY-SA 4.0)

3.2.5.1.2 Voies cyclables

Toutes les surfaces identifiées comme des voies cyclables, à l'exception des trottoirs cyclables et des chaussées désignées, sont considérées comme des surfaces allouées aux cyclistes [**C**] pour leur période d'ouverture – toute l'année pour les voies cyclables appartenant au réseau cyclable quatre saisons et du 1er avril au 15 novembre pour les autres. Les paramètres d'ouverture sont tirés du réseau cyclable linéaire de la Ville de Montréal, qui est associé aux tronçons de rues du territoire d'étude à l'aide d'une jointure spatiale. Puisque l'inventaire des actifs de voirie n'inclut pas les voies cyclables situées hors-voirie, mais dans les limites de la rue telle que définie pour les fins des présents travaux (voir figure 3.14), des surfaces cyclables hors-voirie sont créées à partir du réseau linéaire en employant une largeur standard de 1,5 mètre par direction.

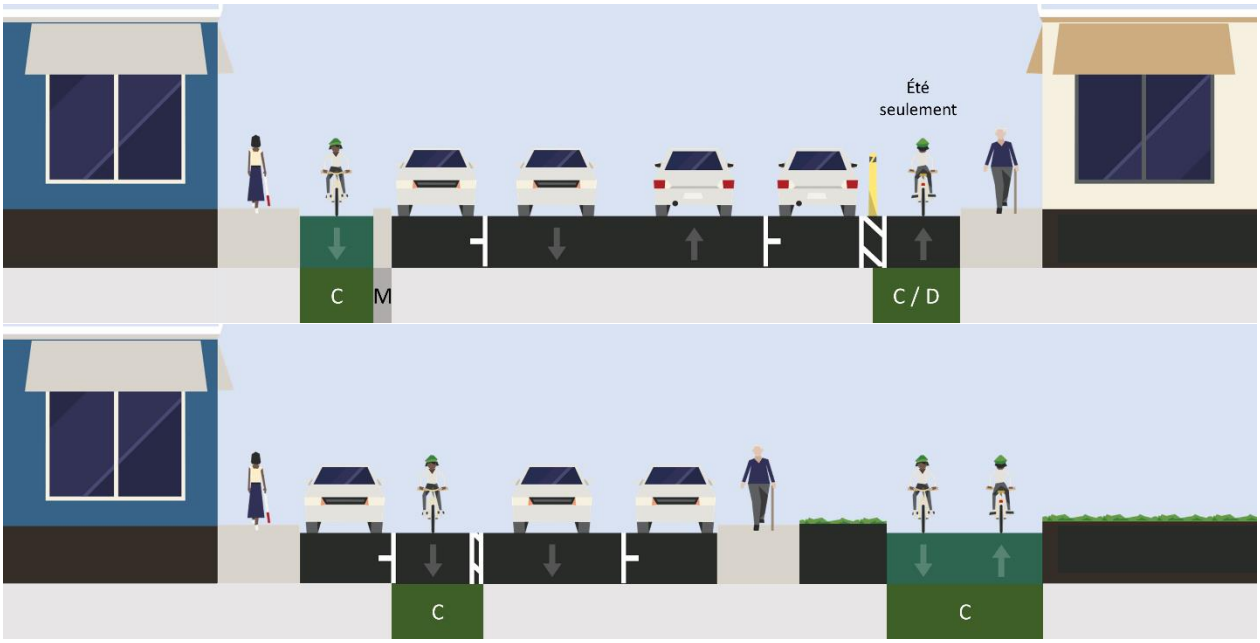


Figure 3.13 Illustration des types de surfaces de voirie possibles pour les actifs de type voie cyclable (créé avec Streetmix, CC BY-SA 4.0)

Les chaussées désignées ne sont pas comptées comme des surfaces exclusivement cyclables puisqu'il s'agit de surfaces qui sont partagées entre cyclistes et automobilistes. Ce type de surface est traité à la section 3.2.5.1.3 ci-dessous.

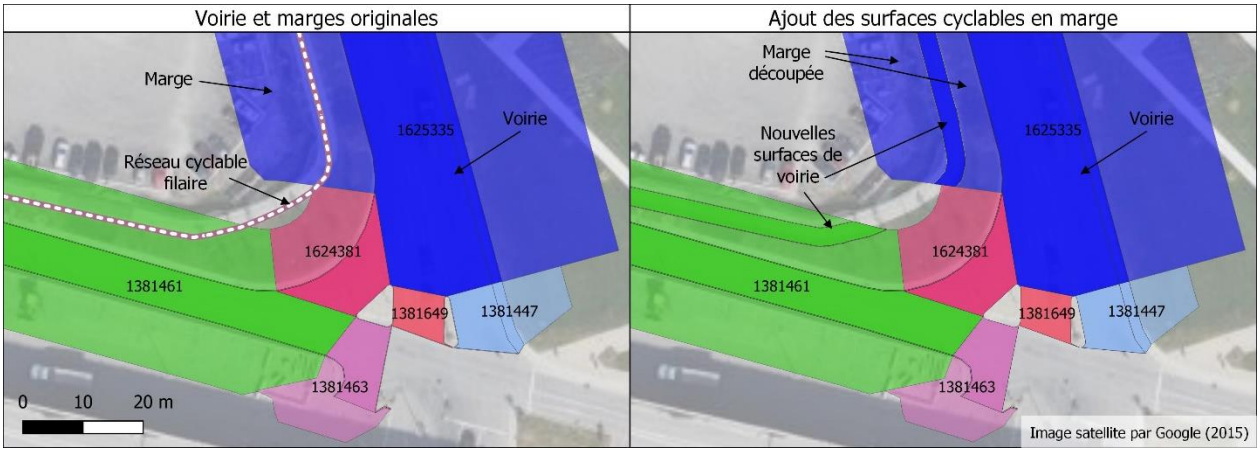


Figure 3.14 Construction des surfaces de voirie cyclables situées en marge

Un vecteur est donc construit pour chaque surface cyclable qui indique, pour chacune des 17 520 périodes de l'année, si la voie cyclable est ouverte ou fermée, ainsi que son utilisation alternative (circulation, stationnement ou autre).

3.2.5.1.3 Chaussées

Un vecteur déterminant les paramètres d'allocation de chaque surface de voirie est construit à l'aide de plusieurs manipulations.

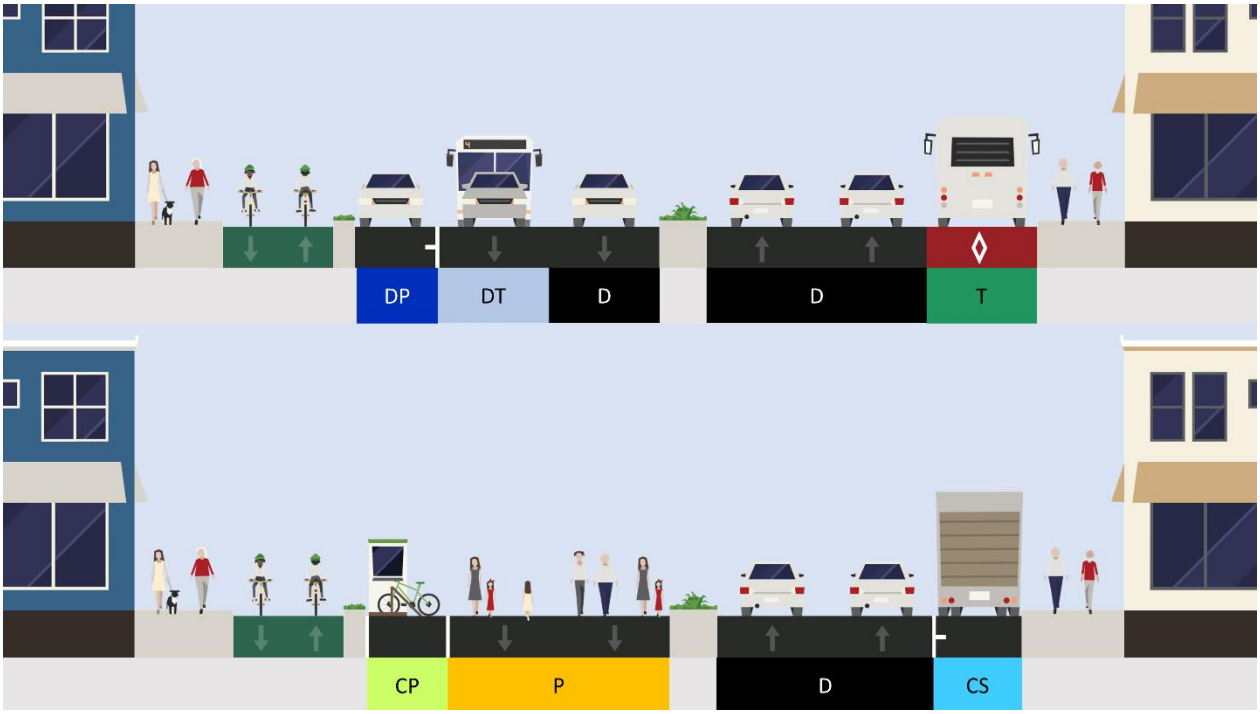


Figure 3.15 Illustration des types de surfaces de voirie possibles pour les actifs de type chaussée en présence d'une infrastructure cyclable dédiée et d'une chaussée piétonne (créé avec Streetmix, CC BY-SA 4.0)

3.2.5.1.3.1 Signalisation de stationnement

Les données de signalisation de stationnement sont associées aux tronçons de géobase en utilisant une méthode basée sur les travaux de Bourdeau (2014). Une bordure de chaussée synthétique est créée en effectuant un décalage géométrique de 5 mètres de part et d'autre de la géométrie de géobase à l'aide de la fonction *ST_OffsetCurve*. Les poteaux de signalisation situés sur une surface de voirie appartenant à un tronçon sont rapportés à la bordure de chaussée la plus près tel qu'illustré à la figure 3.16. À l'aide des attributs des panneaux de signalisation (permission ou interdiction, paramètres horaires, véhicules permis ou interdits et direction d'application des règlements codifiés), un vecteur résumant les paramètres de stationnement pour l'ensemble des 17 520 périodes est construit pour chaque section de bordure de chaussée. Les panneaux relatifs aux

interdictions de stationnement pour nettoyage sont exclus puisqu'il ne s'agit pas d'interdictions ayant un effet sur la circulation en soi.

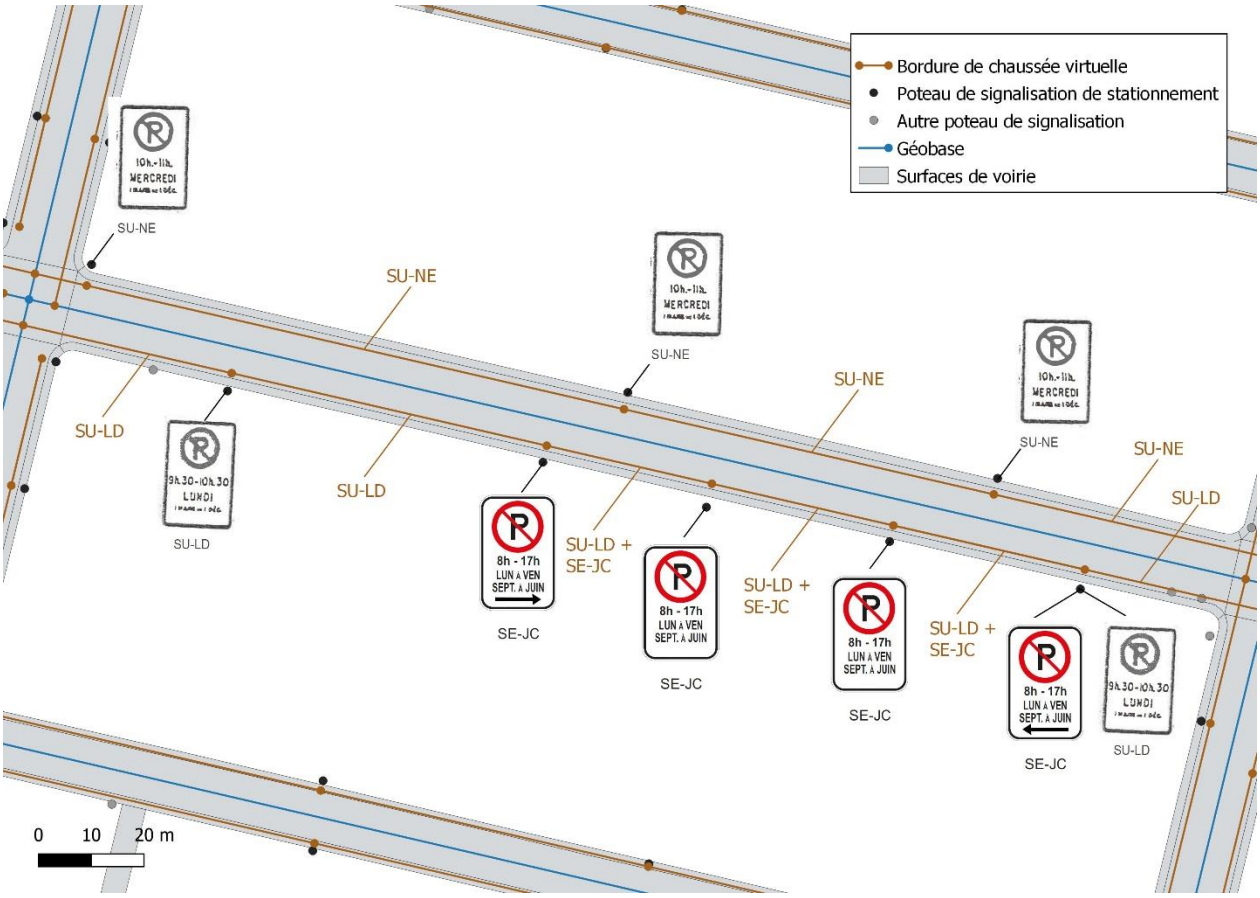


Figure 3.16 Association des paramètres du stationnement sur rue aux bordures de chaussée (panneaux reproduits depuis Ville de Montréal, 2015)

Ainsi, il est possible d'identifier le nombre de voies de stationnement pour chaque tronçon, c'est-à-dire le nombre de bordures de chaussée (sur un maximum de deux) où le stationnement est permis durant au moins une période durant l'année de référence. La base de données de signalisation contient également les panneaux indiquant la présence d'un arrêt de bus sur une partie de la bordure de chaussée, information qui est complétée à l'aide de la table *stops* des flux GTFS des différents opérateurs de la région de Montréal. En utilisant une longueur moyenne de 6 mètres par place de stationnement, il est ainsi possible de détecter 522 501 places de stationnement lors de la première période de l'année de référence (1er janvier 2018, minuit).

3.2.5.1.3.2 Voies réservées au transport collectif

La présence d'une voie réservée est détectée à l'aide d'une jointure spatiale entre les polygones des surfaces de voirie et la géométrie linéaire des inventaires de mesures préférentielles pour bus du MTQ, de la STM et d'exo. Les voies réservées mises en place entre la production du jeu de données et l'année de référence du projet (2018) sont ajoutées à la main à l'aide d'informations fournies par le MTQ. Pour chaque direction, un vecteur annuel d'activité est construit à partir des attributs des données de base. La position de la voie réservée (voie de gauche, voie de droite, voie centrale ou voie de stationnement) est également notée.

3.2.5.1.3.3 Rues piétonnes

La présence d'une rue piétonne est détectée à l'aide d'une jointure spatiale entre les surfaces de voirie et l'inventaire des rues piétonnes et partagées. Les données représentant les rues piétonnes étant fournies sous forme ponctuelles, avec un seul point par projet même si celui-ci couvre plusieurs tronçons de rues, un jeu de données linéaire est construit manuellement. Les rues piétonnes mises en place entre la production du jeu de données et l'année de référence du projet (2018) sont ajoutées à la main à l'aide d'informations obtenues sur différentes sections du site Web de la Ville de Montréal. Un vecteur d'activité annuel est construit pour chaque tronçon de rue piétonne en fonction des attributs de date de début et de fin du projet. Les paramètres de piétonnisation sont également notés : piétonnisation complète, piétonnisation d'une seule voie par direction ou piétonnisation de toute la chaussée excepté une voie par direction.

3.2.5.1.3.4 Stations BIXI

La présence d'une station BIXI est détectée à l'aide d'une jointure spatiale entre les polygones des surfaces de voirie et la géométrie ponctuelle des stations. Toutefois, la codification géographique des stations n'est pas suffisamment précise pour déterminer la localisation exacte de la station (sur marge, sur trottoir ou en voie de stationnement). Pour les fins des présents calculs, toutes les stations BIXI sont considérées comme étant situées dans la voie de stationnement la plus près de la géométrie de la station. Si une rue ne compte pas de voie de stationnement, la station est

simplement éliminée de la base de données[34]. Un vecteur d'activité annuel est construit à l'aide des dates d'opération du système BIXI pour l'année 2018, c'est-à-dire du 10 avril au 15 novembre 2018. La longueur de chaque station est estimée à l'aide d'une valeur de 0,75 m par ancrage.

3.2.5.1.3.5 Surfaces partagées entre conducteurs et autres modes

Contrairement à d'autres types de surfaces de voirie, les voies de circulation ne sont pas allouées exclusivement à un seul mode. Par exemple, selon le Code de la sécurité routière, les cyclistes peuvent circuler sur toute voie de circulation automobile dont la limite de vitesse est inférieure ou égale à 90 km/h, sauf signalisation contraire. Les piétons peuvent aussi emprunter la chaussée en l'absence d'un trottoir accessible. Les autobus circulent également sur les voies de circulation en l'absence d'infrastructures dédiées.

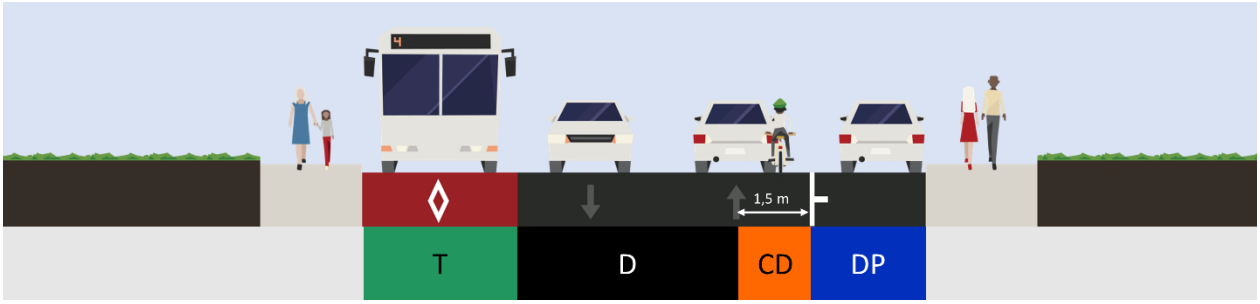


Figure 3.17 Illustration de la détection d'une surface de type chaussée partagée entre conducteurs et cyclistes (créé avec Streetmix, CC BY-SA 4.0)

Ainsi, pour chaque tronçon, un attribut est calculé pour identifier ces trois situations. Sur les rues où passe un circuit d'autobus, une voie par direction est considérée comme partagée entre autobus et conducteurs [**DT**] (voir figure 3.15). Ces valeurs peuvent varier en fonction des paramètres d'activité des voies cyclables et des voies réservées au transport collectif. En l'absence d'une infrastructure cyclable dédiée, une zone d'une largeur de 1,5 m par direction est considérée comme étant ouverte à la fois aux cyclistes et aux automobilistes [**CD**] (voir figure 3.17). Sur les rues sans trottoirs, cette zone est également considérée comme ouverte aux piétons [**PCD**]. Il est à noter qu'en vertu du Code de la sécurité routière (CSR) (Gouvernement du Québec, s. d.), la présence

[34] Cela concerne un total de 35 stations, c'est-à-dire 6 % des stations du territoire d'étude. Il a donc été jugé peu utile de développer des méthodes d'allocation des stations aux autres types de surfaces.

d'une voie réservée au transport collectif interdit *de facto* la circulation des cyclistes puisque ceux-ci ne peuvent y rouler à moins d'une signalisation le permettant expressément. Cependant, les cyclistes ne peuvent pas non plus emprunter les autres voies puisqu'ils doivent rouler à l'extrême droite de la chaussée. Aucune zone de type CD ou PCD n'est donc détectée en présence d'une voie réservée active.

Un critère de confort cyclable est également utilisé afin d'éviter de détecter des voies de type CD ou PCD sur des tronçons de rues où peu de cyclistes seraient disposés à circuler. Afin d'identifier les tronçons de rues inhospitaliers pour les cyclistes, une version simplifiée des critères de stress cyclable (« *level of traffic stress* » ou LTS) développés par Furth et al. (2016) sont employés. Le niveau 3 de l'échelle du LTS est choisi puisqu'il représente un niveau de stress qui convient aux cyclistes de type « enthousiastes et confiants », c'est-à-dire les cyclistes qui tolèrent un certain niveau d'insécurité mais qui préfèrent néanmoins utiliser les infrastructures cyclables lorsqu'elles existent (Geller, 2006).. Ainsi, les rues qui dépassent le LTS 3 ne sont pas considérées comme permettant la circulation combinée des cyclistes et des automobilistes. Les critères simplifiés d'évaluation du LTS 3 sont présentés au tableau 3.6.

Tableau 3.6 Seuils maximaux pour respecter les critères simplifiés du LTS 3

Classe fonctionnelle du tronçon	**Voies par direction**	**Limite de vitesse affichée**
Local	s.o.	50 km/h
Collecteur ou artériel	1	50 km/h
Collecteur ou artériel	2	40 km/h

3.2.5.1.4 Terre-pleins

Aucun traitement particulier n'est appliqué aux surfaces classées comme terre-pleins; elles sont directement catégorisées comme telles [**M**] dans la classification finale. Tel que précisé à la section 3.2.1.1, les terre-pleins médians séparant deux tronçons de géobase ne sont pas inclus dans cette catégorie (voir figure 3.15).

3.2.5.2 Calcul du nombre de voies de circulation

Tout d'abord, le nombre de voies (circulation et stationnement confondus) est déterminé à l'aide du réseau linéaire extrait du modèle de microsimulation AIMSUN. Celui-ci contient le nombre de voies total pour les rues du réseau autoroutier, artériel et collecteur de l'agglomération de Montréal. Les sections AIMSUN sont associées aux surfaces de voirie à l'aide d'une jointure spatiale et leurs

attributs sont agrégés à l'échelle du tronçon de géobase (voir figure 3.18). Pour les tronçons ne comptant aucune information, le nombre de voies est tiré du réseau routier AQPro de la base de données Adresses Québec. Les tronçons ne pouvant être associés ni au réseau AIMSUN, ni au réseau AQPro se voient attribuer les propriétés du tronçon de géobase qui les précèdent ou les suivent ou, en dernier recours, une valeur par défaut d'une voie par direction.

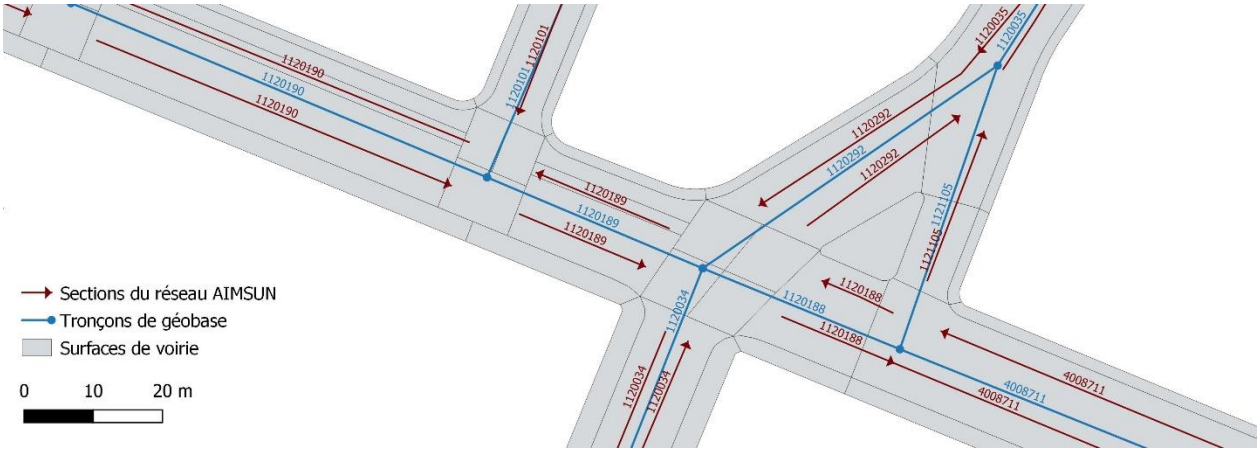


Figure 3.18 Sections du réseau AIMSUN et tronçons de géobase

Les surfaces de chaussée sont classées en 4 catégories en fonction de leur position sur la voirie, à savoir s'il s'agit d'une chaussée centrale, gauche, droite ou unique (voir figure 3.19). Un nombre de voies de circulation et de stationnement est ensuite calculé en fonction de la position de la chaussée : une surface de type centrale ne peut par exemple accueillir aucune voie de circulation.



Figure 3.19 Position de la surface de chaussée selon le type de tronçon de rue

3.2.5.3 Subdivision des tronçons en segments

Afin de tenir compte de la variation de l'allocation de l'espace au sein d'un même tronçon de rue, chaque tronçon de géobase est subdivisé en segments de 3 mètres. Cette valeur est un compromis permettant de minimiser le nombre de lignes de la base de données finale tout en captant les variations fines de l'allocation des surfaces de voirie, notamment les variations liées au stationnement sur rue ne concernant qu'une place. Un axe perpendiculaire à la géométrie de la géobase est ensuite tracé, tel qu'illustré à la figure 3.20, afin de réaliser une coupe transversale des surfaces de voirie et de marge.

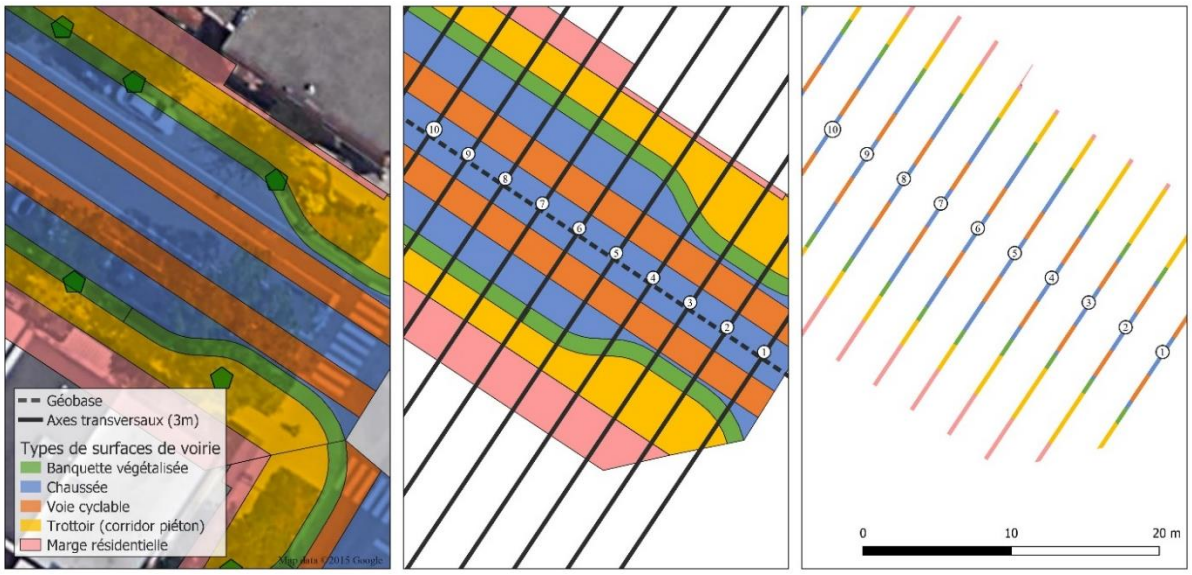


Figure 3.20 Découpage d'un tronçon de rue en segments et mesure de la largeur de chaque surface pour chaque segment (adapté de Lefebvre-Ropars et al., 2021b)

Cela permet de calculer, pour chacune de ces coupes transversales, la largeur allouée à chaque type de surface pour chaque période de l'année en fonction des vecteurs d'attributs construits précédemment. Cette valeur est multipliée par 3 pour obtenir une estimation de la superficie de chaque segment de tronçon.

3.2.5.4 Calcul de l'allocation de l'espace de voirie pour chaque période de l'année

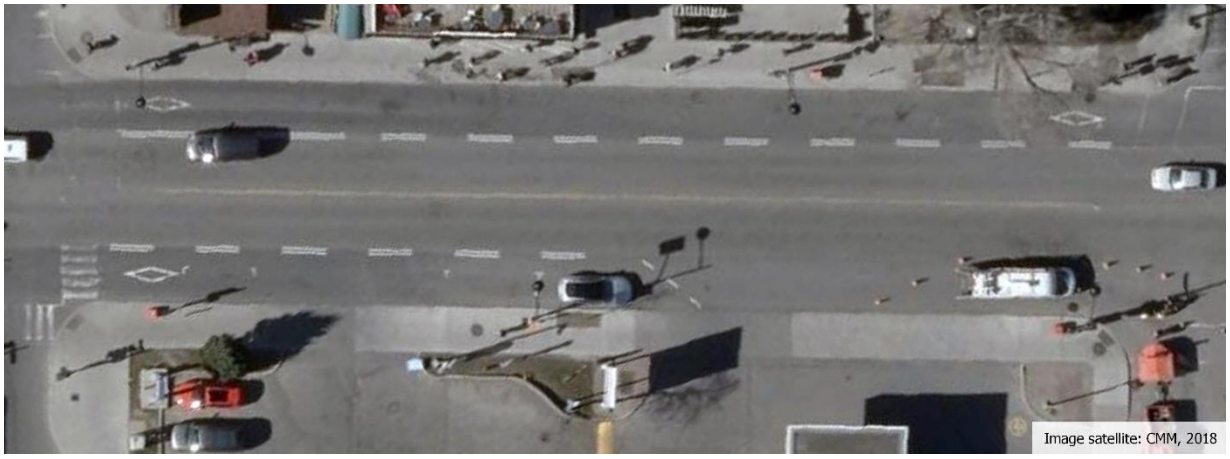
Pour chaque segment de tronçon, une série d'opérations permet de déterminer l'allocation de chaque voie pour chaque période en fonction du vecteur d'attributs construit aux étapes précédentes. En cas de fonctions concurrentes, l'ordre de priorité présenté au tableau 3.7 est appliqué. Cette étape est nécessaire afin d'éviter les erreurs engendrées par les incohérences entre

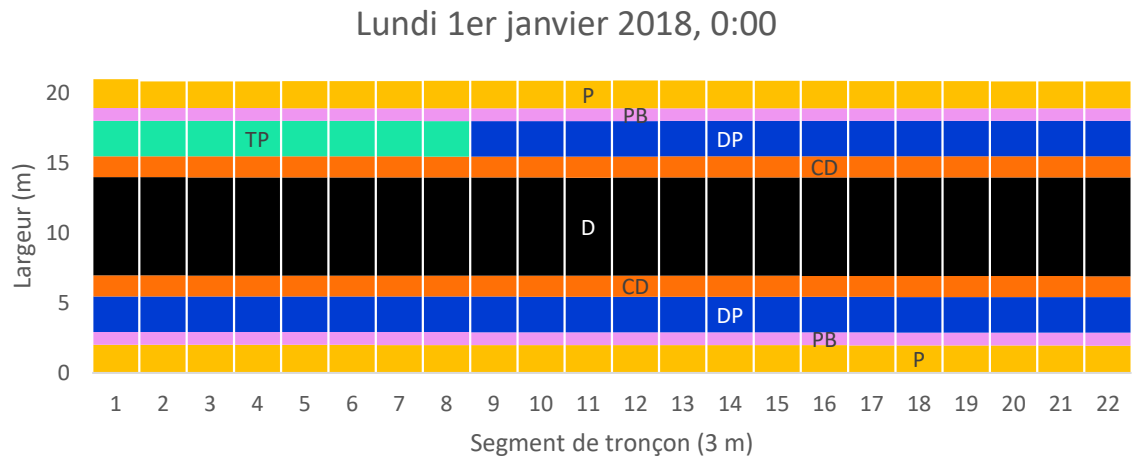
les différents jeux de données fusionnés. L'ordre découle d'une priorisation logique des usages de la chaussée validée par des observations ciblées à l'échelle du territoire d'étude. Par exemple, en cas de piétonnisation, toutes les surfaces de chaussée deviennent piétonnes, peu importe leurs autres fonctions. En cas de présence d'une station BIXI, son emprise n'est pas utilisée pour le stationnement des véhicules. En cas d'ouverture d'une voie de stationnement à la circulation en période de pointe, la détection d'une station BIXI dans cette même voie est vraisemblablement due à une erreur de géoréférencement.

Tableau 3.7 Priorité de détection des fonctions de la chaussée

Fonction	**Priorité**
Rue piétonne active [**P**]	7
Voie réservée active [**T**]	6
Voie stationnement ouverte à la circulation [**D**]	5
Station BIXI active [**CP**]	4
Arrêt de bus [**TP**]	3
Voie de stationnement régulière active [**DP**]	2
Autre usage de la voie de rive actif [**CS**]	1
Circulation [**D**]	0

La somme de l'allocation de chaque fonction pour chaque segment de tronçon est ensuite calculée pour constituer un vecteur de dimension 14*17 520 représentant la superficie allouée à chacun des 14 types de voirie pour chacune des 17 520 périodes de l'année. La figure 3.21 illustre le résultat de la mesure de l'allocation des surfaces de voirie selon le type d'usage pour un même tronçon de rue à deux moments différents de la journée.





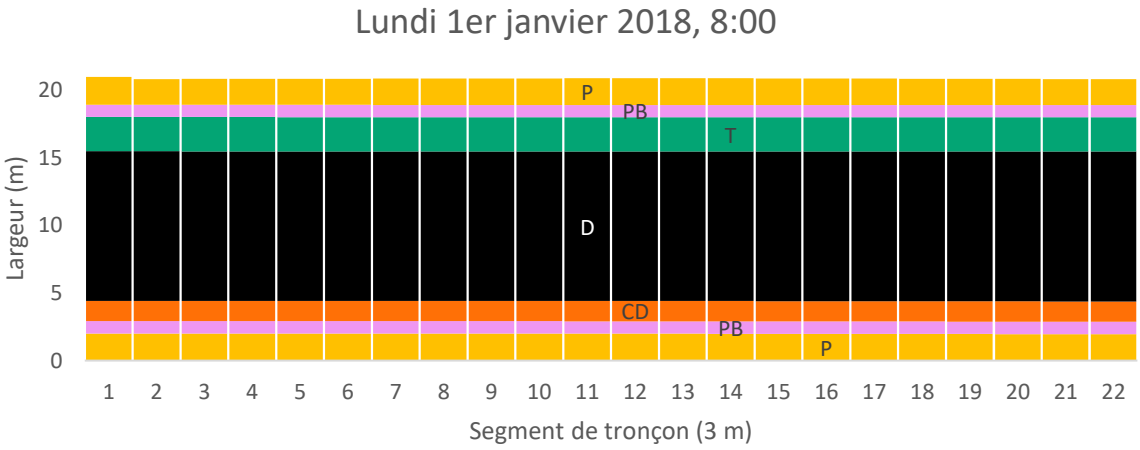


Figure 3.21 Allocation des surfaces de voirie selon le type d'usage et le moment de la journée, chemin de la Côte-des-Neiges entre le boulevard Édouard-Montpetit et l'avenue Lacombe, arrondissement de Côte-des-Neiges–Notre-Dame-de-Grâce

3.2.6 Construction des marges

Tel que défini à la section 3.2.2, la rue est composée de la voirie, c'est-à-dire l'espace lié au mouvement des personnes et des biens, et des marges, constituées de l'espace situé entre la voirie et les bâtiments qui bordent la rue. Si les données de base répertorient toutes les surfaces liées à la voirie, plusieurs traitements sont nécessaires afin de créer des surfaces correspondant aux marges telles que définies.

La méthode retenue est celle de la détection du squelette de la rue (« *streetscape skeleton* ») proposée par Harvey et al. (2017). La marge est donc définie comme l'espace situé entre la voirie et le front bâti moyen, tel qu'illustré à la figure 3.9. Afin de pouvoir connaître l'utilisation du sol associée aux marges d'un tronçon, les données d'utilisation du sol issues du rôle d'évaluation foncière du MAMH sont associées aux limites géographiques des parcelles du MERN à l'aide d'attributs communs. Les parcelles, pour leur part, sont associées aux marges à l'aide d'une jointure spatiale.

3.2.6.1 Construction des marges

Les bâtiments sont issus de trois jeux de données différents :

- L'empreinte des bâtiments numérisés par la Ville de Montréal dans certains arrondissements;
- L'empreinte des bâtiments numérisés par les contributeurs d'OpenStreetMap;
- L'empreinte des bâtiments dérivées de l'indice canopée de la CMM.

Les données de la Ville de Montréal sont privilégiées puisqu'elles sont numérisées par des professionnels en géomatique à l'aide d'images aériennes stéréoscopiques. Il s'agit donc du jeu de données possédant le plus grand niveau de précision. Ce jeu de données couvre 7 arrondissements (Ahuntsic-Cartierville, Côte-des-Neiges–Notre-Dame-de-Grâce, Outremont, Le Plateau-Mont-Royal, Rosemont–La Petite-Patrie, Le Sud-Ouest et Ville-Marie).

En l'absence de ces données, les polygones des bâtiments sont extraits d'OpenStreetMap, une base de données collaborative dont le niveau de précision a été considéré suffisant à la suite de validations visuelles dans différents secteurs du territoire d'étude. Lorsqu'aucune donnée issue

d'OpenStreetMap n'est disponible, l'empreinte des bâtiments est estimée à l'aide des surfaces minéralisées présentes dans la base de données de l'indice canopée métropolitain de la CMM.



Figure 3.22 Catégorisation des surfaces selon l'indice canopée métropolitain de la CMM

Les surfaces de plus de 15 m² classées « minéral – haut » par l'indice canopée de la CMM sont lissées à l'aide de l'algorithme de la fonction *ST_ChaikinSmoothing* et sont employées afin de représenter les bâtiments sur les îlots où aucun bâtiment n'est présent dans les données d'OpenStreetMap ou de la Ville (voir figure 3.23).

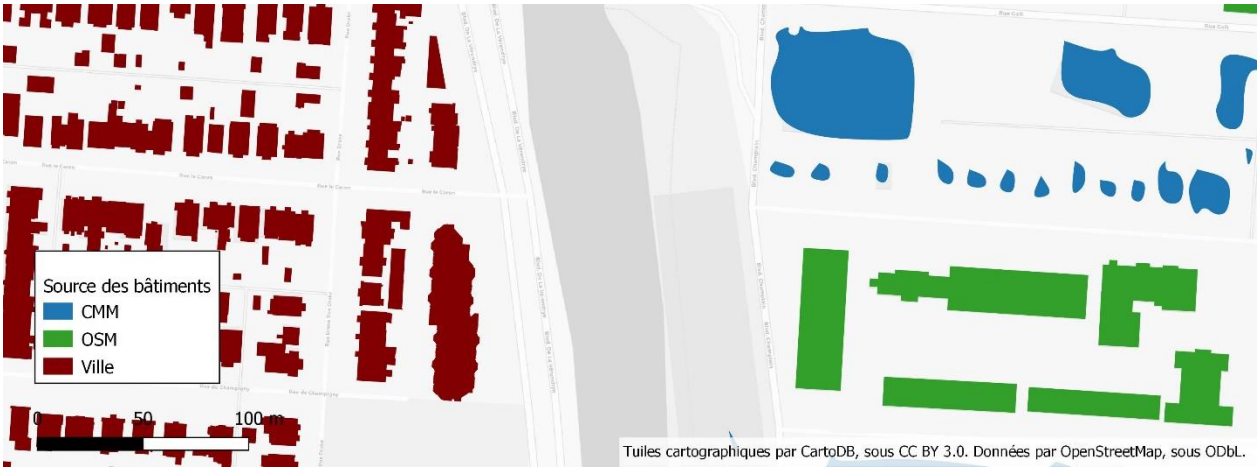


Figure 3.23 Illustration de la géométrie des bâtiments selon la source de données utilisée

La figure 3.24 représente la source de données employée pour représenter les bâtiments du territoire d'étude.

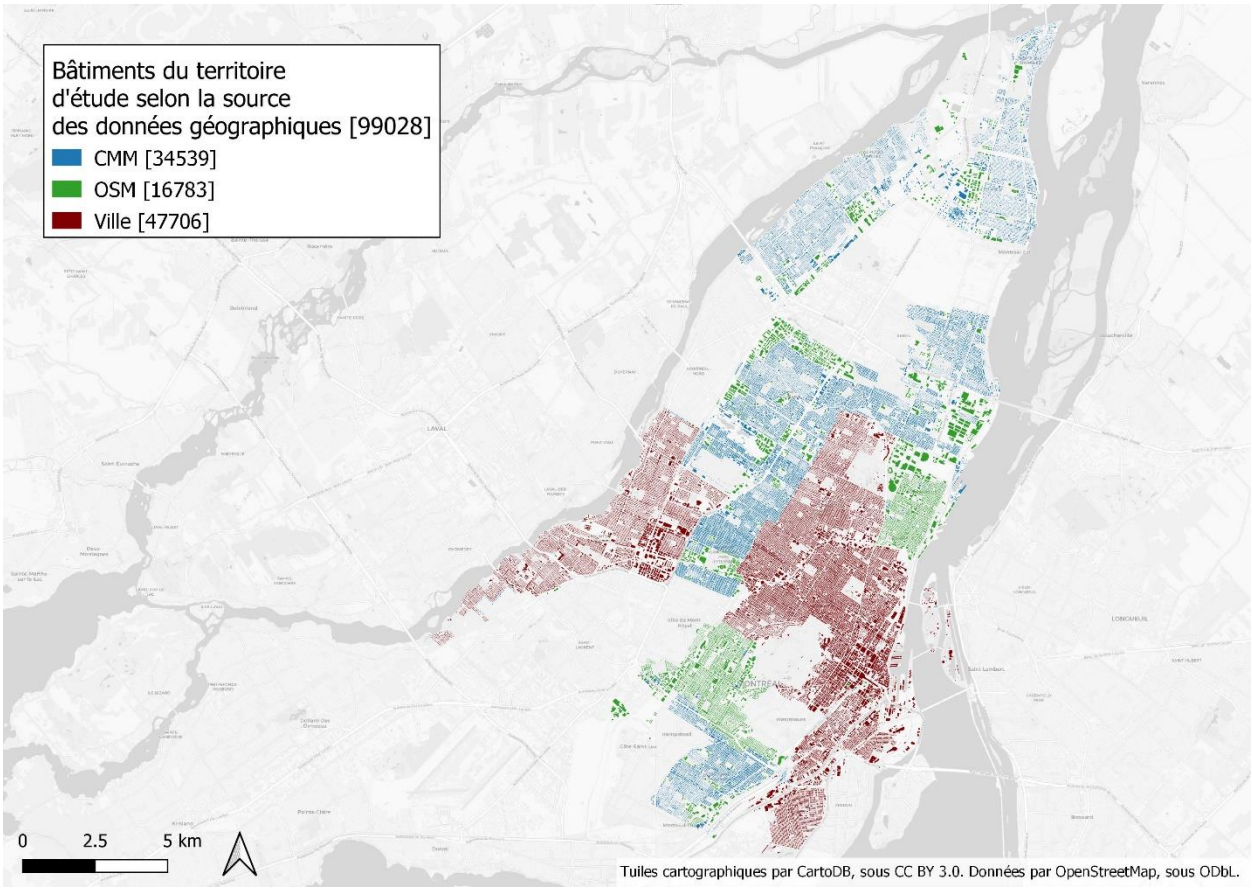


Figure 3.24 Source des données d'empreinte des bâtiments

Chaque îlot est découpé afin d'en associer une portion à chaque tronçon directement adjacent, tel qu'illustré à la figure 3.25. Pour ce faire, le squelette de chaque îlot est généré à l'aide de la fonction PostGIS *ST_StraightSkeleton*, puis le polygone de l'îlot est découpé à l'aide des lignes résultantes. Les subdivisions d'îlot ainsi créées sont rattachées au tronçon de voirie qui leur est directement adjacent et fusionnées pour créer un seul polygone auquel sont attribués à la fois un identifiant d'îlot et un identifiant de tronçon.

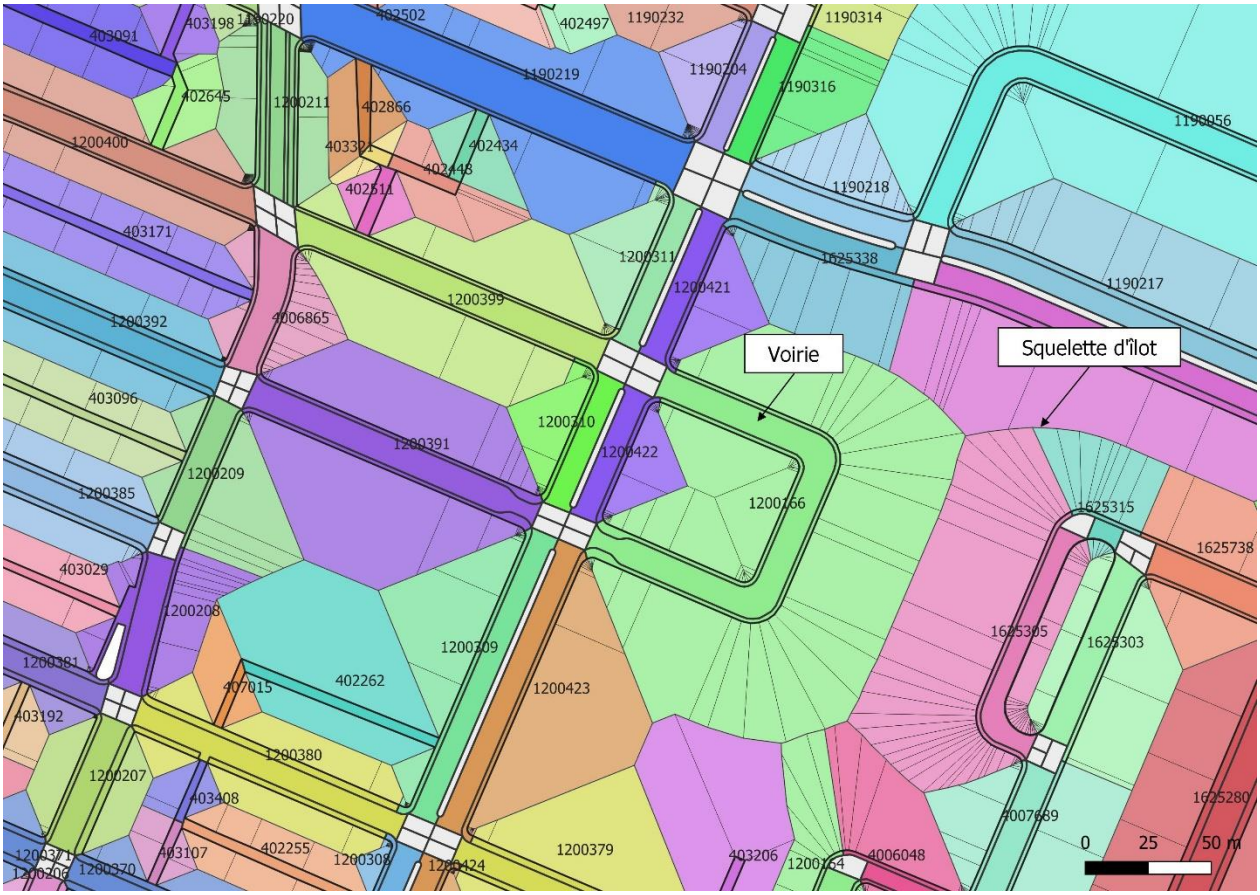


Figure 3.25 Création des subdivisions d'îlots et rattachement aux surfaces de voirie adjacentes

Pour chaque tronçon de rue, une limite correspondant au front bâti moyen est déterminée à l'aide d'une méthode développée par Harvey et al. (2017). Cette méthode permet d'identifier la distance moyenne entre la voirie et les bâtiments qui l'encadrent. Les subdivisions d'îlots sont ensuite découpées à l'aide d'un tampon de la largeur correspondante. Pour un tronçon donné, la profondeur maximale de la marge correspond à la largeur totale de la voirie. Un exemple du résultat est illustré à la figure 3.26.

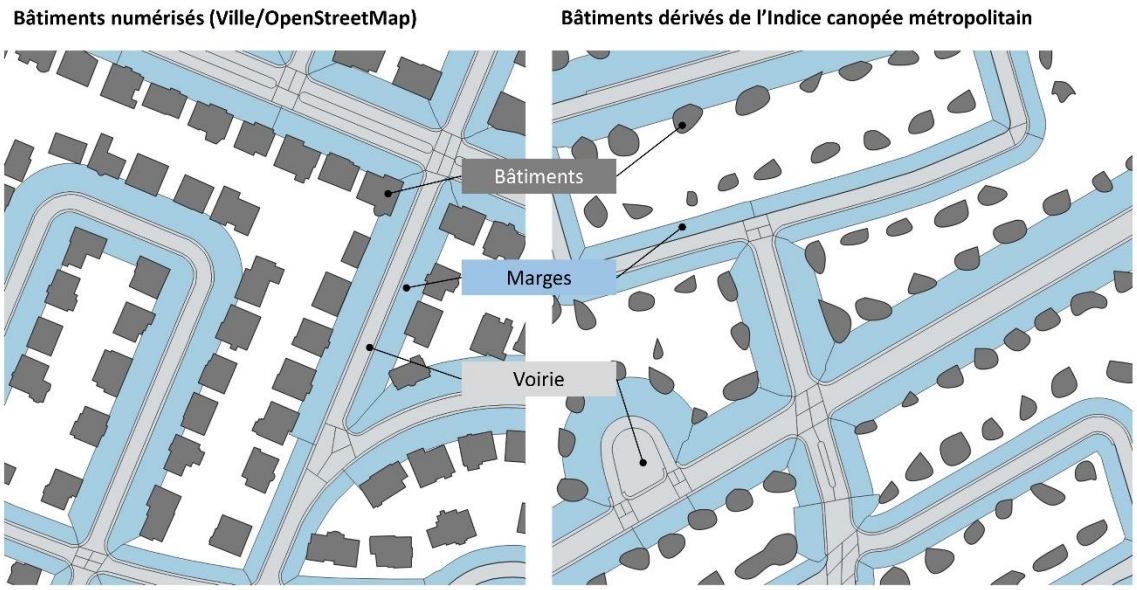


Figure 3.26 Résultat de la procédure de création des marges selon le type de bâtiment employé

3.2.6.2 Association de l'utilisation du sol aux marges

Les données d'utilisation du sol provenant du rôle d'évaluation foncière du MAMH (ci-après appelé le Rôle) sont utilisées afin de déterminer l'usage des marges pour chaque tronçon de rue du territoire d'étude. Toutefois, les données du Rôle existent seulement sous forme de point, où chaque point correspond au centroïde d'une unité d'évaluation foncière. Une même unité d'évaluation foncière peut border plusieurs tronçons de rues, comme c'est le cas pour un bâtiment occupant tout un îlot, par exemple. C'est pourquoi les données ponctuelles du Rôle sont rattachées aux géométries des parcelles issues du cadastre de la province de Québec, fournies par le MERN. Cela permet de les associer par la suite aux marges créées précédemment afin de déterminer, pour chaque surface située à l'intersection d'une marge et d'une parcelle, l'utilisation du sol principale de l'unité d'évaluation foncière qui lui est associée. La géométrie des parcelles est étendue afin de combler l'emprise publique située hors voirie (voir figure 3.27).

Les données du Rôle sont associées aux parcelles à l'aide d'un identifiant commun, à savoir le numéro de lot ou, dans le cas des lots comprenant plusieurs unités, du numéro de plan complémentaire (voir tableau 3.8).

Tableau 3.8 Correspondance entre les données du rôle d'évaluation foncière (MAMH) et les géométries des parcelles du cadastre (MERN)

a **Rôle d'évaluation foncière** a.rl0103a = b.no_lot		**b** **Parcelles du cadastre** b.no_plan_compl = c.no_lot			**c** **Parcelles du cadastre**	
id_provinc	*rl0103a*	*no_lot*	*geom*	*no_plan_compl*	*no_lot*	*geom*
1001	1	1	**Polygone**	NULL	NULL	NULL
1002	2	2	NULL	PC21	PC21	**Polygone**
1002	2	2	NULL	PC22	PC22	**Polygone**
NULL	NULL	PC21	**Polygone**	NULL	NULL	NULL
NULL	NULL	PC22	**Polygone**	NULL	NULL	NULL

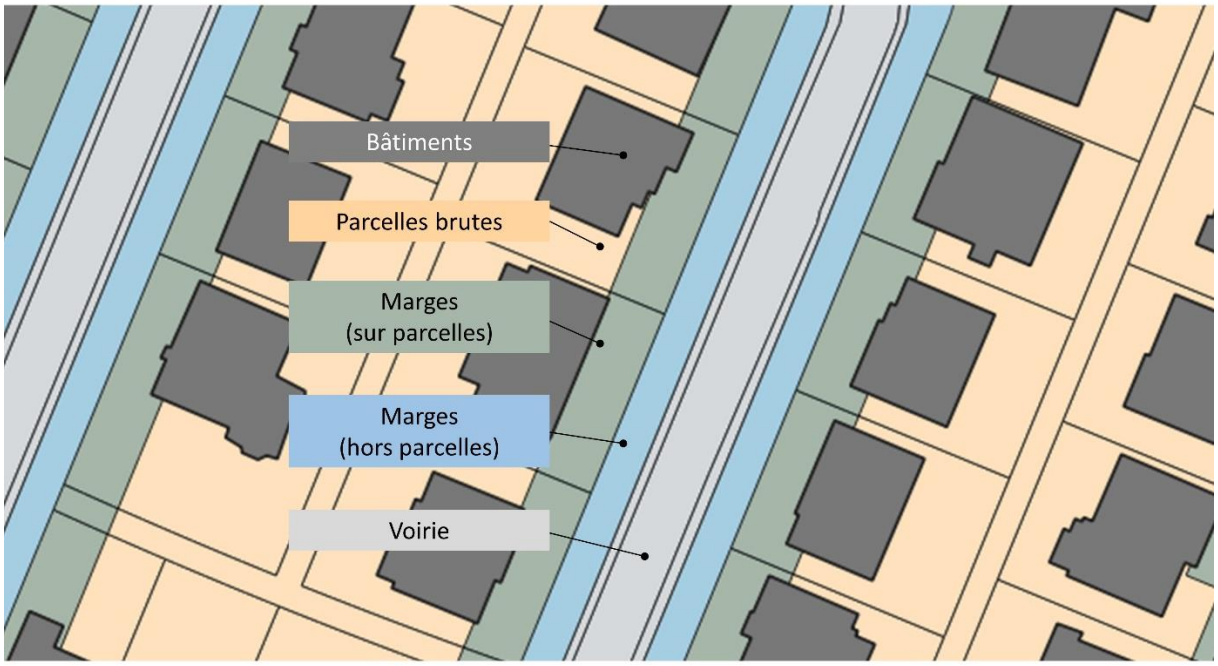


Figure 3.27 Extension des parcelles pour combler l'écart entre les terrains privés et la voirie

Les catégories d'utilisation du sol répertoriées dans le Rôle sont agrégées en 11 catégories présentées au tableau 3.9.

Tableau 3.9 Superficie totale des marges selon l'usage principal de la parcelle

Usage	Superficie totale (km²)
Autre/Inconnu[35]	1,37
Vacant	0,04
Culture	0,12
Église	0,27
Sport	0,34
Stationnement[36]	0,41
École	1,04
Industrie	1,73
Parc	4,11
Commerce	5,18
Résidence	16,65

3.2.7 Calcul de la superficie végétalisée des rues du territoire d'étude

L'indice canopée métropolitain de la CMM est mis à profit afin de mesurer l'espace consacré à la dimension environnementale de la rue. Il s'agit d'une représentation matricielle du territoire de la CMM à une résolution d'un mètre. Chaque pixel se voit attribuer une classe correspondant à une des cinq catégories de surface suivantes : minéral haut, minéral bas, végétal haut, végétal bas et eau (voir figure 3.22).

Cette classification est établie à partir de l'indice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) appliqué à des orthophotographies à bande infrarouge (CMM, 2017). La couche matricielle est vectorisée et lissée afin de faciliter l'interaction avec les autres jeux de données utilisés. À l'aide d'une jointure spatiale, il est ainsi possible de calculer la superficie totale de chaque surface de rue (voirie et marge) recouverte par la végétation haute ou basse. La surface située sous la canopée des arbres est considérée comme végétalisée, même si l'emprise au sol de l'arbre est considérablement plus réduite, puisqu'il s'agit d'une surface qui bénéficie du couvert de l'arbre.

[35] Les parcelles d'usage inconnu sont en grande partie constituées de terre-pleins et d'espaces vacants ou résiduels.

[36] Désigne une parcelle entièrement consacrée au stationnement.

3.2.7.1 Détection du stationnement hors voirie

À l'aide des données de l'indice canopée, il est également possible d'estimer la part des marges qui est occupée par des places de stationnement. Pour chaque axe transversal, la catégorie de couvert du sol ainsi que l'utilisation principale de la marge et sa profondeur sont utilisées. Afin d'être considérée comme étant consacrée au stationnement, une marge doit être de type minéral bas et être dotée d'une profondeur minimale de 6 mètres, à savoir la longueur moyenne d'une automobile. Les écoles, églises et parcs sont exclus en raison de la présence fréquente, à côté de ces usages, d'espaces minéralisés non consacrés au stationnement. La figure 3.28 présente un exemple de la méthode employée. En employant cette méthode, c'est 20,11 % de la surface des marges à l'échelle du territoire d'étude qui est détectée comme étant consacrée au stationnement hors voirie, contre 1,31 % lorsque seule l'utilisation principale de la parcelle est considérée. Cette méthode a fait l'objet de validations ponctuelles à travers le territoire d'étude.



Figure 3.28 Détection du stationnement en marge

3.2.8 Hiérarchie des rues selon le rôle de lien et de lieu

Une hiérarchie des rues du territoire d'étude basée sur le rôle combiné de lien et de lieu est développée afin de mieux saisir la manière dont les différentes formes de partage de la rue se déploient sur le territoire en fonction du rôle des rues. Pour ce faire, les tronçons de rues sont catégorisés en cinq niveaux hiérarchiques pour chacun des deux axes selon la méthode proposée par Jones et al. (2009) (voir tableau 3.10).

Tableau 3.10 Classification des rues selon leur rôle de lien et de lieu (adapté de Jones et al., 2009)

		← Rôle de lieu				
		National	Municipal	District	Quartier	Local
Rôle de lien →	National	I-A	I-B	I-C	I-D	I-E
	Municipal	II-A	II-B	II-C	II-D	II-E
	District	III-A	III-B	III-C	III-D	III-E
	Quartier	IV-A	IV-B	IV-C	IV-D	IV-E
	Local	V-A	V-B	V-C	V-D	V-E

Par exemple, un tronçon de rue de catégorie V-A aurait un faible rôle de lien mais serait adjacente à des usages de rayonnement national – une rue locale du Vieux-Montréal, par exemple. À l'inverse, un tronçon de catégorie I-E aurait une rôle de lien très important mais serait associée à un faible rôle de lieu – une autoroute, par exemple.

La hiérarchie fonctionnelle déterminée par la Ville de Montréal est employée afin d'identifier le rôle de lien des tronçons de rues, qui est considéré comme correspondant à leur classe fonctionnelle. Ainsi, les autoroutes se voient attribuer le niveau I (national), les artères principales le niveau II, les artères secondaires le niveau III, les collectrices le niveau IV et les rues locales le niveau V. La distribution des tronçons du territoire d'étude, pondérés par leur longueur, est présentée au tableau 3.11.

Tableau 3.11 Classification des tronçons de rues du territoire d'étude selon leur rôle de lien

Rôle de lien	**Distribution**
Autoroutes (niveau I)	248 km linéaires (8,73 %)
Artères principales (niveau II)	218 km linéaires (7,65 %)
Artères secondaires (niveau III)	283 km linéaires (9,96 %)
Rues collectrices (niveau IV)	338 km linéaires (11,88 %)
Rues locales (niveau V)	1 758 km linéaires (61,78 %)

Une série de critères basés sur l'utilisation du sol dominante, la valeur foncière, la portée des équipements et la valeur culturelle et patrimoniale du milieu est employée afin de déterminer le rôle de lieu des tronçons de rues (voir tableau 3.12). La figure 3.29 illustre le résultat de la classification des rues du territoire d'étude selon leur rôle de lien et de lieu.

Tableau 3.12 Classification des tronçons de rues du territoire d'étude selon leur rôle de lieu

Portée des usages riverains	**Usages considérés**	**Distribution**
Nationale (niveau A)	Sites patrimoniaux déclarés selon la Loi sur le patrimoine culturel (LPC) Équipements touristiques de portée nationale (Palais des congrès, Stade olympique, Place Bonaventure) Concentrations commerciales à valeur foncière élevée[37]	89 km linéaires (3,14 %)
Métropolitaine (niveau B)	Sites et bâtiments patrimoniaux classés (LPC) Équipements culturels et touristiques de portée métropolitaine selon le Schéma d'aménagement et de développement (SAD) Cégeps et universités Concentrations commerciales à valeur foncière moyenne	75 km linéaires (2,65 %)
Ville (niveau C)	Sites et bâtiments patrimoniaux cités (LPC) Équipements culturels et touristiques de portée d'agglomération (SAD) Grands espaces verts (SAD) Concentrations commerciales à valeur foncière basse	246 km linéaires (8,66 %)
Quartier (niveau D)	Commerces, services et équipements de proximité (garderies, épiceries, écoles primaires, etc.)	237 km linéaires (8,33 %)
Locale (niveau E)	Tout tronçon de rue non visé par les catégories ci-haut	2 198 km linéaires (77,24 %)

[37] La valeur foncière moyenne au mètre carré de chaque concentration commerciale de plus de 1 km linéaire est calculée à l'aide du Rôle d'évaluation foncière, puis classée en trois catégories à l'aide de l'algorithme de Jenks.

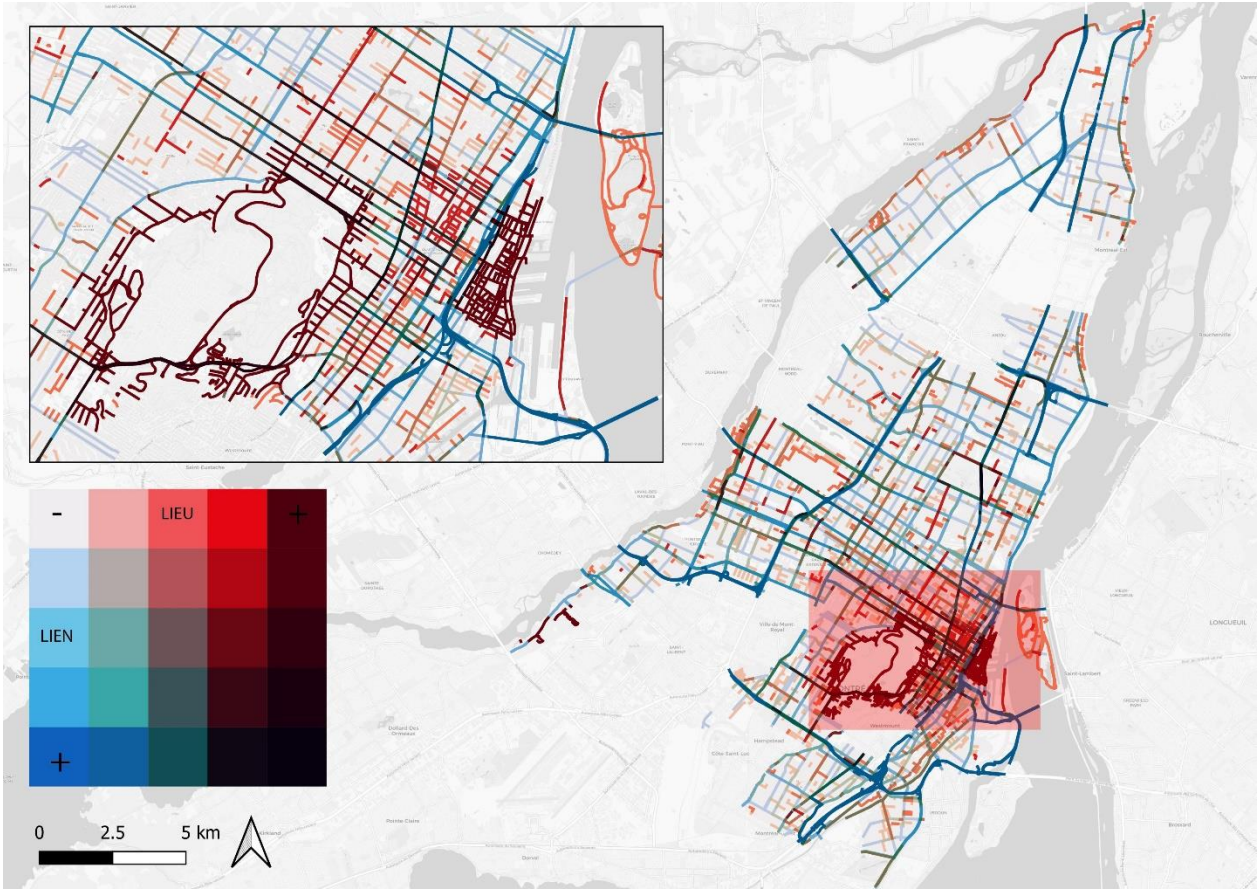


Figure 3.29 Classification des tronçons de rues du territoire d'étude selon leur rôle de lien et de lieu

Une fois les données consolidées dans une base de données sous la forme d'un vecteur d'attributs par tronçon de rue, il devient possible d'observer les dynamiques de variation de l'allocation de l'espace de voirie à travers le territoire d'étude ainsi qu'au cours de l'année de référence. Le prochain chapitre se penche ainsi sur la variation spatiale et temporelle de l'offre d'espace dans les rues du territoire d'étude.

3.3 Estimation de la demande en transport sur les rues du territoire d'étude

Tel que discuté à la section 2.3.2, les données d'enquête de type origine-destination permettent de traiter la demande en transport dans les rues de manière plus flexible que les données de comptage. En effet, des données d'enquête permettent de segmenter la demande selon différents attributs du répondant, de son ménage et de son trajet. Cela permet d'isoler certains types de déplacements et

d'estimer la demande potentielle en transport actif (Morency et al., 2020) et collectif (Lefebvre-Ropars et al., 2021b), ce qui permet de réduire l'endogénéité des constats sur le partage de la rue – à savoir que la demande observée est contrainte par le design actuel des rues, ce qui peut contribuer à sous-estimer l'écart entre l'offre et une demande sans contrainte. L'Enquête Origine-Destination (OD) 2013 de la région de Montréal, version 13.2b, est donc mise à profit afin d'estimer la demande en transport dans les rues du territoire d'étude.

L'Enquête OD est une enquête réalisée à tous les cinq ans à l'échelle de la grande région de Montréal qui vise à comprendre les déplacements de la population résidente lors d'une journée moyenne de semaine d'automne. L'édition 2013 a été réalisée par téléphone entre les mois de septembre et décembre 2013 et a permis de rejoindre plus de 4 % des ménages de la grande région de Montréal. Les déplacements de l'ensemble des membres des ménages enquêtés lors du jour ouvrable précédant l'entrevue ont été répertoriés. Les informations recueillies comprennent notamment l'heure de départ, le motif du déplacement, le mode utilisé, le lieu d'origine et de destination du déplacement ainsi que diverses caractéristiques socio-démographiques des répondants. Un facteur d'expansion, calibré à l'aide du Recensement de la population de 2011 de Statistique Canada, est associé à chaque déplacement de l'Enquête OD et permet de déterminer la représentativité de cette observation par rapport à la population entière.

3.3.1 Demande observée

Pour chaque déplacement répertorié dans l'Enquête OD 2013 entre 6 h 00 et 24 h 00, un itinéraire est calculé pour chacun des quatre modes principaux – l'automobile, le transport collectif, le vélo et la marche – à l'aide des calculateurs de plus court chemin *trRouting* et *OSRM* (Bourbonnais, 2019; Luxen et Vetter, 2011). Les déplacements effectués en transport collectif sont décomposés en segments piétons et véhiculaires; les segments véhiculaires qui ne sont pas effectués sur rue (métro, train de banlieue, etc.) sont retirés des déplacements en transport collectif, tandis que les segments piétons de ces déplacements (accès à l'arrêt, correspondance) sont transférés vers les déplacements piétons.

À l'aide d'une jointure spatiale effectuée à l'aide de PostGIS, les déplacements sont associés aux tronçons de rues qu'ils traversent au sein du territoire d'étude. Pour être associée à un tronçon de rue, la géométrie d'un segment de déplacement doit être en intersection avec la géométrie de l'une

des surfaces de voirie du tronçon et être parallèle[38] à la représentation linéaire du tronçon issue de la géobase linéaire de la Ville de Montréal.

3.3.1.1 Unité de mesure de la demande

Au sein d'une même unité spatiale, le déplacement d'un même individu peut être comptabilisé de plusieurs façons qui affecteront son poids dans la comparaison entre offre et demande selon le mode qu'il choisit et la taille de l'unité spatiale considérée.

Tel que démontré par Creutzig et al. (2020), une pondération par la distance accorde un poids plus important aux modes motorisés, puisqu'il s'agit des modes qui parcourent les plus longs trajets. Une pondération par la vitesse, à l'inverse, accorde une plus grande importance aux modes actifs puisque ceux-ci sont généralement moins rapides que les modes motorisés, et passent donc davantage de temps sur une même infrastructure. Pour sa part, la pondération par l'emprise au sol requise par le véhicule – soit statique, soit dynamique (Héran et Ravalet, 2008) – biaise l'interprétation car elle renforce le poids des modes les plus spatiophages au détriment des modes plus efficaces en matière d'espace (Creutzig et al., 2020; Nello-Deakin, 2019). La pondération par l'emprise au sol requise n'est donc pas retenue dans les présents travaux.

Trois unités de mesure de la demande sont ainsi employées pour mesurer la demande associée à un mode donné dans une unité spatiale : les passagers (PA), les passagers-kilomètres parcourus (PKP) et les passagers-heures parcourus (PHP). Le tableau 3.13 indique le mode de calcul de chaque unité de mesure de la demande.

---

[38] La contrainte employée afin de déterminer si un segment de déplacement est parallèle au tronçon de voirie qu'il traverse est la suivante : une différence de ±15° entre l'azimut d'une droite joignant les deux extrémités de la représentation linéaire du tronçon de géobase et l'azimut d'une droite joignant les points d'entrée et de sortie du segment du déplacement en intersection avec la géométrie des surfaces de voirie du même tronçon.

Tableau 3.13 Unités de mesure de la demande par mode

Unité	Méthode de calcul
Passagers (PA)	$PA_{u,M} = \sum_{i \mid m_i = M} [g_i \cap g_u * w_i]$
Passagers-kilomètres parcourus (PKP)	$PKP_{u,M} = \sum_{i \mid m_i = M} [\ell(g_i \cap g_u) * w_i]$
Passagers-heures parcourus (PHP)	$PHP_{u,M} = \sum_{i \mid m_i = M} \left[\frac{\ell(g_i \cap g_u)}{v_m} * w_i\right]$

Où i représente un déplacement observé, m_i son mode déclaré, w_i son facteur d'expansion et g_i la géométrie linéaire de son itinéraire pour le mode déclaré, tandis que g_U représente la géométrie du territoire de l'unité spatiale u et $\ell(x)$ la longueur de la géométrie x en kilomètres. Ainsi, l'unité $PA_{u,M}$ correspond à la somme des facteurs d'expansion des trajets du mode M traversant l'unité spatiale u. Cette valeur est multipliée par la longueur de l'intersection des géométries de l'unité spatiale u et du trajet g_i pour obtenir $PKP_{u,M}$. La valeur de $PKP_{u,M}$ est ensuite divisée par la vitesse moyenne du mode M[39] pour obtenir $PHP_{u,M}$. Il est à noter que la valeur de $PHP_{u,M}$, puisqu'elle est basée sur une vitesse moyenne, peut créer une distorsion sur certains tronçons dans le cas des modes motorisés, dont la vitesse varie fortement en fonction du niveau de congestion routière.

3.3.2 Demande potentielle

La demande observée dans les rues d'une ville est conditionnée par plusieurs phénomènes, y compris le design de la voirie empruntée par les individus. Ainsi, mesurer seulement l'équilibre de l'offre de voirie en fonction de la demande observée court le risque d'ignorer la demande latente pour les modes actifs et collectifs qui serait restreinte par divers facteurs, dont la configuration actuelle de la voirie. Tel qu'illustré par Nello-Deakin (2019), un milieu urbain où 80 % de la demande observée est constituée de PHP automobiles appellerait ainsi, selon cette logique, une

[39] Les vitesses moyennes utilisées sont de 20 km/h pour l'automobile, 10 km/h pour le transport collectif, 15 km/h pour le vélo et 5 km/h pour la marche. Ces vitesses visent à représenter la vitesse commerciale de chacun des modes en contexte urbain, c'est-à-dire la vitesse moyenne qui inclut le temps passé à l'arrêt lors d'un déplacement. Une analyse de sensibilité des vitesses choisies sur les analyses subséquentes est présentée à l'annexe B.

allocation de 80 % de l'espace aux automobilistes. Un tel rééquilibrage à l'avantage de l'automobile pourrait avoir pour effet de diminuer l'attrait des rues pour les usagers des modes alternatifs à l'automobile et ainsi faire diminuer leur part dans la demande observée, donnant lieu à un cercle vicieux renforçant la place de l'automobile. . Il est toutefois possible de constater que près de 25 % des déplacements motorisés dans la région de Montréal pourraient, selon les caractéristiques des trajets et des individus qui les réalisent, être effectués à l'aide d'un mode actif (Morency et al., 2020) – et il est envisageable que certains déplacements automobiles puissent également être transférables vers le transport collectif. Il est donc permis de penser que l'utilisation d'un profil de demande potentielle, qui représenterait la demande telle qu'elle serait si chaque individu enquêté utilisait le mode le plus durable possible pour effectuer les déplacements recensés dans l'Enquête OD 2013, permettrait de comparer l'offre actuelle avec une demande qui n'est pas contrainte par l'état actuel de l'infrastructure.

Afin d'estimer cette demande potentielle pour les modes actifs, une méthode d'estimation des déplacements latents développée à la Chaire Mobilité de Polytechnique Montréal (Morency et al., 2020) est appliquée à l'Enquête OD 2013 afin d'identifier les déplacements motorisés qui pourraient être plausiblement réalisés à l'aide d'un mode actif. Pour sa part, la demande potentielle en transport collectif est estimée à l'aide d'une méthode basée sur un ratio de compétitivité par rapport à l'auto (Lefebvre-Ropars et al., 2021b).

3.3.2.1 Demande potentielle en transport actif

Pour chaque déplacement motorisé (automobile et TC) de l'Enquête OD 2013, une série de critères est appliquée afin de déterminer s'il serait possible de le réaliser à l'aide d'un mode actif (se référer à Morency et al., 2020 pour plus de détails) :

- Le déplacement doit être plus court que la distance-seuil (85^{e} centile) observée chez les individus qui utilisent les modes actifs selon leur âge et leur genre;
- Le motif du déplacement doit permettre l'usage d'un mode actif;
- L'ensemble des déplacements réalisés entre le départ du domicile et le retour (la chaîne de déplacements) doit répondre aux précédents critères.

Ainsi, pour chaque déplacement respectant ces critères, le mode déclaré est remplacé par la marche ou le vélo en fonction de la distance parcourue. Parmi les déplacements qui touchent au territoire

d'étude, c'est 95 538 déplacements automobiles (conducteurs et passagers confondus) et 19 739 déplacements en transport collectif qui sont ainsi transférés vers la marche et 344 593 et 314 664 vers le vélo, respectivement (voir figure 3.30).

3.3.2.2 Demande potentielle en transport collectif

Une fois les déplacements actifs latents identifiés, les déplacements automobiles restants sont examinés afin d'identifier ceux qui constituent des déplacements latents de transport collectif. Pour ce faire, une méthode analogue à celle présentée ci-dessus est employée, à la différence que la variable principale considérée n'est plus la distance parcourue mais bien le ratio de compétitivité suivant :

$$R = T_{TC}/T'_{Auto}$$

Dans le calcul de ce ratio, T_{TC} représente le temps de parcours en transport collectif entre une origine et une destination, incluant le temps d'accès à pied à l'arrêt de TC. Pour sa part, T'_{Auto} représente le temps de parcours en automobile du même trajet lorsque l'on considère seulement la portion en véhicule, étant donné l'absence d'information sur le temps passé à chercher un stationnement et le lieu de stationnement des véhicules dans l'Enquête OD. Le ratio de compétitivité ne représente donc pas un ratio de temps de parcours à proprement parler mais offre tout de même une base de comparaison pour l'ensemble des observations de l'Enquête OD (Pelletier-Grenier, 2018).

Tableau 3.14 Seuil du 80^{e} centile du ratio de compétitivité entre automobile et transport collectif dans l'Enquête OD 2013 selon l'âge et le genre

Groupe d'âge	Hommes	Femmes
5 à 11 ans	3,66	3,65
12 à 16 ans	3,59	3,65
17 à 19 ans	3,07	2,97
20 à 54 ans	2,68	2,79
55 à 64 ans	2,73	3,00
65 ans et plus	3,31	3,45

Pour ce faire, un seuil de compétitivité est établi en identifiant, comme pour le transport actif, le 80^{e} centile des ratios de compétitivité entre les déplacements TC et automobile dans l'ensemble de l'Enquête OD 2013 en segmentant selon l'âge et le genre. Tout déplacement respectant les critères suivants est considéré comme un déplacement latent de TC :

- Le ratio de compétitivité du déplacement doit être inférieur au seuil constitué par le 80^{e} centile des valeurs du ratio pour les déplacements TC observés du groupe d'âge et du genre correspondant (voir tableau 3.14);
- L'ensemble des déplacements réalisés entre le départ du domicile et le retour (la chaîne de déplacements) doit répondre au précédent critère;
- Les déplacements des enfants de 11 ans et moins en tant que passagers ne peuvent être transférés que si les critères précédents s'appliquent également au déplacement du conducteur.

Parmi les déplacements qui touchent au territoire d'étude, c'est 994 860 déplacements automobiles n'étant pas déjà considérés comme des déplacements actifs latents qui sont ainsi transférés vers le transport collectif (voir figure 3.30). Les segments piétons de ces nouveaux déplacements TC latents sont affectés sur le réseau à l'aide du calculateur OSRM et ajoutés à la demande piétonne pour ce bassin de demande.

Le profil de demande potentielle est donc constitué des déplacements suivants :

- Déplacements **actifs observés**;
- Déplacements auto et TC catégorisés comme des déplacements **actifs latents**;
- Déplacements auto catégorisés comme des déplacements **TC latents**;
- Déplacements **TC observés** ne remplissant pas les critères pour être catégorisés comme des déplacements actifs latents;
- Déplacements **auto observés** ne remplissant pas les critères pour être catégorisés comme des déplacements actifs ou TC latents.

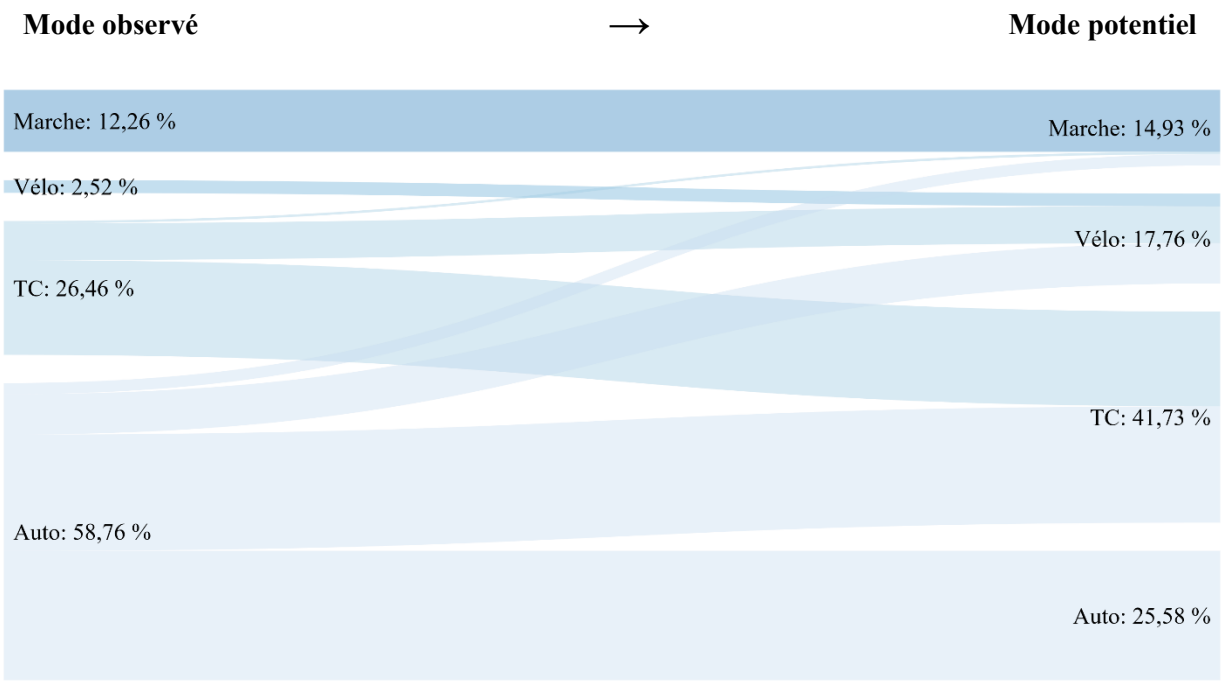


Figure 3.30 Nombre de déplacements (PA) transférés selon le mode entre le profil de demande observée et le profil de demande potentielle

La figure 3.30 illustre la modification de la part modale des passagers ainsi que des passagers-kilomètres parcourus au sein de chaque arrondissement en fonction du bassin de demande considéré. On observe notamment que le bassin de demande potentielle transfère plusieurs déplacements motorisés vers les modes actifs, plus particulièrement vers le vélo, mais que la majorité du transfert modal est dirigé vers le transport collectif. Le transport collectif est le mode de la majorité des déplacements dans le profil de demande potentielle, suivi de l'auto, du vélo et de la marche. La part modale de la marche reste plutôt stable, la majorité des déplacements actifs potentiels étant faits à vélo. La moitié de ces nouveaux déplacements à vélo est constituée de déplacements observés en transport collectif et l'autre moitié de déplacements observés en automobile. La figure 3.31 illustre l'effet de l'unité choisie pour mesurer la demande (PA, PKP ou PHP) sur la part relative de chaque mode dans le profil de demande potentielle.

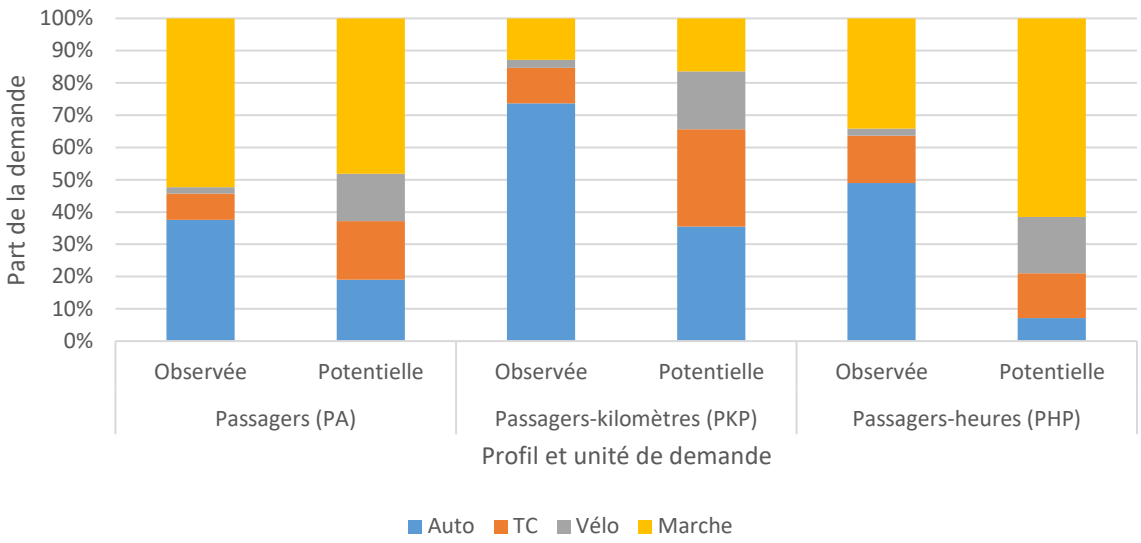


Figure 3.31 Part de la demande selon le profil (observée ou potentielle) et la variable de calcul (passagers, passagers-kilomètres ou passagers-heures), territoire d'étude, Enquête OD 2013

3.3.3 Segmentation selon la provenance

Afin de permettre d'évaluer l'adéquation entre l'offre et la demande en fonction de la provenance des déplacements, les déplacements sont divisés en quatre catégories par rapport aux arrondissements qu'ils traversent :

- Le bassin des **déplacements internes** est constitué de tous les déplacements dont l'origine et la destination se situent dans l'arrondissement;
- Le bassin des **déplacements produits** est constitué de tous les déplacements dont l'origine seulement se situe dans l'arrondissement;
- Le bassin des **déplacements attirés** est constitué de tous les déplacements dont la destination seulement se situe dans l'arrondissement;
- Le bassin des **déplacements de transit** est constitué de tous les déplacements dont ni l'origine, ni la destination ne sont situées dans l'arrondissement.

Les déplacements internes, produits et attirés sont par la suite agrégés en une seule catégorie, les **déplacements locaux**, c'est-à-dire tous les déplacements n'étant pas de transit. Tel qu'illustré à la figure 3.32, les déplacements de transit constituent la catégorie de déplacements la plus importante dans plusieurs arrondissements. L'arrondissement de Ville-Marie (VM) constitue une exception

notable puisque 67 % des déplacements observés s'y destinent. À l'inverse, l'arrondissement du Sud-Ouest (SO) est celui où l'on retrouve la plus grande part de déplacements de transit (63 %), ce qui peut s'expliquer notamment par la présence des autoroutes du Souvenir (A-20) et Bonaventure (A-10), empruntées par de nombreux navetteurs pour accéder au centre-ville.

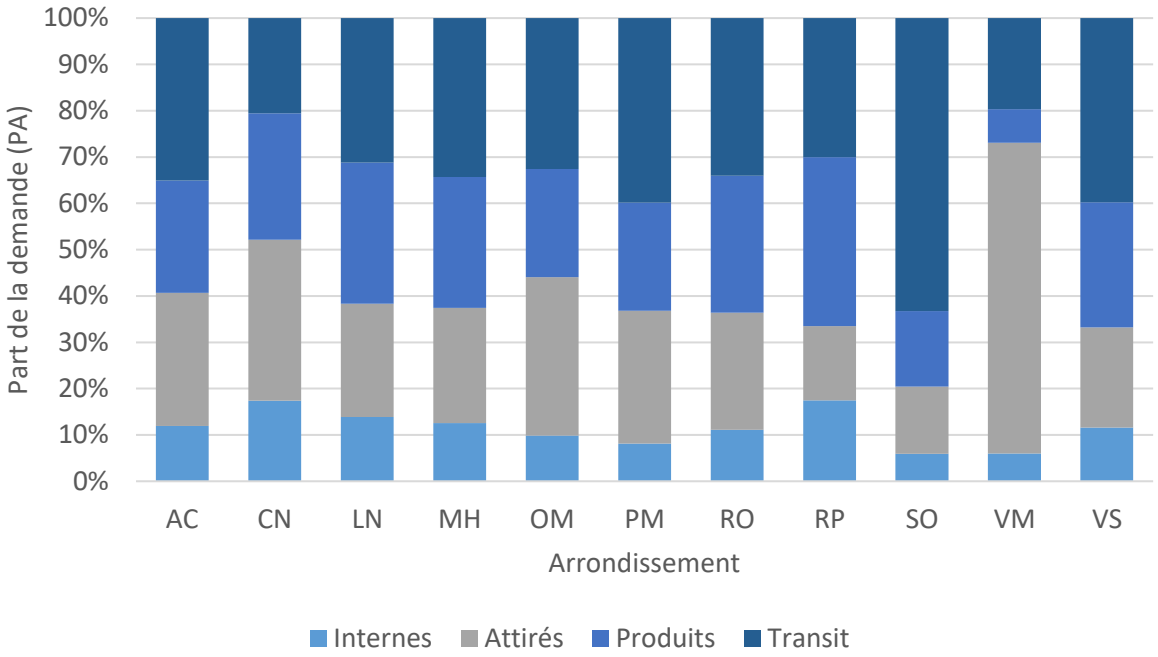


Figure 3.32 Répartition des déplacements au sein des arrondissements du territoire d'étude selon leur provenance, Enquête OD 2013, période de pointe du matin

3.3.4 Intégration de la demande en transport des marchandises

L'une des limites des enquêtes de type origine-destination est qu'elles ne mesurent que la mobilité des résidents de la région d'enquête. Si cela est cohérent avec l'objectif de ces enquêtes, c'est-à-dire de tracer le portrait de la mobilité des personnes dans une région métropolitaine, cela cause des problèmes lorsque l'on utilise les données qui en résultent pour représenter l'ensemble de la demande dans les rues. En effet, les rues accueillent, en plus de la mobilité des personnes, de nombreux véhicules de transport de marchandises. Afin d'avoir un portrait plus juste de la demande dans les rues du territoire d'étude, il est donc nécessaire d'avoir recours à des données supplémentaires pour déterminer les volumes de circulation associés au transport des marchandises. Pour ce faire, les données de simulation routière issues du Modèle de simulation des transports routiers de la région de Montréal (MOTREM) développé par le ministère des Transports

du Québec (MTQ) sont intégrées aux données sur la mobilité des personnes issues de l'Enquête OD 2013 selon la méthode présentée ci-dessous.

3.3.4.1.1 Description des données de circulation issues du MOTREM

La version courante du MOTREM, le MOTREM13, est basée sur les données de l'Enquête OD 2013 ainsi que sur une série de comptages routiers effectués concurremment à l'Enquête OD. Le MTQ décrit le modèle comme suit :

> [Le MOTREM] est un modèle macroscopique, c'est-à-dire qu'il modélise les déplacements de façon agrégée (par zones). Son objectif principal est de représenter le plus fidèlement possible l'ensemble des déplacements véhiculaires (légers et lourds) effectués lors d'une journée moyenne ouvrable d'automne dans la grande région de Montréal (Ministère des Transports du Québec, 2019).

Les volumes de circulation selon les types de véhicules (voir tableau 3.15) sont disponibles sous deux formes pour chaque période horaire : pour le réseau explicitement modélisé – qui correspond à peu de choses près aux réseaux autoroutier, artériel et collecteur –, un volume de circulation est disponible pour chaque lien; pour le réseau local, un volume moyen est disponible pour chaque connecteur de centroïde[40] (Ministère des Transports du Québec, 2019).

Tableau 3.15 Classes de véhicules modélisées dans le MOTREM13 (tiré de Ministère des Transports du Québec, 2019, p. 5)

Types de véhicule	**Acronyme**	**Longueur caractéristique**	**Définition sommaire**
Véhicules légers particuliers	VLP	L <= 6 m	Véhicules de transport personnel (autos privées, taxis ou motos).
Véhicules légers commerciaux	VLC	L <= 6 m	Véhicules légers commerciaux (avec lettrage).
Camions réguliers	VRG	6 m < L <= 12 m	Camions porteurs à simple unité, véhicules récréatifs ou autobus.
Camions lourds	VLO	L > 12 m	Camions remorques à multiples unités ou véhicules particulièrement lourds et lents.

[40] Dans un modèle agrégé, le centroïde d'une zone d'analyse de transport (ZAT) représente de manière abstraite les origines et les destinations de l'ensemble de la zone. Le connecteur de centroïde est un lien qui permet de relier le centroïde au réseau modélisé. Ce connecteur représente de manière abstraite le réseau local (non modélisé) de la ZAT qui permet d'accéder au réseau supérieur (modélisé) depuis les diverses origines et destinations présentes dans la zone (voir Bonnel, 2002, p. 313 pour une description de la codification d'un réseau dans un modèle d'affectation routière).

Les volumes de véhicules légers particuliers (VLP) sont directement tirés des matrices de demande issues de l'Enquête OD, tandis que les volumes de camions réguliers (VRG) et lourds (VLO) proviennent d'un modèle de génération de la demande en transport de marchandises basé sur l'utilisation du sol et les comptages routiers. Les volumes de véhicules légers commerciaux (VLC), pour leur part, ne font pas l'objet de comptages spécifiques et ne peuvent donc pas être modélisés explicitement. Ces volumes sont donc estimés en faisant la différence entre les volumes modélisés de VLP et les comptages routiers. Cela pose l'hypothèse que la demande observée en véhicules légers qui n'est pas captée par l'Enquête OD est constituée de véhicules légers effectuant des trajets commerciaux (livraison, services professionnels, etc.) (Ministère des Transports du Québec, 2019).

3.3.4.1.2 Intégration des données du MOTREM

Les volumes de circulation des véhicules de transport de marchandises issues du MOTREM sont intégrés à la demande sur rue issue de l'Enquête OD à l'aide d'une procédure de jointure spatiale en deux étapes. Premièrement, les liens du réseau modélisé sont associés aux tronçons de rues à l'aide de règles de proximité et de parallélisme entre le réseau du MOTREM et la géobase linéaire de la Ville. Deuxièmement, les tronçons de rues n'ayant été associés à aucun lien du réseau modélisé – le plus souvent des tronçons du réseau local – sont associés à la zone d'analyse de transport (ZAT) dans laquelle ils se situent. La valeur moyenne des volumes à travers tous les centroïdes d'une ZAT est ensuite attribuée à tous les tronçons de rues situés dans cette ZAT. Ainsi, tous les tronçons de rues du territoire d'étude se voient attribuer un volume de circulation associé à chacune des classes de véhicules présentées au tableau 3.15, et ce, pour chaque période horaire d'une journée moyenne de semaine d'automne.

Puisque les données de demande sur rue employées dans le cadre de la présente thèse ne sont pas issues d'un modèle d'affectation à l'équilibre comme le MOTREM mais bien d'une affectation de type tout-ou-rien à l'aide d'un calculateur de chemin le plus court, des écarts peuvent être constatés entre les volumes de véhicules privés issus du MOTREM et les volumes de déplacements en automobile tirés de l'Enquête OD. Dans une optique de cohérence, le choix a été fait de conserver les données tirées directement de l'Enquête OD pour représenter les déplacements en véhicule privé et de leur appliquer un ratio de véhicules commerciaux basé sur les données du MOTREM afin de représenter le nombre de véhicules commerciaux circulant sur chaque tronçon plutôt que

d'employer directement les volumes issus du MOTREM. Ainsi, pour chaque tronçon de rue, un ratio journalier C_r est calculé pour chaque rue r comme suit :

$$C_r = max\left(\frac{\sum_{h=1}^{24} VC_{r,h}}{\sum_{h=1}^{24} VP_{r,h}}, 1{,}5\right)$$

où $VC_{r,h}$ représente le volume de véhicules commerciaux en circulation pour une période horaire h sur la rue r et VP_r le volume de véhicules personnels pour la même période. Le ratio est limité à 1,5 afin d'éliminer les valeurs aberrantes.

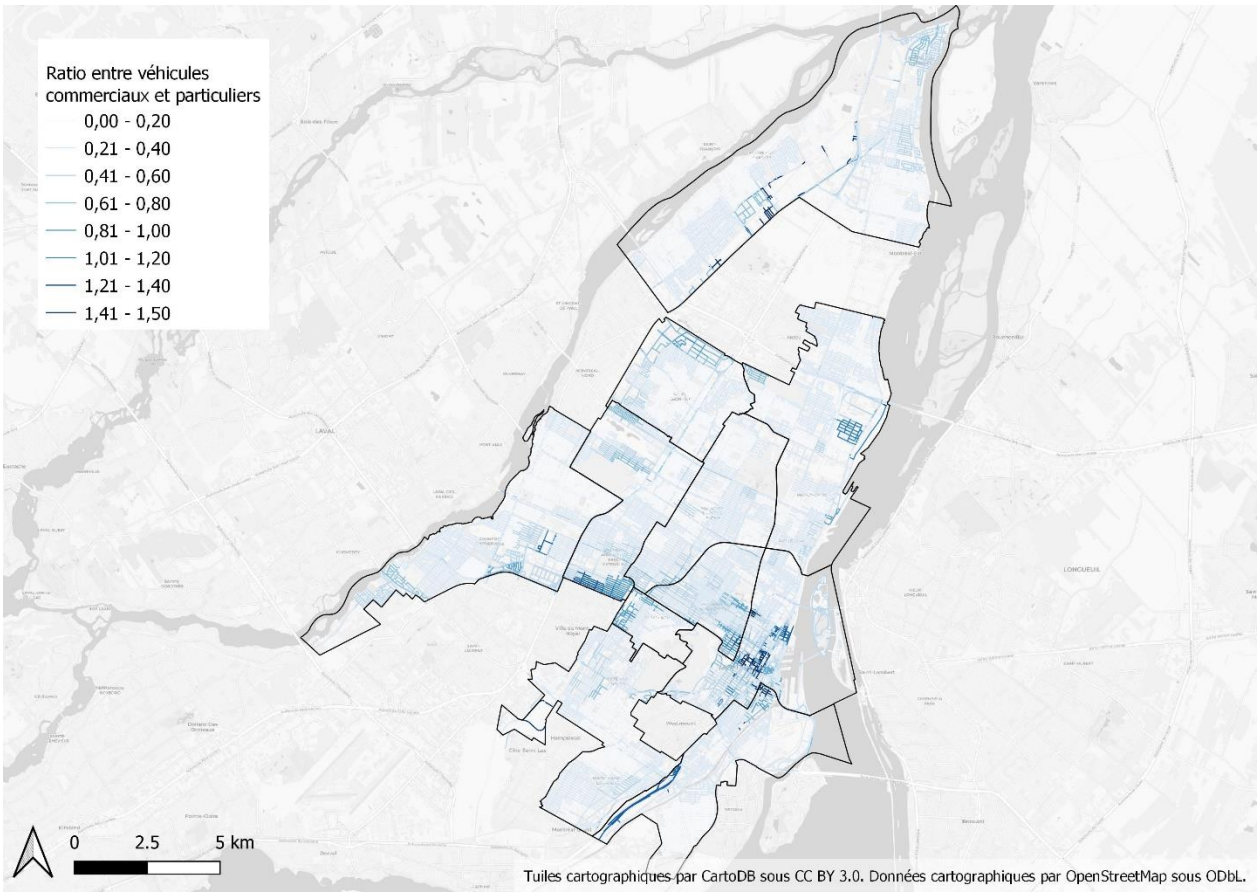


Figure 3.33 Nombre de véhicules motorisés commerciaux pour chaque véhicule motorisé particulier selon les données du MOTREM13

La figure 3.33 illustre la distribution du ratio C_r à travers le territoire d'étude. On y remarque que les véhicules commerciaux représentent une part importante des flux de véhicules dans les secteurs industriels du territoire d'étude, mais également dans les secteurs résidentiels très denses des quartiers centraux ainsi que dans le centre-ville des affaires. Le ratio C_r est ensuite appliqué au

nombre de déplacements en automobile (conducteur) affecté à chaque tronçon de rue afin d'obtenir un volume de camions cohérent avec la demande automobile issue du processus d'affectation directe de l'Enquête OD sur le réseau.

3.3.5 Limites associées à la représentation de la demande à l'aide de l'Enquête OD 2013

Il est à noter que la demande observée calculée à l'aide de l'Enquête OD 2013 n'inclut pas les segments piétons des déplacements automobiles, puisque l'Enquête ne collecte pas d'information sur le lieu de stationnement des véhicules. Les déplacements des non-résidents (touristes, habitants de l'extérieur de la grande région de Montréal) ne sont pas non plus comptabilisés. L'Enquête OD ne permet également pas de représenter les déplacements des travailleurs sur la route ou de toute personne effectuant un déplacement dont l'origine et la destination sont identiques (une promenade, par exemple). Il est aussi à noter que l'Enquête OD ne vise à représenter que les déplacements lors d'une journée moyenne de semaine d'automne; elle ne donne donc aucune information sur les déplacements effectués durant la fin de semaine ou durant les autres saisons. Finalement, l'Enquête OD ne représente aucun déplacement de transport de marchandises puisqu'il s'agit d'une enquête visant à répertorier les déplacements des individus. Il s'agit toutefois de la base de données qui offre le meilleur compromis entre représentativité, couverture spatiale et granularité des données pour effectuer les analyses présentées dans la présente thèse.

3.4 Synthèse

Pour chaque tronçon de rue du territoire d'étude, la base de données finale contient un vecteur de 17 520 éléments, c'est-à-dire un pour chaque période d'une demi-heure de l'année de référence (2018). Chacun de ces éléments contient :

- La superficie allouée aux 14 usages de la voirie;
- Les attributs relatifs aux espaces de voirie, tels que le nombre de voies de circulation, le nombre de places de stationnement, etc.

Des attributs statiques sont également associés à chaque tronçon :

- La superficie allouée aux 11 usages de la marge;

- La classification du tronçon selon son rôle de lien et de lieu;
- La superficie végétalisée du tronçon.

De plus, chaque corridor possède les attributs suivants :

- Le nombre de déplacements par heure selon le mode observé pour une journée moyenne de semaine d'automne;
- Le nombre de déplacements par heure selon le mode potentiel pour une journée moyenne de semaine d'automne;
- Le ratio journalier de véhicules commerciaux pour une journée moyenne de semaine d'automne.

Chaque tronçon est rattaché à un axe, un corridor et un arrondissement, ce qui permet leur agrégation.

CHAPITRE 4 VARIATION SPATIALE ET TEMPORELLE DE L'OFFRE D'ESPACE DANS LES RUES DU TERRITOIRE D'ÉTUDE

Le territoire d'étude compte 21 638 tronçons de rues à travers 11 arrondissements, ce qui permet une grande variabilité spatiale dans les dynamiques d'allocation de l'espace de rue. De plus, un grand nombre de tronçons de rues font l'objet de différentes stratégies de réallocation de l'espace de voirie en fonction de l'heure de la journée ou du moment de l'année afin d'accorder davantage d'espace à différents usagers. Le présent chapitre vise à décrire cette variation spatiale et temporelle dans l'allocation de l'espace dans les rues du territoire d'étude. Les différences entre arrondissements en termes de ratio marges-voirie et d'allocation des différentes catégories d'usages de la voirie sont présentées à la section 4.1, tandis que la section 4.2 s'attarde à l'analyse de la variation temporelle de l'offre d'espace de voirie.

4.1 Variation spatiale de l'offre d'espace dans les rues du territoire d'étude

Tel que décrit à la section 3.2.2, la rue est divisée en deux zones principales : la marge, qui est principalement consacrée aux fonctions de lieu de la rue, et la voirie, qui accueille la majorité des fonctions de lien. La présente section s'attarde tout d'abord au rapport entre marges et voirie, pour ensuite décrire la variation spatiale de l'allocation de la voirie entre les différents arrondissements du territoire d'étude ainsi qu'en fonction de la hiérarchie de lien des rues.

4.1.1 Marges

À l'échelle du territoire d'étude, les surfaces de voirie représentent 52 % de la superficie des rues, les marges 45 % et les intersections 3 %. Toutefois, tel que l'indiquent le tableau 4.1 et la figure 4.1, ce constat varie selon l'arrondissement. Dans les arrondissements centraux comme Le Plateau-Mont-Royal (PM), où la densité de construction est plus élevée, environ le tiers de l'espace des rues est alloué aux marges, tandis qu'elles représentent plus de la moitié de l'espace dans les rues de Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles (RP), qui présente un tissu urbain plus aéré. Cela va également de pair avec la largeur moyenne des rues de façade à façade, qui est de 17,42 m dans le cas du Plateau-Mont-Royal et de 21,62 m dans le cas de Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles. Cette différence est le produit des différents modes d'urbanisation du territoire mis en

œuvre pour répondre aux modes de transport les plus utilisés au moment de l'ouverture des rues, les tronçons situés dans les quartiers développés après la démocratisation de l'automobile étant dotés d'une voirie plus large et disposant de davantage d'espace en marge pour accueillir, notamment, un ou plusieurs véhicules stationnés. Ainsi, au sein du territoire d'étude, la largeur moyenne (de façade à façade) d'une rue dont le bâtiment le plus ancien a été construit en 1900 est de 17,03 m, tandis qu'elle atteint 20,12 m en 1950 et jusqu'à 23,08 m en 1970.

Tableau 4.1 Répartition des surfaces associées à la voirie, aux marges et aux intersections dans les arrondissements du territoire d'étude

Arrondissement	**Voirie**		**Marges**		**Intersections**		**Superficie totale (rues)**	**Superficie totale (arrondissement)**
	km²	*%*	*km²*	*%*	*km²*	*%*	*km²*	*km²*
Ahuntsic-Cartierville (AC)	4,43	50,76%	4,00	45,87%	0,29	3,36%	4,43	24,21
Côte-des-Neiges–Notre-Dame-de-Grâce (CN)	3,44	48,01%	3,52	49,08%	0,21	2,91%	3,44	21,48
Saint-Léonard (LN)	2,43	47,94%	2,46	48,42%	0,18	3,63%	2,43	13,55
Mercier–Hochelaga-Maisonneuve (MH)	4,20	52,40%	3,53	43,96%	0,29	3,65%	4,20	25,41
Outremont (OM)	0,53	44,97%	0,61	51,94%	0,04	3,09%	0,53	3,81
Le Plateau-Mont-Royal (PM)	2,03	65,70%	0,95	30,53%	0,12	3,77%	2,03	8,15
Rosemont–La Petite-Patrie (RO)	3,17	57,06%	2,20	39,52%	0,19	3,42%	3,17	15,89
Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles (RP)	5,12	41,12%	6,97	55,94%	0,37	2,94%	5,12	42,52
Le Sud-Ouest (SO)	2,76	62,52%	1,51	34,22%	0,14	3,26%	2,76	16,27
Ville-Marie (VM)	2,99	61,03%	1,72	34,98%	0,20	3,98%	2,99	16,36
Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension (VS)	3,10	59,30%	1,93	36,94%	0,20	3,75%	3,10	16,48
Total	*34,21*	*51,98%*	*29,38*	*44,64%*	*2,22*	*3,38%*	*34,21*	*204,13*

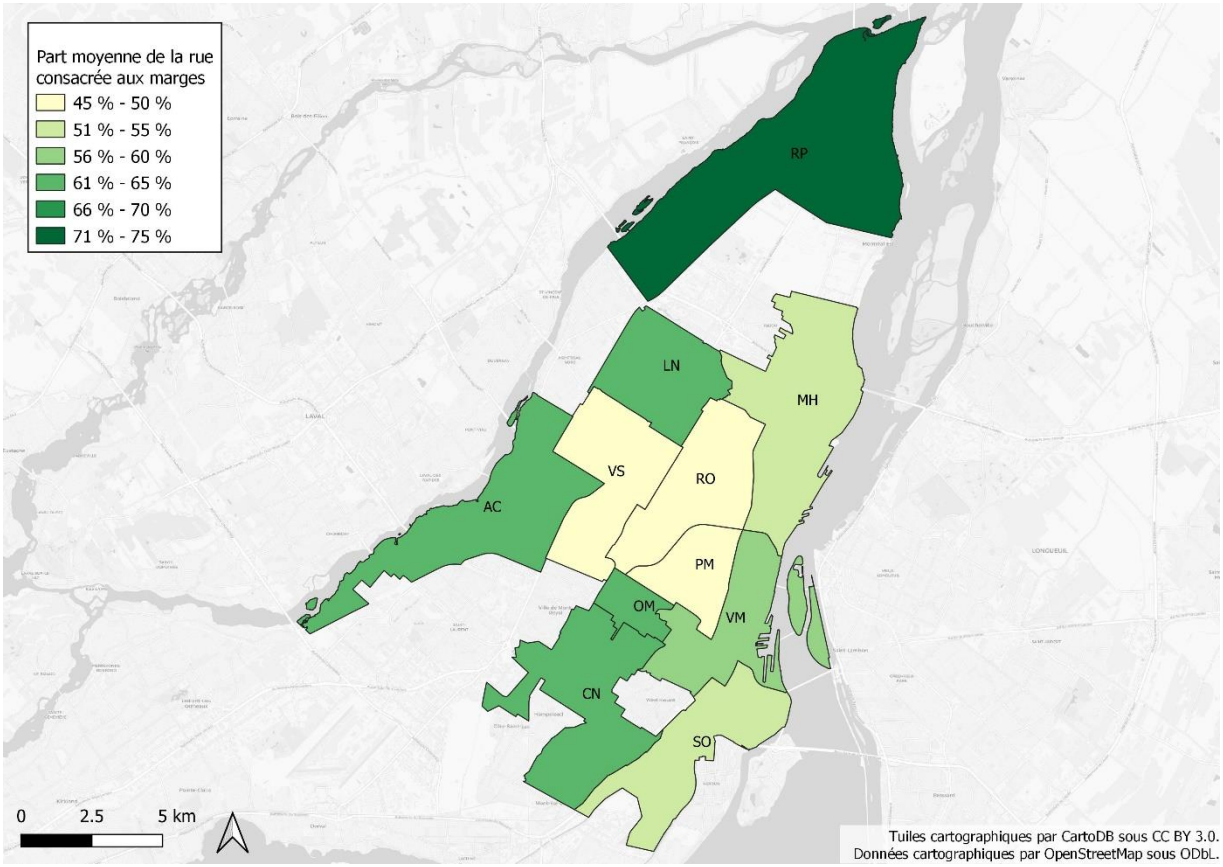
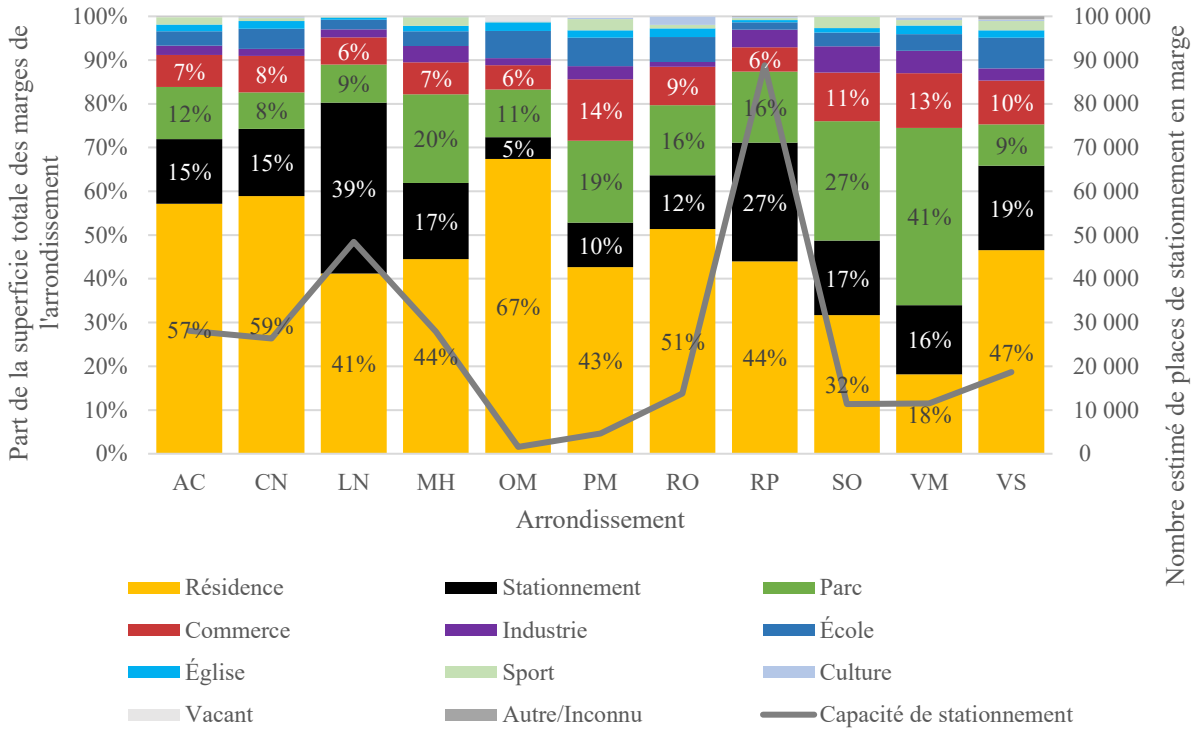


Figure 4.1 Poids des marges dans la superficie totale de la rue selon l'arrondissement

Des marges plus spacieuses permettent notamment d'accueillir davantage d'espaces de stationnement privé en façade. La figure 4.2 présente la distribution de l'utilisation du sol des marges dans les divers arrondissements du territoire d'étude. On y remarque que les marges résidentielles constituent l'usage le plus important des marges dans tous les arrondissements à l'exception de Ville-Marie, où l'on retrouve comparativement peu de terrains dont l'utilisation du sol principale est résidentielle. Les arrondissements comptant la plus grande part des marges consacrée aux espaces verts sont ceux qui accueillent parmi les plus grands parcs de la ville : Ville-Marie (parcs Jean-Drapeau et du Mont-Royal), Mercier–Hochelaga-Maisonneuve (parc Maisonneuve), Le Plateau-Mont-Royal (parcs La Fontaine et Sir-Wilfrid-Laurier) et Le Sud-Ouest (lieu historique national du Canal-de-Lachine, parc Angrignon).

L'importance du stationnement hors voirie varie aussi selon les arrondissements, occupant plus du quart de la superficie totale des marges dans les arrondissements périphériques de Saint-Léonard

(LN, 39 %) et Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles (RP, 27 %). À l'inverse, à peine 5 % de la superficie des marges de l'arrondissement d'Outremont (OM) est allouée au stationnement[41]. À l'échelle des 11 arrondissements du territoire d'étude, il est donc possible d'estimer une capacité de stationnement en marge d'environ 281 000 places de stationnement, contre près de 523 000 places localisées sur la voirie[42]. Il est bien important de noter que cela n'inclut que les places détectées dans les marges, c'est-à-dire entre la voirie et les bâtiments, et non les places de stationnement situées derrière les bâtiments, ou encore les garages. Parmi tous les arrondissements du territoire d'étude, c'est à Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles que l'on compte le plus d'espace en marge consacré au stationnement en valeur absolue, avec près de 89 000 places estimées.



[41] Tel que décrit à la section 3.2.7.1, la détection du stationnement hors voirie se base sur le type de surface répertorié dans l'indice canopée métropolitain de la CMM. En raison de l'important couvert végétal dans l'arrondissement d'Outremont, il se peut que le nombre de surfaces minéralisées soit sous-estimé dans ce cas précis puisque plusieurs places de stationnement seront recouvertes par la canopée et classées comme des surfaces de type « végétal haut ».

[42] Valeur pour le 1er janvier 2018 à minuit.

Figure 4.2 Distribution de la superficie des marges selon l'utilisation du sol

4.1.2 Voirie : par arrondissement

La figure 4.3 illustre la part d'espace de rue allouée à chaque mode et l'utilisation de la rue dans les 11 arrondissements de la zone d'étude pendant la demi-heure de pointe du matin (8 h 00 à 8 h 30) au premier janvier 2018. Une représentation cartographique de ces données peut être consultée à l'annexe C.

La superficie allouée à l'usage exclusif du transport collectif [T] est très faible sur l'ensemble de la zone d'étude, atteignant tout au plus 0,83 % de la superficie de voirie dans l'arrondissement d'Ahuntsic-Cartierville (AC). La majorité de l'espace alloué au transport collectif l'est plutôt de manière partagée avec les automobilistes [DT], cet espace représentant entre 8,74 % et 14,13 % de la superficie totale de voirie, respectivement à Outremont (OM) et Ville-Marie (VM). En revanche, entre 22,4 % et 35,5% de la superficie totale de la voirie est allouée exclusivement aux conducteurs en période de pointe du matin, respectivement à Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles (RP) et Rosemont–La Petite-Patrie (RO), ainsi qu'entre 10,7 % et 22,7 % au stationnement des véhicules sur voirie, à Ville-Marie (VM) et Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension (VS) respectivement. Les arrondissements périphériques de Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles, Ahuntsic-Cartierville et Saint-Léonard (LN), ainsi que les arrondissements centraux de Côte-des-Neiges–Notre-Dame-de-Grâce (CN) et Mercier–Hochelaga-Maisonneuve (MH), allouent moins de surface de voirie à l'infrastructure piétonne exclusive [P] que la moyenne de 17,5 % pour la zone d'étude. Ces arrondissements, avec Outremont, fournissent également aux usagers de la rue quelques banquettes plantées.

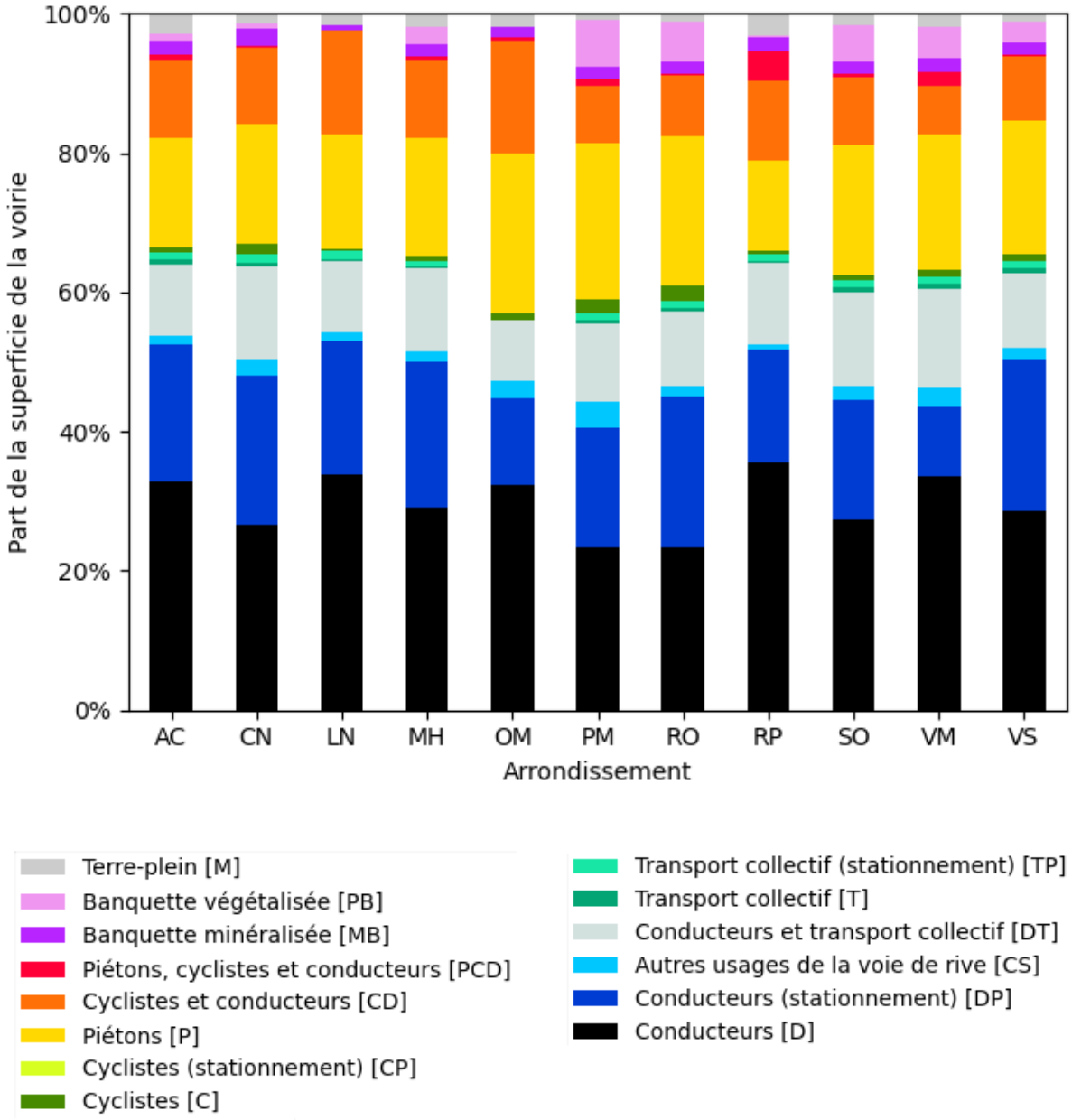


Figure 4.3 Superficie allouée à chacun des types de surfaces de voirie selon l'arrondissement, 1er janvier 2018, 8 h 00

Globalement, les arrondissements de Saint-Léonard et d'Outremont sont ceux qui offrent le moins d'espace dédié aux cyclistes, ce qui explique la part inversement proportionnelle de l'espace partagé entre les cyclistes et les conducteurs [CD]. L'arrondissement de Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles, une zone majoritairement suburbaine, affiche la plus forte proportion d'espace de rue partagé entre piétons, cyclistes et conducteurs [PCD], indiquant que plusieurs rues résidentielles

de l'arrondissement ne disposent d'aucune infrastructure piétonnière dédiée. En revanche, la présence importante d'espace PCD dans les arrondissements du Sud-Ouest (SO) et de Ville-Marie est principalement due à la présence de zones industrielles et de voies de desserte et, dans le cas de Ville-Marie, à l'absence de trottoirs sur le réseau routier du parc Jean-Drapeau. Il est à noter qu'une piste cyclable est présente sur le circuit de Formule 1 de la ville, mais ce tracé n'apparaît pas dans le jeu de données de l'inventaire routier car il n'est séparé du trafic automobile que par des bornes temporaires. Il s'agit d'une limitation connue des outils de détection d'allocation de surface de rue utilisés dans les présents travaux.

4.1.3 Voirie : par type de rue

La figure 4.4 détaille la répartition moyenne de l'espace de voirie entre les différents usages de la rue à travers la zone d'étude selon les différentes classes fonctionnelles au cours de l'année de référence. La majorité de l'espace cyclable exclusif [C] se trouve sur les tronçons de rues artériels secondaires et principales. Les artères secondaires sont aussi celles où la plus grande part de l'espace de voirie est allouée aux piétons [P]. Les rues locales et collectrices, pour leur part, n'allouent presque aucun espace aux terre-pleins [M], qui recueillent au contraire près de 5 % de l'espace de voirie sur les artères principales. Ces terre-pleins jouent souvent un rôle de sécurisation des traverses piétonnes, particulièrement sur les tronçons de rues très larges, mais favorisent en même temps des vitesses de circulation plus élevées qui renforcent le caractère automobile de ces artères au détriment des modes actifs. Par ailleurs, la part d'espace allouée à la conduite automobile [D] est, de manière assez intuitive, plus élevée sur les artères que sur les tronçons de rues de classe inférieure, ce qui peut s'expliquer par une largeur plus importante ainsi qu'un nombre moyen de voies de circulation plus élevé.

L'espace de rue partagé entre les autobus et la circulation générale [DT], que l'on retrouve principalement sur les artères et les rues collectrices, représente 100 fois plus d'espace que les voies réservées aux autobus [T]. De manière similaire, l'espace partagé entre les cyclistes et la circulation automobile [CD] représente, en moyenne, 9 % de la superficie totale des rues, soit 10 fois plus que les voies cyclables exclusives [C]. Sur les artères principales et secondaires, on constate qu'une plus grande part de l'espace est allouée aux terre-pleins [M] qu'au transport collectif exclusif [T].

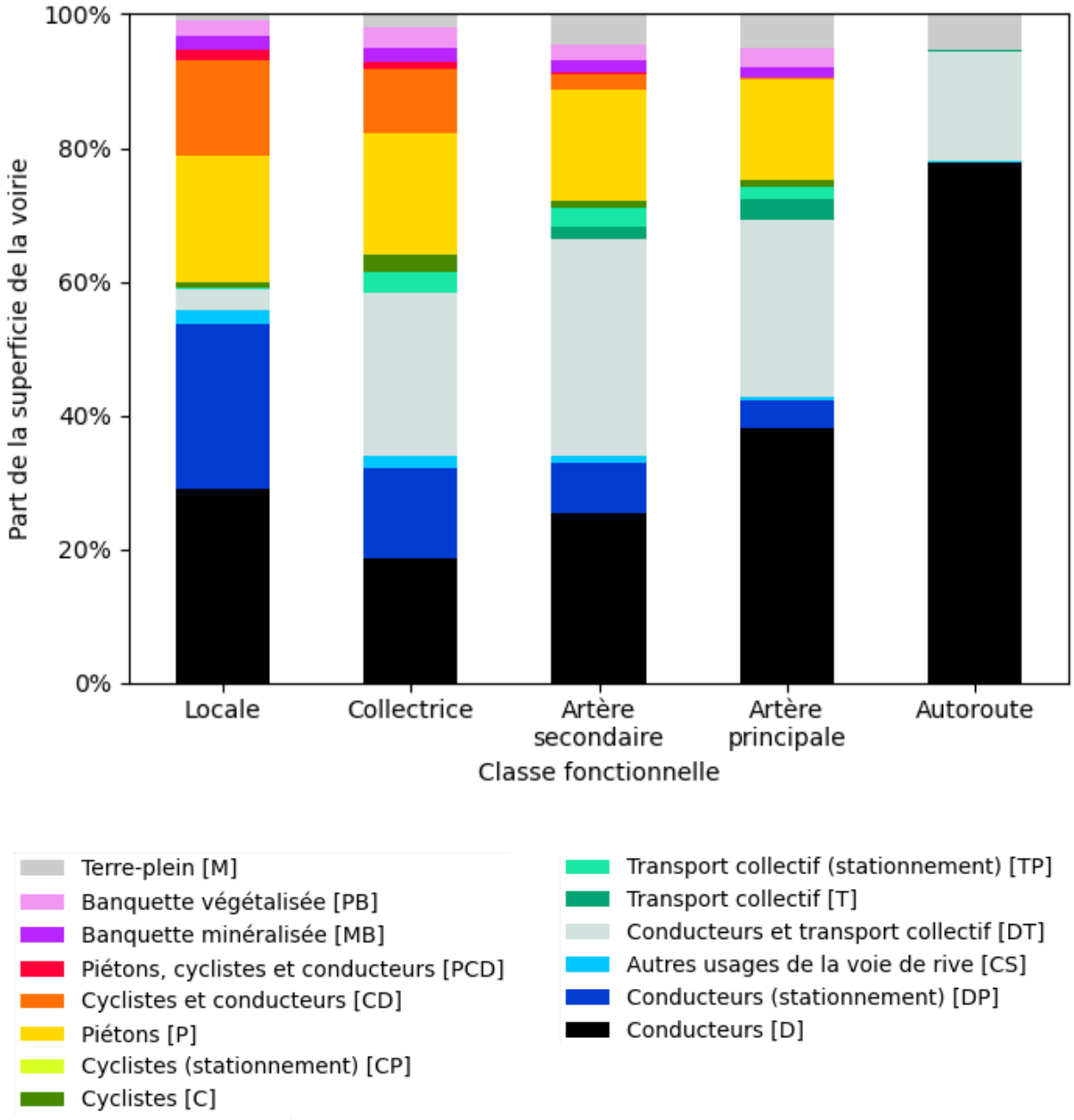


Figure 4.4 Répartition des surfaces de voirie selon l'usage et la classe fonctionnelle à l'échelle du territoire d'étude

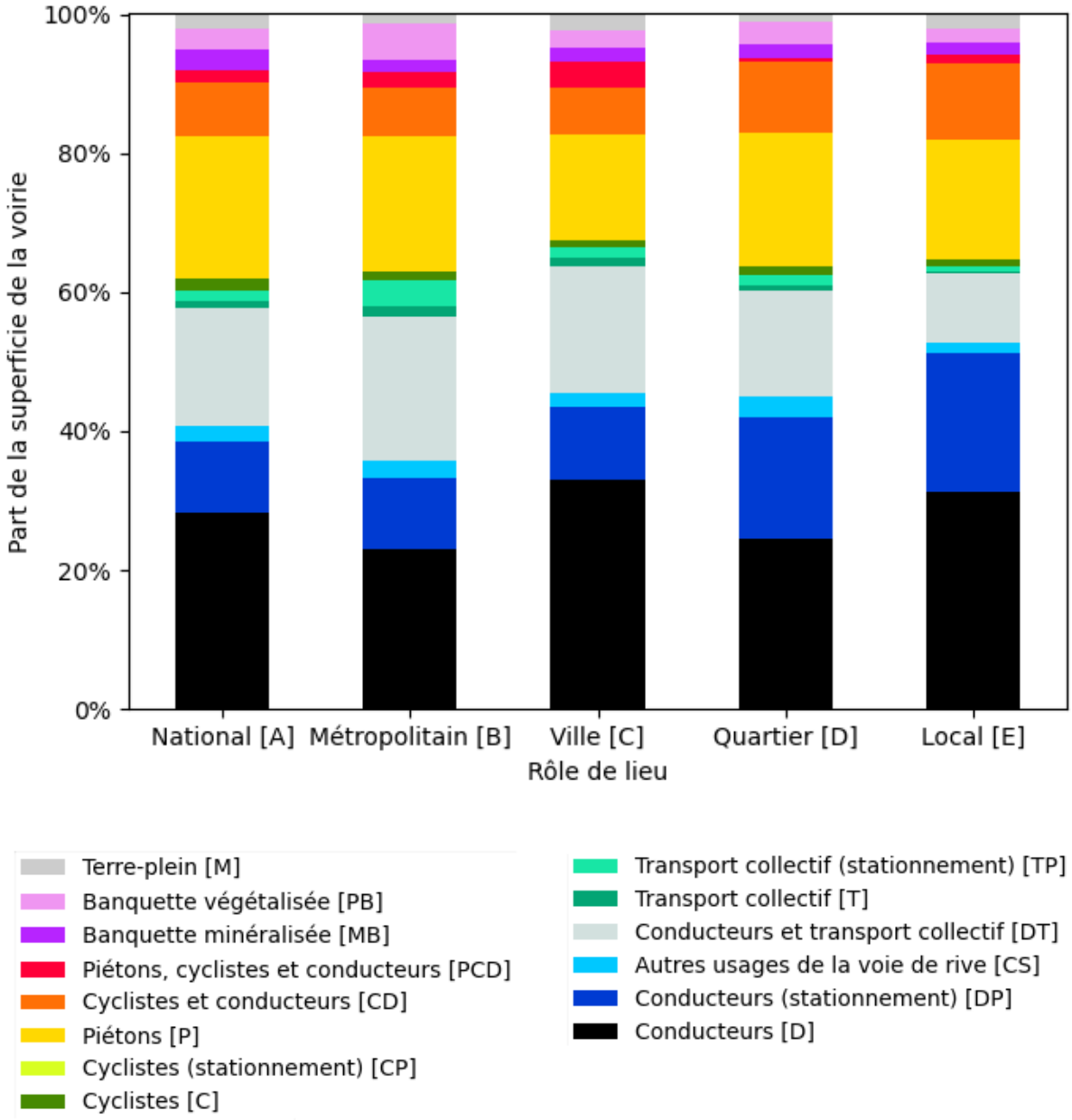


Figure 4.5 Superficie allouée à chacun des types de surfaces de voirie selon le rôle de lieu du tronçon, 1er janvier 2018, 8 h 00

Tel qu'illustré à la figure 4.5, la corrélation entre le rôle de lieu d'un tronçon de rue et la répartition de l'espace de voirie semble moins claire que dans le cas de son rôle de lien. On remarque tout de même que les tronçons de rues d'importance métropolitaine (classe B) sont ceux qui accordent en moyenne le plus de place aux modes actifs et collectifs et, proportionnellement, le moins de place au stationnement des véhicules.

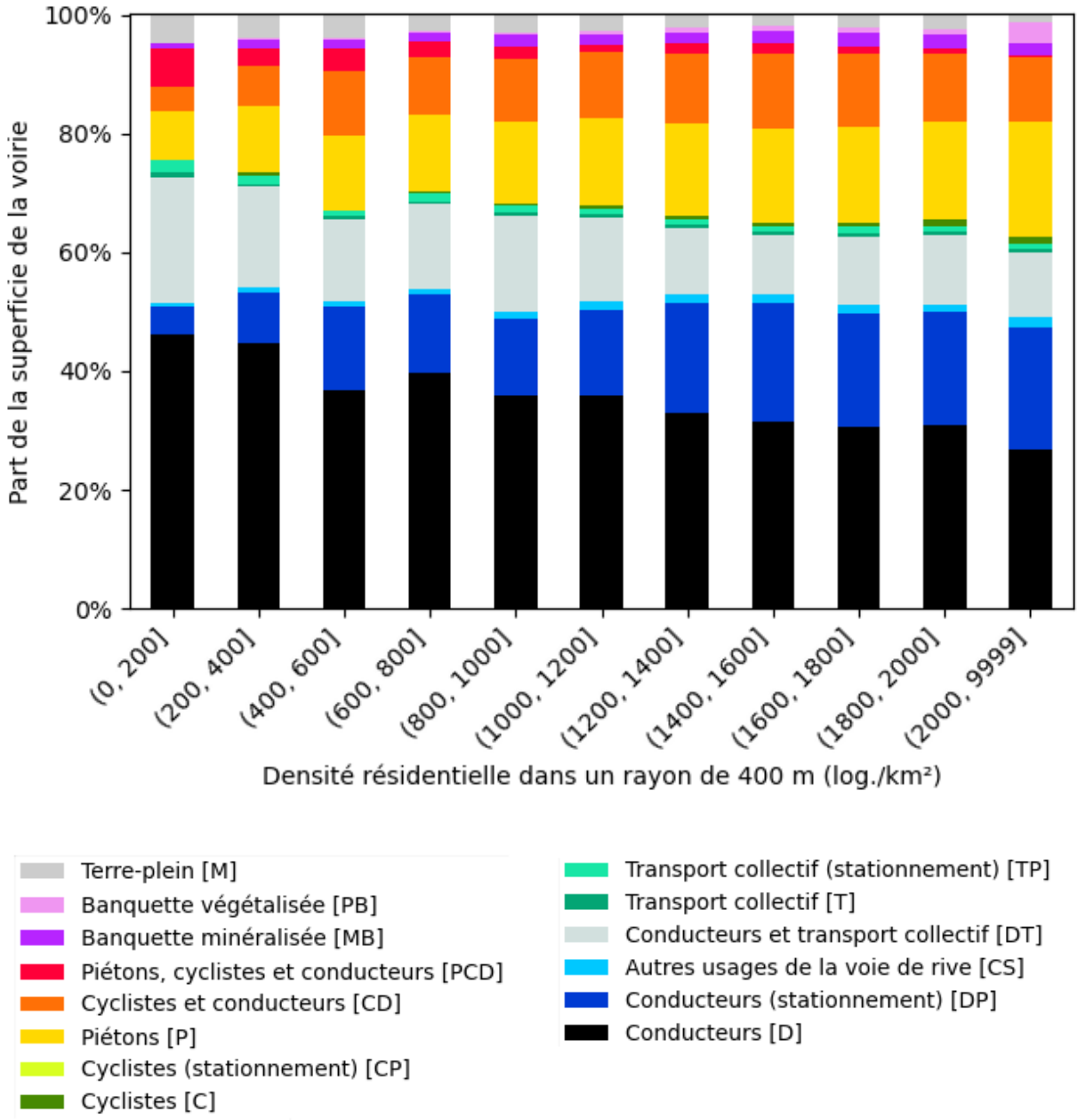


Figure 4.6 Superficie totale allouée à chacun des types de surfaces de voirie selon la densité résidentielle dans un rayon de 400 mètres, 1er janvier 2018, 8 h 00

Il est possible d'observer à la figure 4.6 que l'allocation de l'espace de voirie d'un tronçon de rue semble entretenir une relation avec la densité résidentielle du milieu urbain environnant. En effet, on constate que la part de l'espace de voirie consacrée au stationnement des véhicules [DP] prend de l'importance à mesure que la densité résidentielle dans les environs s'accroît. Les milieux les plus denses allouent proportionnellement moins d'espace de voirie à la circulation automobile [D],

mais davantage aux piétons [P] et aux cyclistes [C]. À l'inverse, les milieux moins denses privilégient l'espace consacré à la circulation [D]. On note également que l'espace partagé entre conducteurs et cyclistes [CD] est proportionnellement beaucoup moins présent dans les milieux moins denses; puisque cette diminution ne va pas de pair avec une augmentation de l'espace alloué exclusivement aux cyclistes [C], ce phénomène est plutôt imputable aux critères de confort cyclable qui ne sont pas atteints dans ce type de milieu en raison du nombre de voies de circulation ou de la vitesse maximale permise (voir section 3.2.5.1.3.5).

4.2 Variation temporelle de l'offre d'espace

En plus des différences observables à travers le territoire d'étude, l'allocation des surfaces de voirie change également en fonction du moment dans la journée, la semaine ou l'année. En effet, de nombreux mécanismes régissent l'allocation de la voirie à différentes catégories d'usage : voies réservées au transport collectif, restrictions de stationnement, voies de circulation en période de pointe, piétonnisation, voies cyclables saisonnières, etc. Cette flexibilité dans l'allocation des surfaces change le visage des rues du territoire d'étude, mais est pourtant rarement étudiée dans le contexte de l'évaluation du partage de la rue. Cette section effectue tout d'abord une description de la variation agrégée de l'allocation de la voirie au sein du territoire d'étude. Des indicateurs sont ensuite proposés afin de présenter les dynamiques de flexibilité temporelle de la voirie de manière synthétique. Une analyse par apprentissage machine supervisé permet finalement d'identifier les facteurs corrélés à une plus grande flexibilité de l'espace de voirie.

4.2.1 Analyse descriptive de la variation temporelle

La figure 4.7 illustre la variation hebdomadaire de l'allocation de l'espace de voirie au cours de l'année 2018. L'allocation des surfaces y est mesurée tous les lundis à minuit pour chaque usage et est comparée à l'allocation de référence au 1er janvier 2018. Les variations relatives les plus importantes peuvent être observées sur les rues collectrices, qui représentent 12 % de la longueur totale des rues dans la zone d'étude. Ces variations sont principalement dues à l'apparition d'espaces dédiés au vélo entre la fin mars et le début novembre, bien qu'il soit aussi possible d'observer la piétonnisation de plusieurs tronçons de rues pendant les mois d'été. Au total, tout au plus 0,6 % de la superficie totale la voirie du territoire d'étude est réaffectée à d'autres usages sur une base saisonnière.

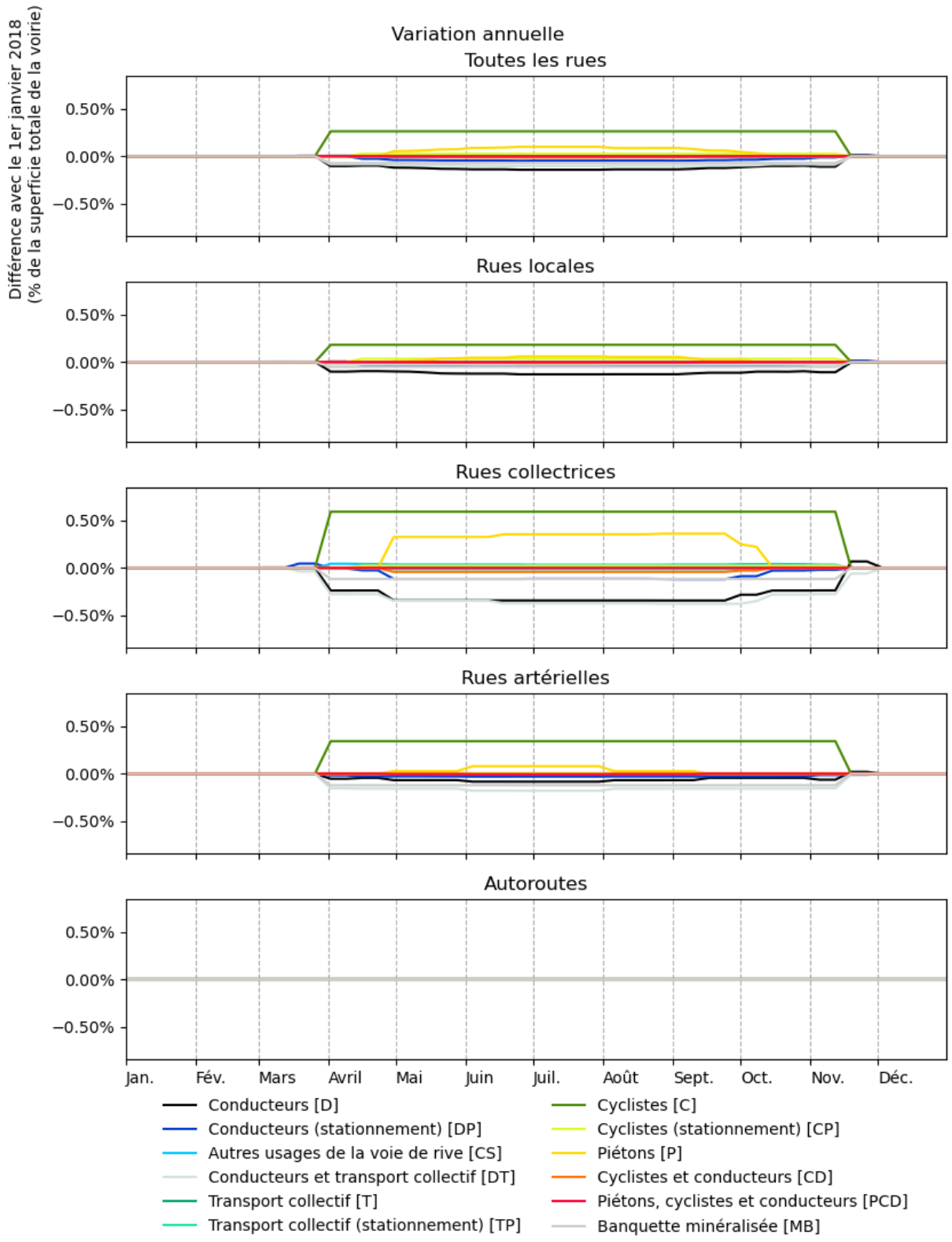


Figure 4.7 Variation hebdomadaire de l'allocation des surfaces de voirie entre chaque lundi de l'année au sein du territoire d'étude par rapport au 1er janvier 2018

La figure 4.8 illustre la variation de l'allocation des surfaces de voirie du territoire d'étude au cours de la première semaine de l'année d'étude, du 1er au 7 janvier 2018. Les dynamiques à l'œuvre diffèrent substantiellement selon la classe fonctionnelle des tronçons de rues. Jusqu'à 2,0 % de l'espace de voirie est réaffecté à d'autres usages sur les tronçons de rues des réseaux local et collecteur en semaine, tandis que ce pourcentage grimpe à 3,5 % sur les tronçons de rues du réseau artériel. Sur les tronçons de rues des réseaux local et collecteur, l'espace consacré au stationnement [DP] est réaffecté soit à d'autres fonctions de la voie de rive [CS] (zones de prise en charge/dépose, stationnement des résidents, zones de livraison), soit à la circulation automobile [D]. Très peu de ces tronçons de rues abritent des voies réservées aux autobus [T], ces dernières entrant en fonction presque exclusivement sur les artères, et ce, principalement durant les périodes de pointe. Il est à noter qu'il est interdit aux cyclistes de circuler dans les rues où une voie réservée est en fonction, à moins que celle-ci ne le permette explicitement – un cas de figure absent du territoire d'étude pour l'année de référence – ou qu'une voie cyclable exclusive [C] ne soit présente sur le tronçon. Ceci explique la diminution de l'espace partagé entre les cyclistes et les conducteurs [CD] sur les tronçons artériels pendant les périodes de pointe en semaine. La flexibilité de l'espace de rue durant la fin de semaine reste élevée dans les rues locales et collectrices mais est beaucoup plus faible sur les artères. Pour leur part, les autoroutes du territoire d'étude ne montrent aucune variation, à l'exception de l'autoroute des Laurentides (A-15) lors de sa traversée de l'arrondissement Ahuntsic-Cartierville, où l'on retrouve une voie réservée au transport collectif en période de pointe de l'après-midi[43].

[43] Contrairement aux voies réservées sur le réseau municipal, certaines des voies réservées sur autoroute sont ouvertes au covoiturage ainsi qu'aux véhicules électriques. Cette particularité n'a toutefois pas été traitée dans les présents travaux et toutes les voies réservées sont considérées comme étant exclusivement réservées au transport collectif.

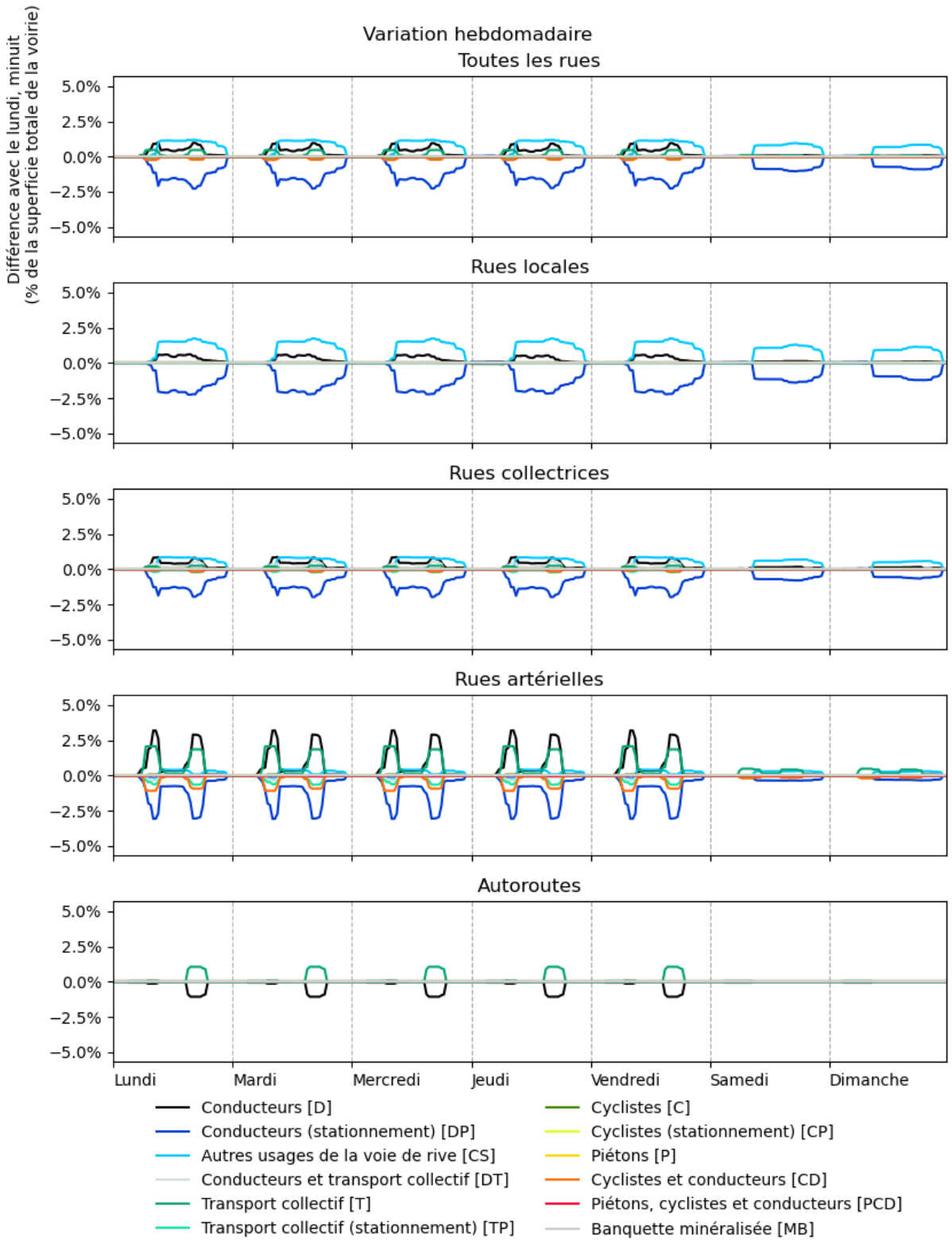


Figure 4.8 Variation de l'allocation des surfaces de voirie durant la semaine du 1er au 7 janvier au sein du territoire d'étude par rapport au 1er janvier 2018 à minuit

Afin de mieux saisir les dynamiques de variation de l'espace dans les rues du territoire d'étude, deux indicateurs synthèses sont développés : un indicateur de fréquence du changement d'allocation des surfaces (f_r) et un indicateur d'amplitude de la variation (A_r).

4.2.2 Fréquence de la variation de l'allocation des surfaces de voirie

L'indicateur de fréquence f_r détermine, pour chaque tronçon de rue r, le nombre moyen quotidien de périodes d'une demi-heure i au cours de l'année de référence où l'allocation a de l'espace diffère de l'allocation à la période précédente, et ce, pour au moins une catégorie d'usages u.

$$f_r = \frac{\sum_{i=2}^{17520}\left[\exists u\left(a_{r,u,i} \neq a_{r,u,i-1}\right)\right]}{365}$$

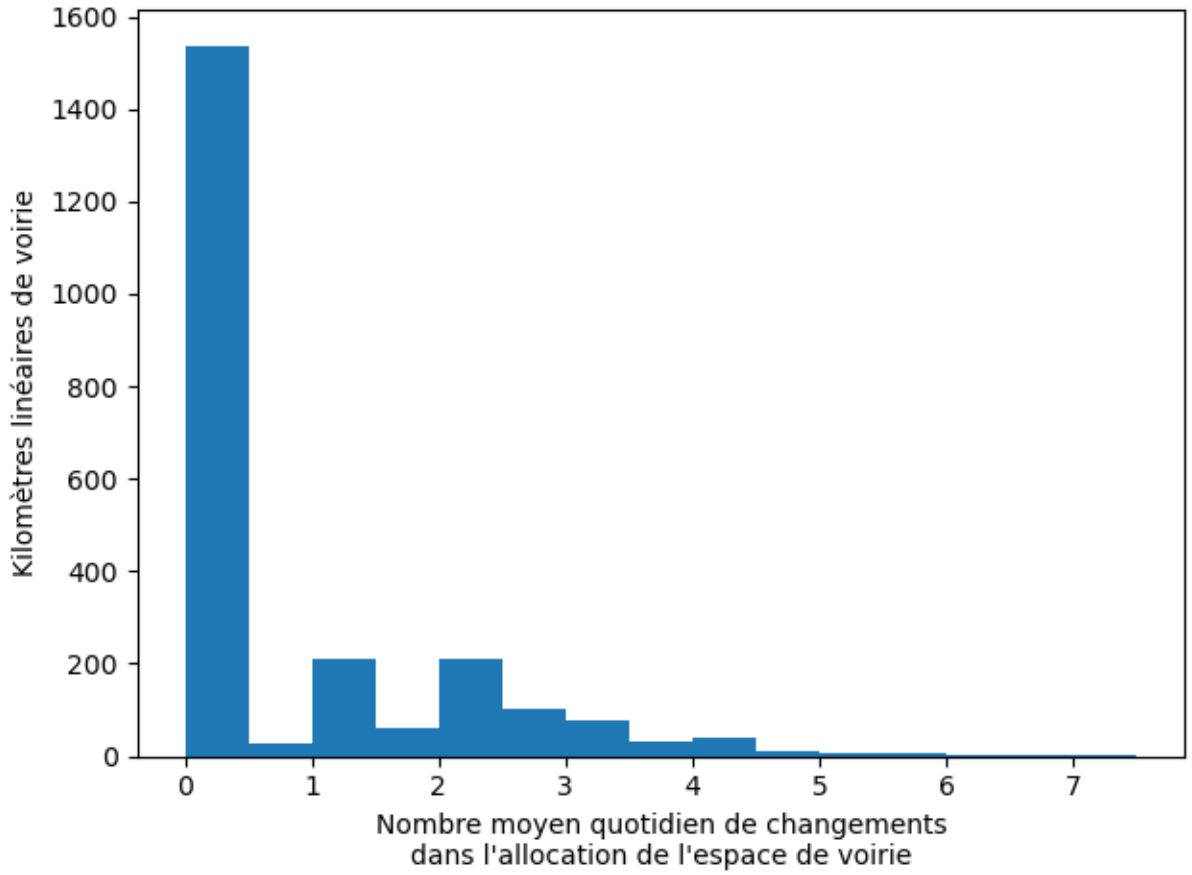


Figure 4.9 Distribution de l'indicateur de fréquence f_r à l'échelle du territoire d'étude

Tel qu'illustré à la figure 4.9, la majorité des tronçons de rues du territoire d'étude (54,07 % de la longueur totale) ne font l'objet d'aucune modification dans l'allocation de l'espace de voirie[44] au cours de l'année de référence 2018. Parmi les tronçons restants, la majorité (38,34 % de la longueur totale des tronçons) est visée par moins de 3 changements par jour en moyenne. Une forte fréquence dans l'allocation de l'espace de voirie semble donc être réservée à des situations spécifiques.

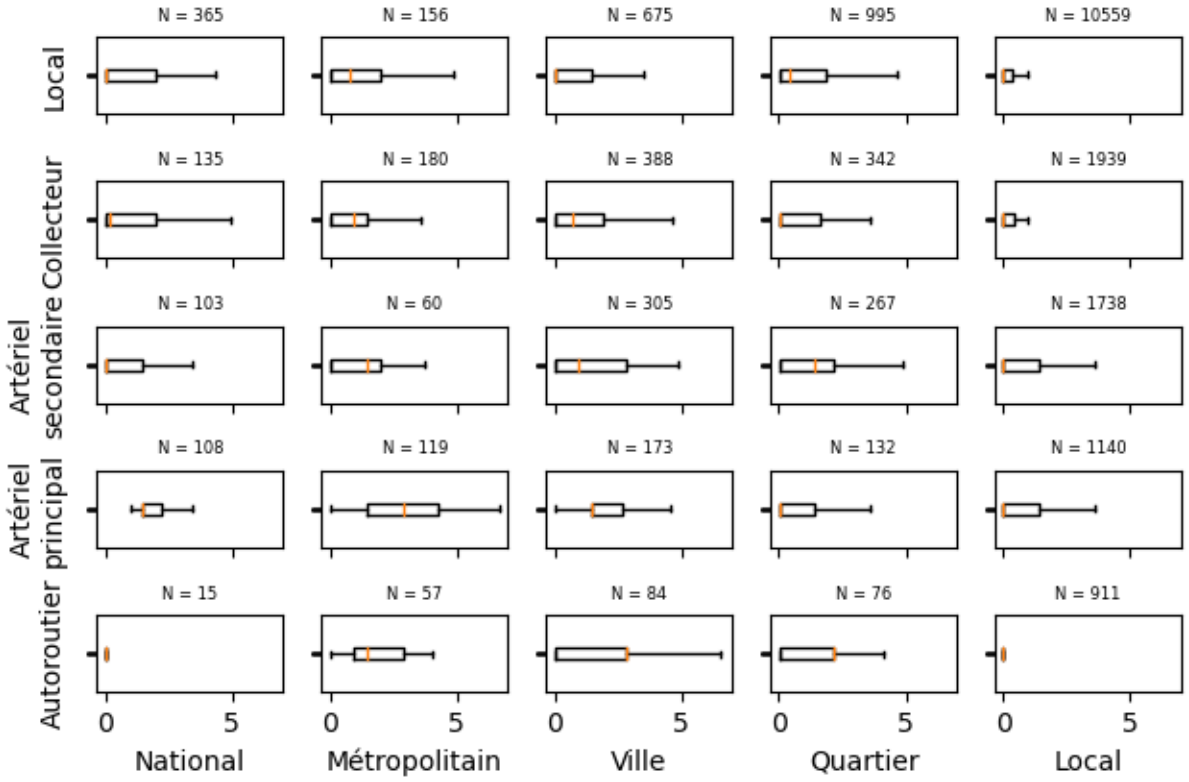


Figure 4.10 Distribution de la fréquence moyenne quotidienne de variation de l'allocation d'espace de voirie selon le rôle de lien et de lieu

La figure 4.10 illustre la distribution de l'indicateur de fréquence f_r selon la classe de lien et de lieu des tronçons de rues du territoire d'étude. On y constate que les rues où l'on retrouve un rôle important de lieu et de lien – les artères jouant un rôle de lieu municipal ou métropolitain, par exemple – sont plus susceptibles d'être caractérisées par une valeur élevée de l'indicateur de

[44] Il est à noter que, tel que spécifié à la section 3.2.5.1.3.1, les interdictions de stationnement pour nettoyage des rues ne sont pas comptabilisées.

fréquence. Cela suggère que les dispositifs d'allocation de l'espace en fonction de l'heure de la journée peuvent notamment servir à mitiger les conflits entre deux rôles potentiellement contradictoires d'une rue. Par exemple, le stationnement peut être interdit en période de pointe du matin sur une artère commerciale au rayonnement métropolitain dans le but de faciliter la circulation automobile, mais être permis durant la période de pointe de l'après-midi afin de privilégier l'accès aux commerces.

La fréquence de variation de l'allocation de l'espace de voirie semble également dépendre de la situation géographique des tronçons de rues. La figure 4.11 illustre la distribution spatiale de l'indicateur de fréquence f_r. On y remarque que les tronçons de rues caractérisés par une fréquence élevée se concentrent surtout sur le réseau artériel dans les arrondissements périphériques (Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles et Saint-Léonard, notamment), tandis que le centre-ville et les quartiers adjacents (Ville-Marie et Le Plateau-Mont-Royal en particulier) sont caractérisés par une forte fréquence de variation sur l'ensemble du réseau viaire. La majorité de la variation dans les rues locales est due à la présence de zones de stationnement sur rue réservé aux résidents (SRRR), tandis que les rues des réseaux artériel et collecteur sont plutôt visées par des réallocations des voies de stationnement au profit de la circulation automobile ou du transport collectif durant les périodes de pointe.

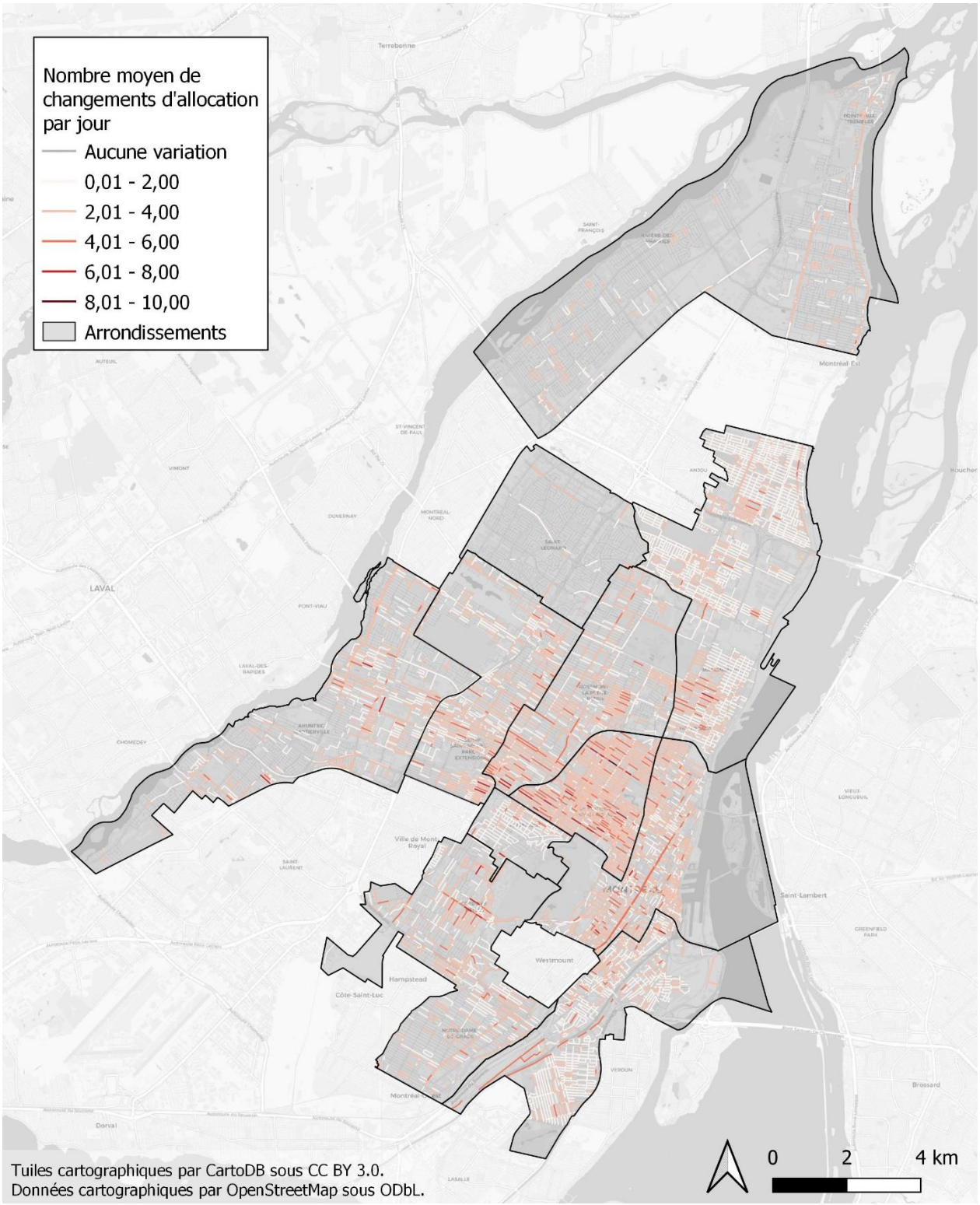


Figure 4.11 Fréquence moyenne de la variation de l'allocation de la voirie selon le tronçon de rue au cours de l'année 2018

4.2.3 Amplitude de la variation de l'allocation des surfaces de voirie

L'indicateur d'amplitude A_r détermine, pour chaque tronçon de rue r, la portion maximale de l'espace de voirie qui est réallouée au cours de l'année de référence à travers l'ensemble des catégories d'usages u.

$$A_s = \max\left(\frac{\sum_{u=1}^{14}\sqrt{v_{r,u,i}^2}}{2}\right)$$

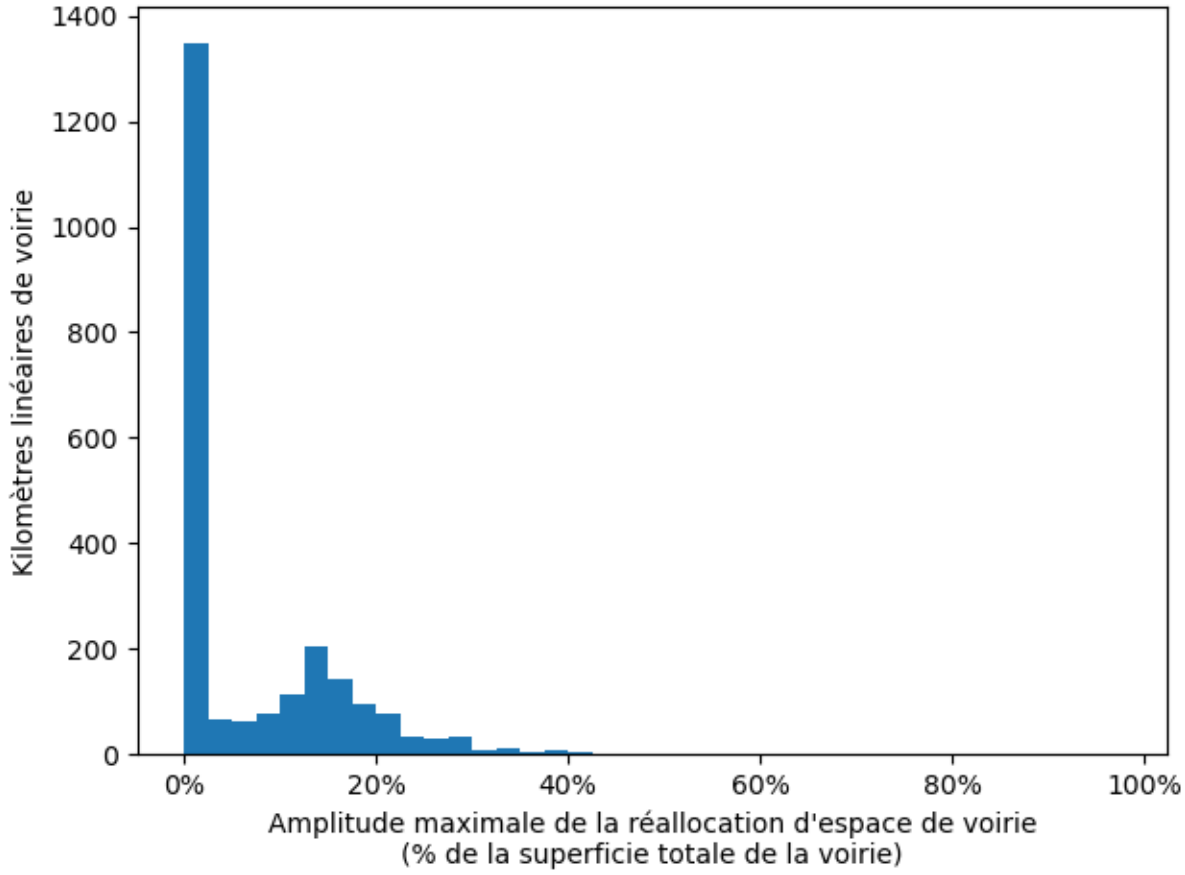


Figure 4.12 Distribution de l'indicateur d'amplitude A_r à l'échelle du territoire d'étude

Tel que mentionné plus haut, 54,07 % de la longueur totale des tronçons de rues du territoire d'étude ne sont visés par aucune réallocation de l'espace de voirie au cours de l'année de référence. La valeur de l'indicateur d'amplitude A_r pour ces tronçons est donc de 0 %. Parmi les tronçons

restants, l'amplitude moyenne de la variation de l'espace de voirie, c'est-à-dire la part maximale de la surface de voirie qui est réallouée au cours de l'année, est de 14,19 %.

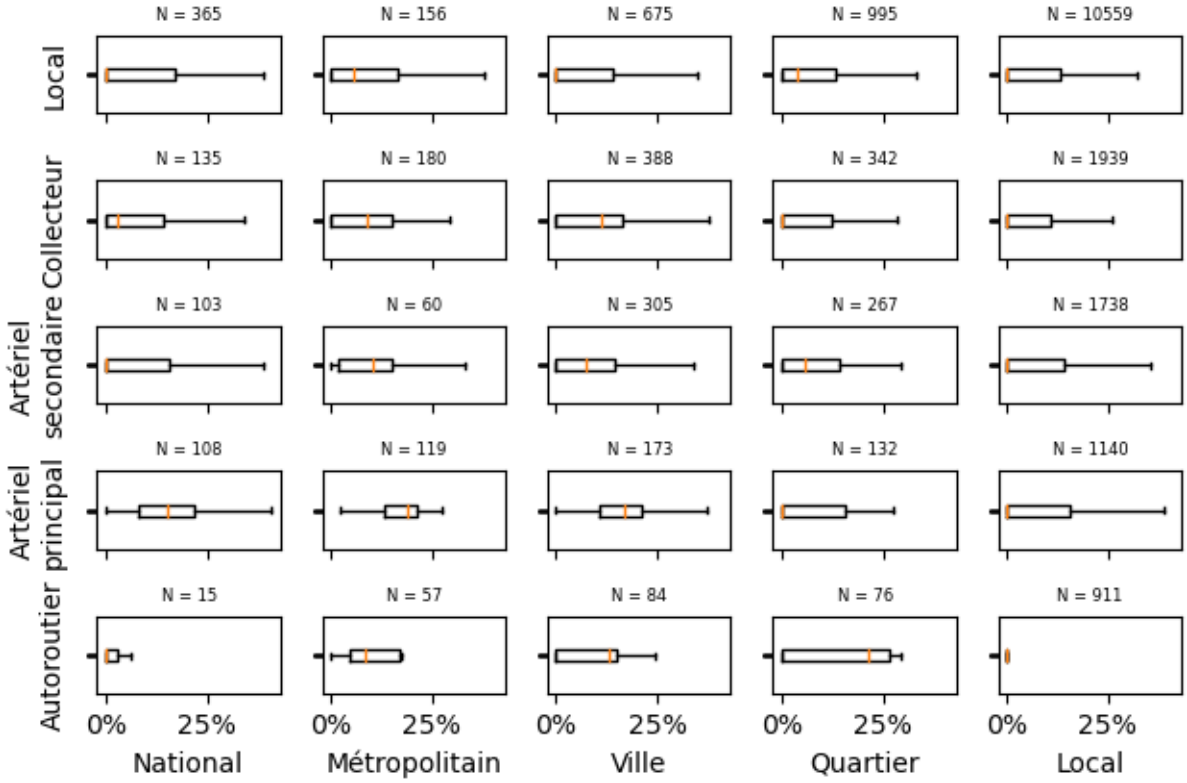


Figure 4.13 Distribution de l'amplitude maximale de variation de l'allocation d'espace de voirie selon le rôle de lien et de lieu

La figure 4.13 illustre la distribution de l'indicateur d'amplitude A_r selon la classe de lien et de lieu des tronçons de rues du territoire d'étude. Comme dans le cas de l'indicateur de fréquence, les rues qui cumulent un rôle important à la fois dans la dimension de lien et de lieu sont plus susceptibles de faire l'objet d'une réallocation importante de l'espace de voirie. La figure 4.14 permet de constater que les rues où l'amplitude de la réallocation de l'espace est la plus importante se situent, encore une fois, dans les quartiers centraux, avec les valeurs d'amplitude les plus élevées se retrouvant sur les tronçons piétonnisés en période estivale.

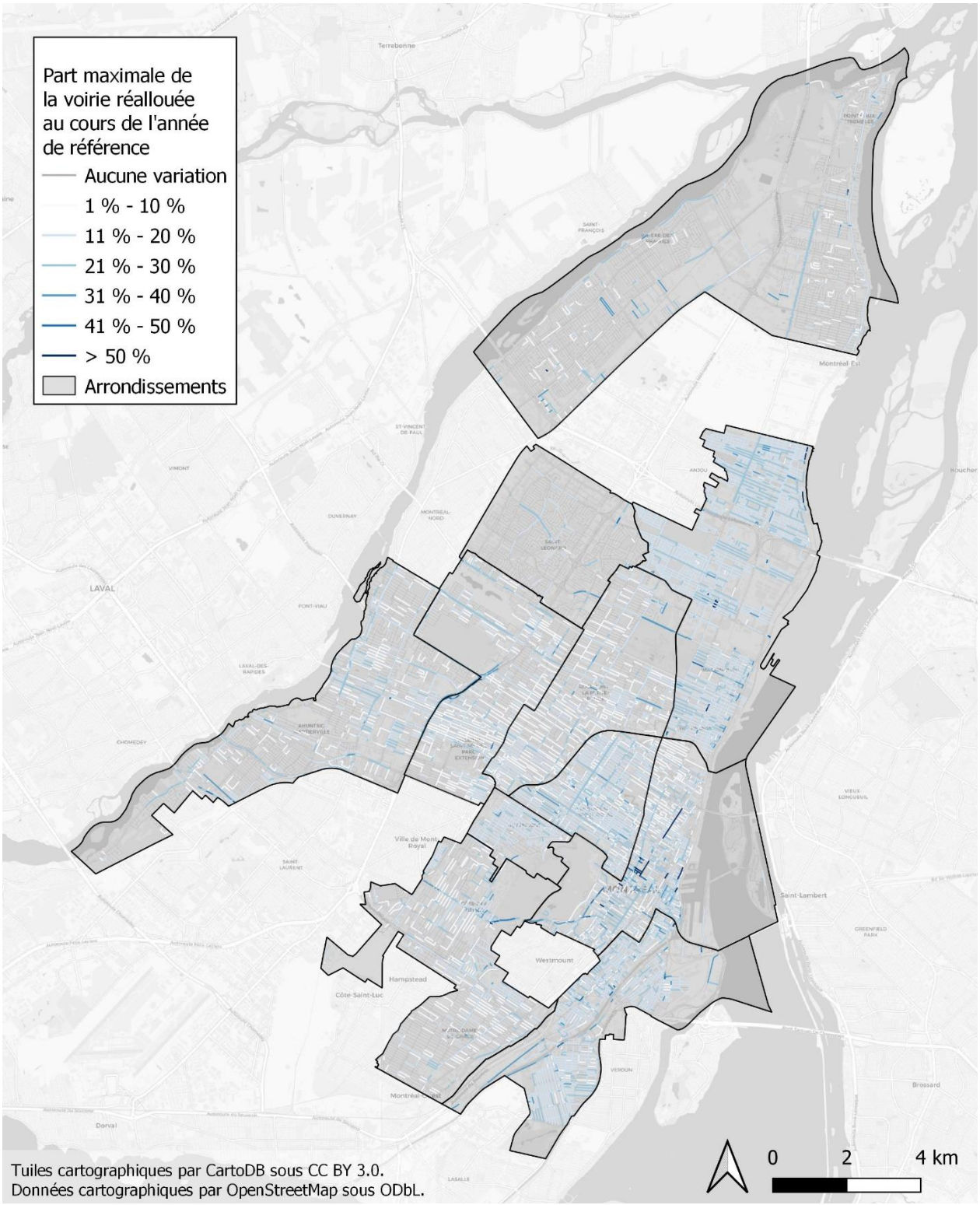


Figure 4.14 Amplitude maximale de la variation de l'allocation de la voirie selon le tronçon de rue au cours de l'année 2018

4.2.4 Déterminants de la variation temporelle

Afin de mieux cerner les caractéristiques qui sont corrélées à une fréquence et une amplitude accrues de la variation de l'espace de voirie, une analyse par arbres de régression est appliquée à la base de données des tronçons de rues. Ce processus d'apprentissage supervisé vise à classer les observations d'un jeu de données en fonction d'une variable dépendante – dans le cas présent, la fréquence (f_r) ou l'amplitude (A_r). L'objectif est d'obtenir des groupes contenant des observations les plus homogènes possibles en segmentant le jeu de données à l'aide de diverses variables indépendantes de manière successive. Le processus produit une structure hiérarchique appelée arbre de régression où les « feuilles » de l'arbre constituent les groupes finaux et les « nœuds », les points de segmentation en fonction des différentes variables indépendantes. Plus une variable est déterminante dans la segmentation, c'est-à-dire plus son effet sur l'homogénéité des groupes résultants est élevé, plus elle se retrouve près du point de départ de l'arbre. L'analyse de la hiérarchie des nœuds permet ainsi d'avoir un aperçu de l'importance et de la priorité des interactions entre les différentes variables indépendantes et la variable dépendante.

Tableau 4.2 Variables employées dans l'analyse de classification hiérarchique

Variable	**Type**
Capacité de stationnement sur rue (0 à 100 % des voies de rive)	Continue
Nombre total de voies (circulation + stationnement)	Continue
Largeur de la rue (m)	Continue
Utilisations du sol présentes dans les parcelles riveraines (résidentielle, commerciale, institutionnelle, industrielle, espace vert)	0 ou 1
Classe de lien (autoroute, artère/collectrice, locale)	0 ou 1
Classe de lieu (national/métropolitain, ville/quartier, local)	0 ou 1

Un arbre de régression est construit à l'aide du module Python *scikit-learn* 0.23.2 (Pedregosa et al., 2011) pour chacun des deux indicateurs de variation, f_r et A_r. Les variables indépendantes employées dans l'analyse sont présentées au tableau 4.2. Les arbres sont entraînés sur un jeu d'entraînement comportant 70 % des données et sont ensuite appliqués à un jeu de validation comptant 30 % des données. La profondeur des arbres, c'est-à-dire le nombre de niveaux de segmentation, est sélectionnée au terme d'un processus de 10 itérations visant à maximiser le R^2 moyen sur l'ensemble de données de validation. Les arbres sont ensuite élagués à l'aide de la méthode du « *cost complexity pruning* » (scikit-learn, s. d.).

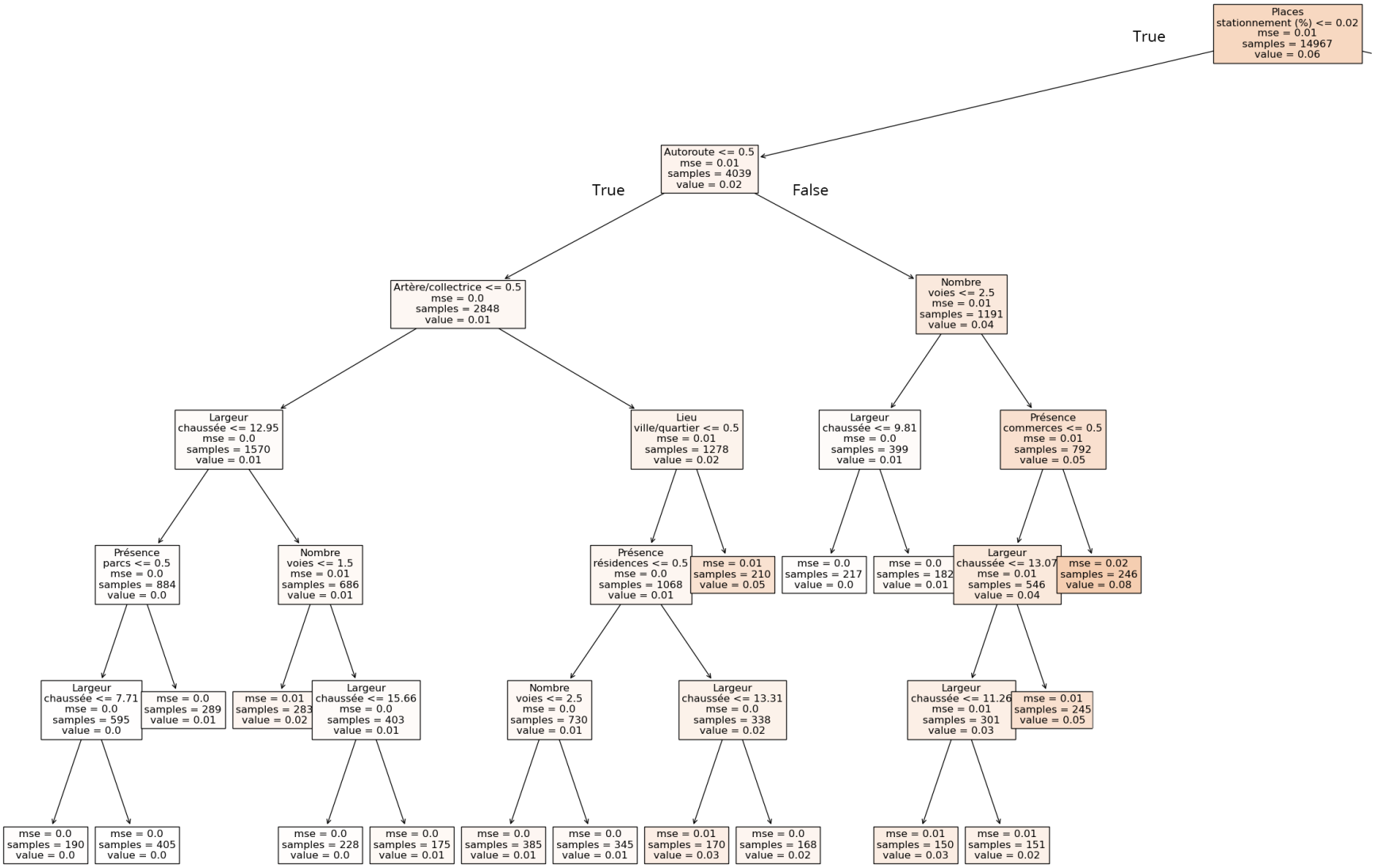


Figure 4.15 Arbre de régression employant l'indicateur de fréquence f_r comme variable dépendante (1/2)

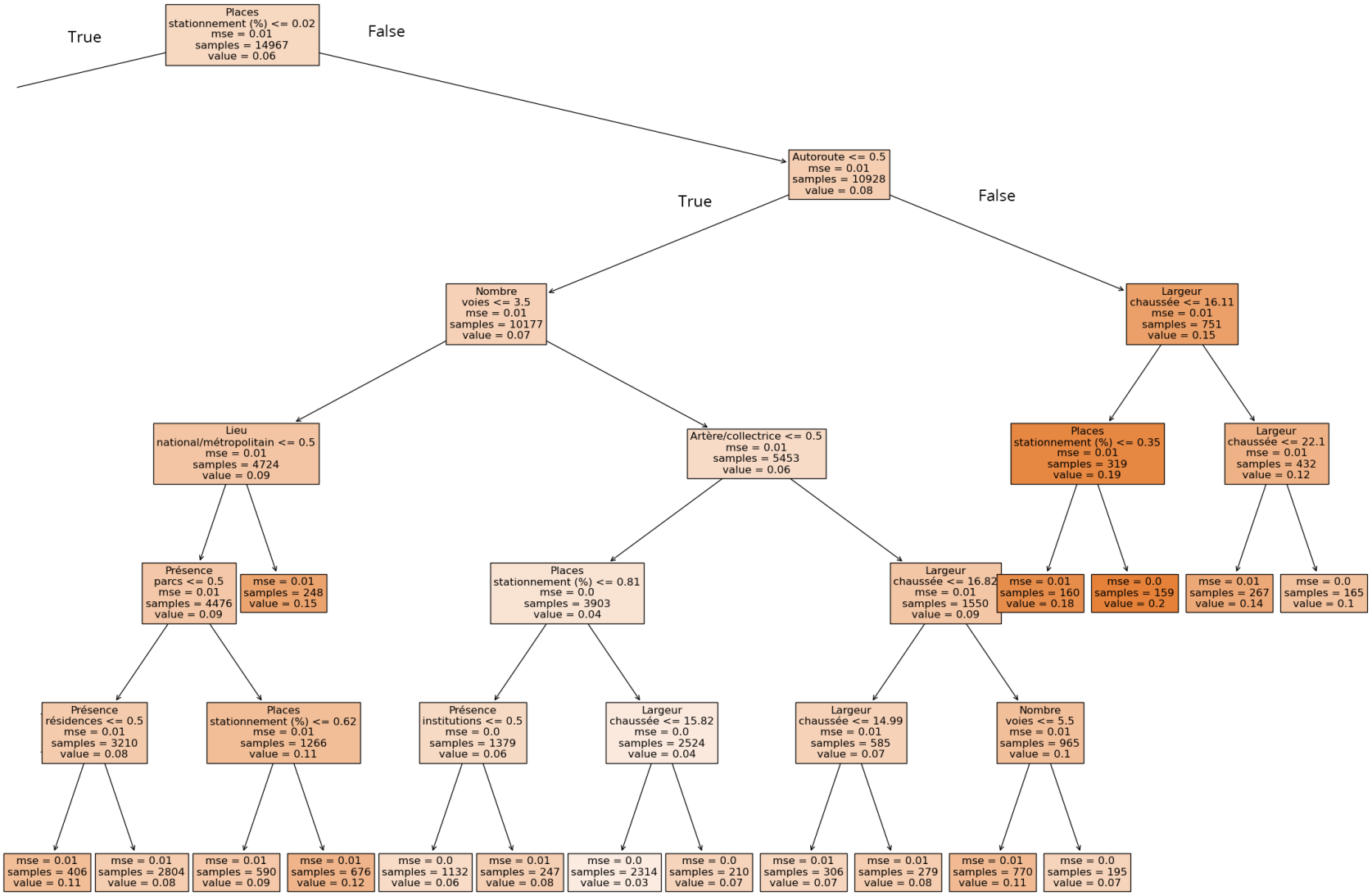


Figure 4.16 Arbre de régression employant l'indicateur de fréquence f_r comme variable dépendante (2/2)

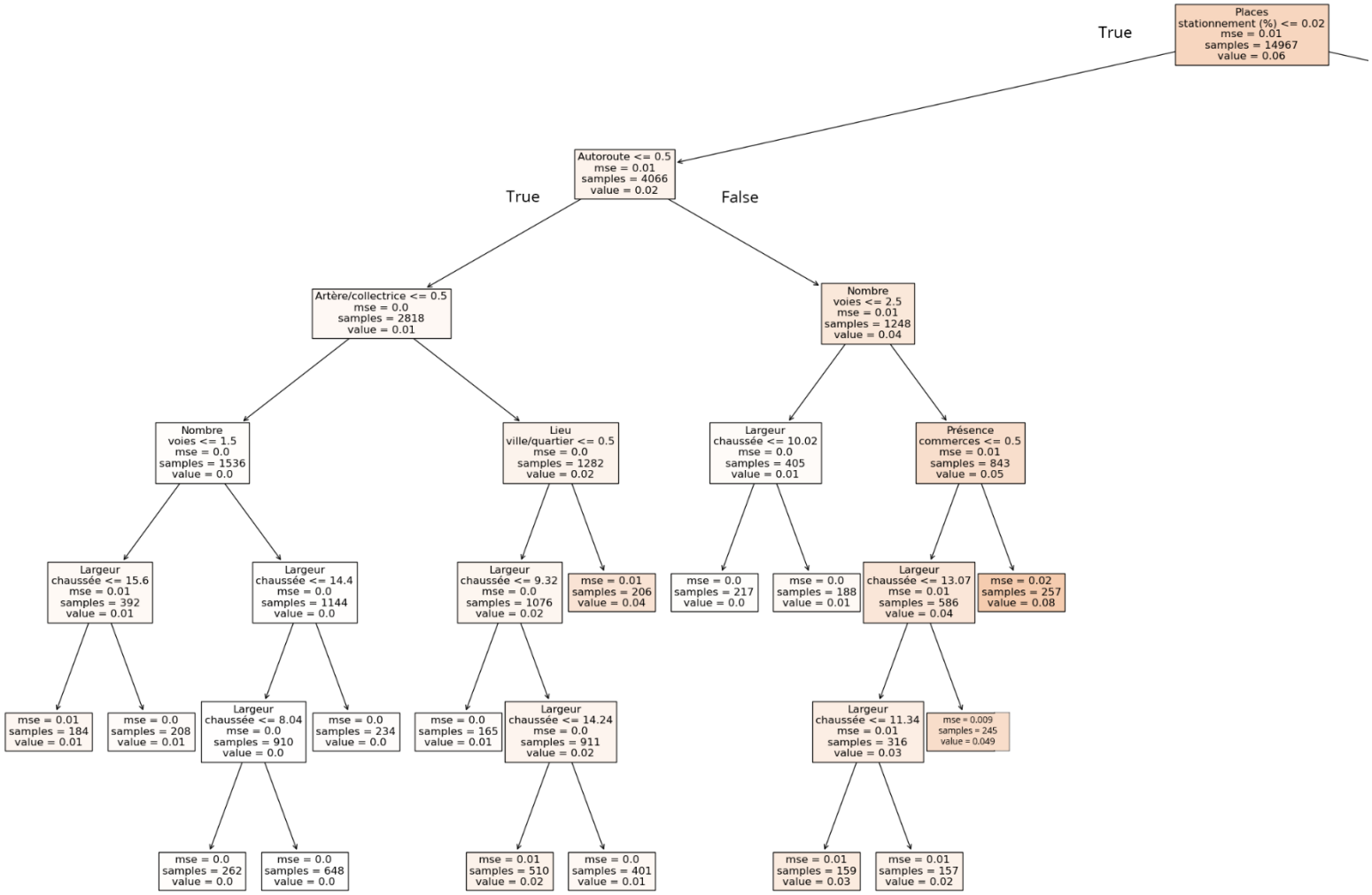


Figure 4.17 Arbre de régression employant l'indicateur d'amplitude A_r comme variable dépendante (1/2)

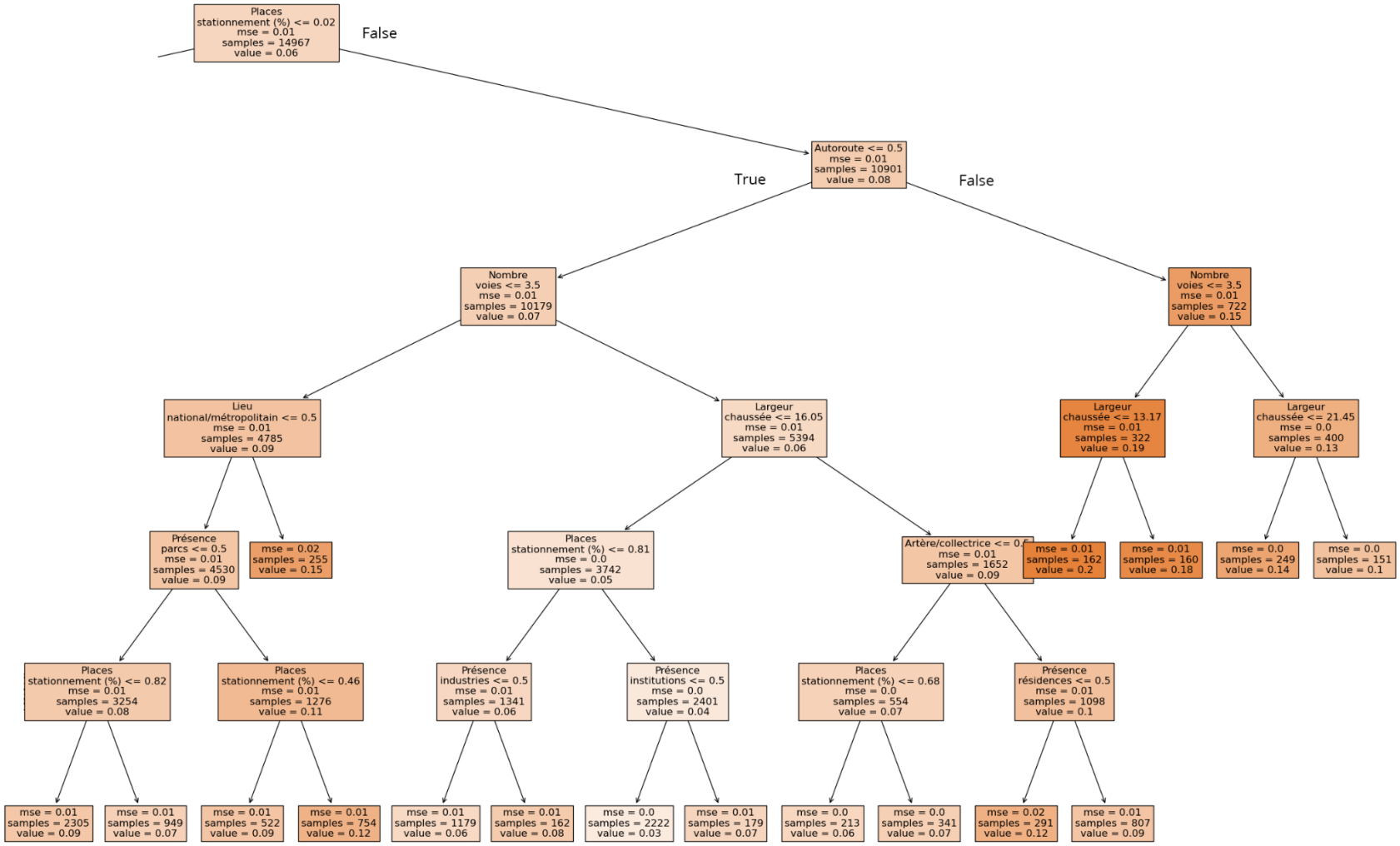


Figure 4.18 Arbre de régression employant l'indicateur d'amplitude A_r comme variable dépendante (2/2)

L'arbre de régression employant l'indicateur de fréquence f_r (voir figure 4.15 et figure 4.16) permet de constater que le facteur le plus déterminant pour la fréquence de variation de l'allocation de l'espace de voirie semble être la présence de places de stationnement sur un tronçon de rue, comme l'indique le premier nœud. Cela souligne la grande flexibilité des voies de rive dans le contexte du territoire d'étude, puisque ce sont celles-ci qui font l'objet de la majorité des réallocations d'espace. En cas d'absence de stationnement, on observe que le second facteur en importance est la présence de plus de deux voies de circulation, tandis que les rues dotées de stationnement sont caractérisées par une fréquence de variation plus élevée en présence d'un usage commercial. Le troisième facteur d'importance dans tous les cas est le rôle de lien, l'appartenance au réseau collecteur ou artériel secondaire étant corrélée à une plus grande fréquence de variation. On note ensuite que la présence d'usages non résidentiels (institutions ou espaces verts) est également corrélée, dans une moindre mesure, à une augmentation de la fréquence de variation. Les rues larges et celles dont plus de 50 % de l'espace des voies de rive est consacré au stationnement sont également associées à une forte fréquence, tandis que les rues étroites sont plutôt associées à une valeur de f_r plus faible.

Pour sa part, l'arbre de régression de l'indicateur d'amplitude A_r (voir figure 4.17 et figure 4.18) permet de constater que, comme dans le cas de la fréquence de variation, la présence d'espaces de stationnement sur rue constitue le premier facteur déterminant. Les variables corrélées à l'amplitude de variation sont sensiblement les mêmes que dans le cas de la fréquence, sauf l'utilisation du sol des parcelles riveraines qui n'apparaît plus aussi haut dans l'arbre.

4.3 Synthèse et limites

L'analyse de la variation spatiale et temporelle de l'allocation d'espace de voirie au cours d'une année complète permet de constater qu'il existe des différences importantes dans le traitement de l'espace public entre les différents arrondissements du territoire d'étude. Les arrondissements périphériques (Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles, plus particulièrement), dont la majorité du territoire s'est développé dans la deuxième moitié du siècle dernier sur un modèle centré sur l'automobile, disposent d'emprises de voirie plus larges et de marges plus importantes. Cette importante provision d'espace permet notamment d'offrir aux automobilistes une importante quantité de places de stationnement hors-voirie. À l'inverse, les arrondissements centraux, développés avant la démocratisation de l'automobile, font face à davantage de contraintes spatiales.

Les marges y sont étroites, le stationnement hors-voirie y est plus rare et l'espace de voirie fait l'objet de pressions importantes, ce qui se traduit notamment par une plus grande flexibilité de l'allocation de la voirie.

Toutefois, cette flexibilité est toute relative puisque moins de 1 % de l'espace de voirie à l'échelle du territoire d'étude est à même d'être réalloué à un autre usage à tout moment de l'année de référence, tandis que plus de la moitié des tronçons de rues ne fait l'objet d'aucune réallocation au cours de l'année de référence. Les surfaces réallouées, pour leur part, sont très majoritairement des voies de rive principalement consacrées au stationnement sur rue et converties temporairement en voies de circulation, en voies réservées au transport collectif ou en zones de stationnement restreint (livraisons, débarcadères, etc.). Ces changements d'usage surviennent en moyenne 1,6 fois par jour, principalement sur les rues jouant un rôle de lien et de lieu important. De telles réallocations ont le plus souvent pour objectif d'améliorer la fluidité de la circulation automobile; en effet, la quantité d'espace réallouée au profit de la circulation automobile en pointe du matin est près de cinq fois supérieure à la superficie totale réallouée au profit du transport collectif. La flexibilité spatiale de l'espace de voirie semble également répondre à un besoin de mitigation des conflits entre les différents rôles de lien et de lieu des rues en période de pointe.

Il est à noter que les méthodes employées ne permettent pas de saisir l'ensemble des variations dans l'allocation des espaces de voirie au cours de l'année de référence. En effet, plusieurs des réallocations ne sont répertoriées dans aucune base de données centralisée et ne sont par le fait même pas intégrées aux analyses. À titre d'exemple, plusieurs rues commerciales sont piétonnisées quelques fins de semaine par année pour des foires commerciales ou des ventes-trottoir, ou encore pour des festivals de quartier. Toutefois, puisque ces piétonnisations ne sont pas réalisées dans le cadre du programme des rues piétonnes et partagées de la ville-centre, elles ne sont pas incluses dans le jeu de données employé dans cette thèse. De même, de très nombreux restaurants installent des terrasses sur le domaine public, souvent dans la voie de stationnement, durant la période estivale, mais aucun inventaire centralisé de ces équipements n'est disponible au moment de la rédaction de cette thèse. Ainsi, la variation de l'allocation de l'espace de voirie sur une base annuelle est certainement sous-estimée dans le cas des rues commerciales du territoire d'étude.

CHAPITRE 5 ÉQUILIBRE ENTRE LES DIMENSIONS DE LA RUE

Le partage de la rue est envisagé par certains auteurs (Hui et al., 2018; Jones et al., 2009; Rodriguez-Valencia, 2014) comme une allocation équilibrée de l'espace non pas seulement entre les modes de transport mais entre les dimensions fondamentales de la rue, à savoir les dimensions de lien, de lieu et d'environnement. Ainsi, la rue équilibrée serait celle qui alloue une quantité équitable d'espace à chacune de ces trois dimensions afin de résoudre le problème d'allocation de l'emprise de voirie, tel que discuté à la section 2.2. Cela présuppose que la rue est un espace qui doit accueillir une certaine quantité d'espaces végétalisés, une prémisse qui peut ne pas être adaptée à tous les contextes culturels.

Afin d'effectuer le suivi des interventions visant à rééquilibrer le partage de la rue, il est donc important de développer des outils permettant de prendre la mesure de cet équilibre entre les trois dimensions principales de la rue. Le présent chapitre propose un indicateur d'équilibre entre les superficies allouées aux trois dimensions de la rue. Cet indicateur est appliqué au territoire d'étude afin d'en étudier le potentiel d'application dans un cadre de suivi et d'évaluation des politiques publiques. Une première version de certaines composantes de ce chapitre ont fait l'objet d'une publication préalable dans la revue *Transportation Research Record* (Lefebvre-Ropars et al., 2021b) et sont identifiées comme telles.

5.1 Calcul de l'espace alloué aux trois dimensions de la rue

Pour chaque tronçon de rue du territoire d'étude, la superficie (m²) allouée à chacune des trois dimensions est mesurée pour l'ensemble de la surface de la rue, c'est-à-dire la voirie ainsi que les marges. Chaque surface de la base de données des actifs de voirie est classifiée selon son appartenance à la dimension de lien ou de lieu selon les critères présentés au tableau 5.1. Il est à noter que la portion du trottoir correspondant au corridor piéton est catégorisée à la fois comme appartenant à la dimension de lien et à celle de lieu afin de refléter la diversité d'usages pouvant prendre place sur un trottoir (voir section 2.1.2). Il en va de même pour les chaussées piétonnisées (Lefebvre-Ropars et al., 2021b).

Tableau 5.1 Catégorisation des surfaces de voirie selon la dimension

Type de surface de voirie	Lien	Lieu
Chaussée	X	
Voie cyclable	X	
Trottoir (corridor piéton)	X	X
Trottoir (banquette)		X
Terre-plein	X	
Chaussée piétonnisée	X	X
Marge (stationnement)	X	
Marge (autre usage)		X

L'espace alloué à la dimension environnementale, quant à lui, est mesuré à l'aide de l'indice canopée métropolitain (voir section 3.2.7). Pour chaque tronçon de rue, la superficie totale d'espace de voirie et de marge dotée d'un couvert végétal (haut ou bas) est considérée comme étant allouée à la fonction environnementale (Lefebvre-Ropars et al., 2021b).

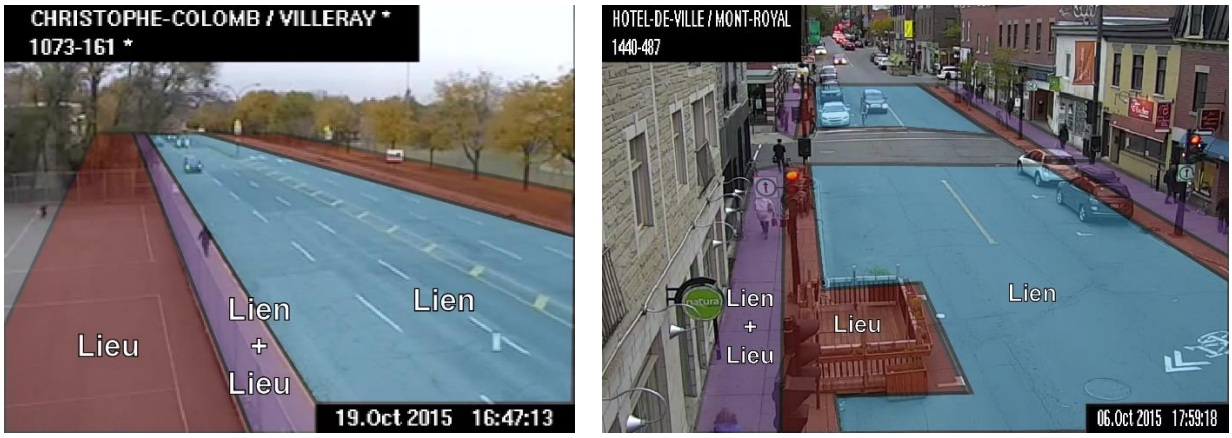


Figure 5.1 Allocation des surfaces de la rue aux dimensions de lien et de lieu (adapté de Lefebvre-Ropars et al., 2021b)

Pour chaque tronçon de rue du territoire d'étude, il est ainsi possible de connaître le nombre de mètres carrés alloués à chacune des trois dimensions. Il est à noter qu'une même surface peut être allouée à plusieurs dimensions : un trottoir entièrement recouvert par la canopée d'un arbre, par exemple, sera alloué aux trois dimensions. La somme des superficies alloués aux trois dimensions peut donc être supérieure à la superficie réelle du tronçon de rue (Lefebvre-Ropars et al., 2021b).

5.2 Proposition d'un indicateur d'équilibre

L'indice d'entropie de Shannon est employé afin de représenter la manière dont l'allocation de l'espace au sein d'un tronçon de rue s'approche d'une répartition considérée comme équitable entre les trois dimensions. La formulation suivante de l'indice de Shannon est employée :

$$E_{3D} = -1 * \frac{(\sum_{d=1}^{3}(a_{ds}/a_s)\ln(a_{ds}/a_s))}{\ln(3)}$$

Où a_{ds} représente la superficie (en m²) allouée à la dimension d sur le tronçon de rue s et a_s la superficie totale allouée aux trois dimensions pour le même tronçon s (Lefebvre-Ropars et al., 2021b). Une valeur de 0 de l'indice E_{3D} indique une situation où 100 % de la superficie d'un tronçon de rue est allouée à une seule des trois dimensions, tandis qu'une valeur de 1 indique au contraire une superficie égale pour chacune des trois dimensions.

Cette formulation postule qu'une distribution équitable de l'espace entre les trois dimensions fondamentales de la rue correspond à une situation où chaque dimension occupe une superficie égale. En l'absence d'une estimation de la demande pour chacune des dimensions, il s'agit à tout le moins d'une formulation stable qui permet d'observer l'évolution de la situation à la suite d'interventions sur l'allocation de l'espace.

Il est également à noter que l'indice d'entropie de Shannon ne réagit pas de manière linéaire à une modification de la répartition d'une ressource entre différentes catégories. La figure 5.2 démontre qu'une même intervention, à savoir le transfert de 10 % de la ressource d'une catégorie à une autre, a un effet marginal différent sur le score obtenu selon les conditions initiales de la distribution. Par exemple, le fait de consacrer 10 % de plus de la superficie d'une rue à la dimension de lieu dans une rue où 100 % de l'espace est consacré à la dimension de lien et 0 % à la dimension environnementale (de {10, 0, 0} à {9, 1, 0}) fait passer la valeur de E_{3D} de 0,00 à 0,30. À l'autre extrémité du spectre, un même transfert de 10 % de l'espace effectué dans une rue où l'espace est déjà plus ou moins réparti également entre les trois dimensions (de {4, 4, 2} à {4, 3, 3}) a un effet plus modeste sur la valeur de E_{3D}, celui-ci passant de 0,96 à 0,99 (Lefebvre-Ropars et al., 2021b).

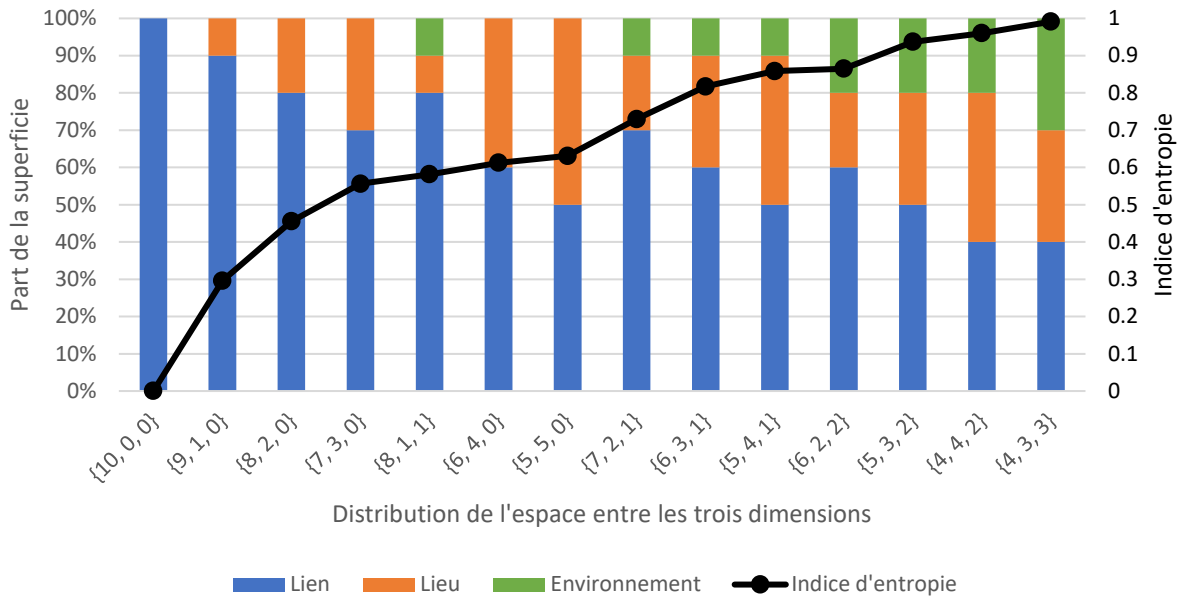


Figure 5.2 Valeurs de l'indice d'entropie de Shannon selon différentes distributions des valeurs entre trois catégories

Tel que souligné par Lefebvre-Ropars et al. (2021b), l'indice d'entropie de Shannon est donc beaucoup plus sensible aux variations qui se produisent dans des conditions de déséquilibre entre les catégories. L'usage de cet indicateur pour comparer l'effet d'une même intervention sur deux tronçons de rues – la plantation d'un arbre ou l'élargissement d'un trottoir, par exemple – favoriserait une intervention sur le tronçon où l'espace est actuellement le moins équitablement réparti. Cela peut sembler assez intuitif – la plantation d'un arbre sur une rue qui en est dépourvue a sans doute un effet marginal plus perceptible que sur une rue déjà verdie – mais pourrait induire un biais décisionnel chez un utilisateur de cet indicateur qui ne serait pas familier avec ses particularités. La figure 5.3 illustre la distribution de la valeur de l'indice E_{3D} pour l'ensemble des tronçons de rues du territoire d'étude selon la part de la superficie allouée à chacune des trois dimensions.

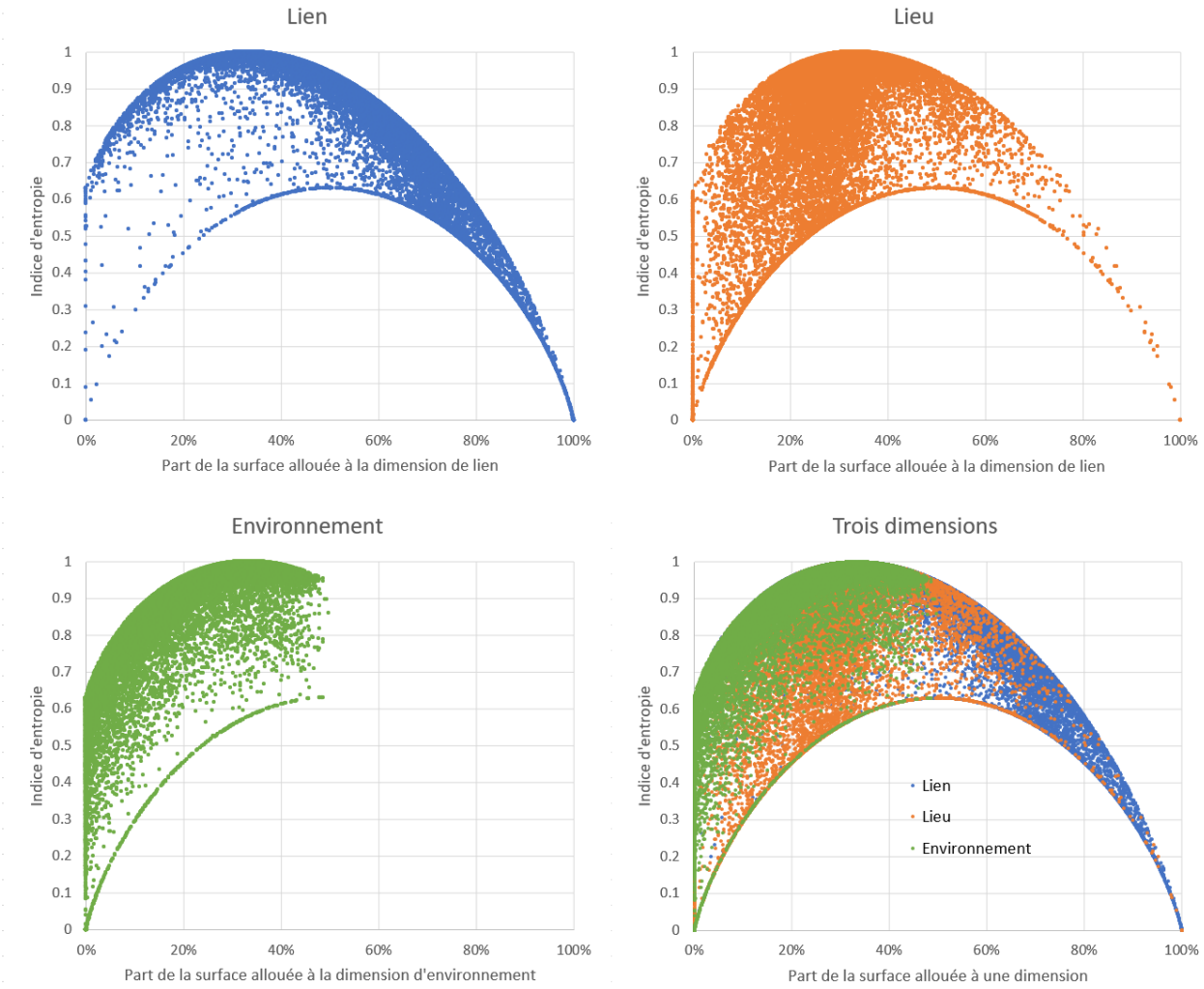


Figure 5.3 Distribution de la valeur de l'indice d'entropie E_{3D} selon la part de la surface allouée à chacune des dimensions

5.3 Mise à l'épreuve de l'indicateur

Durant l'été 2020, c'est-à-dire le premier été de la pandémie de COVID-19, plusieurs mesures ont été mises en place à Montréal par la ville-centre ainsi que les arrondissements afin d'allouer davantage d'espace aux piétons et aux cyclistes dans les rues. Afin d'évaluer le potentiel de l'indicateur E_{3D} pour effectuer un suivi des interventions sur l'allocation de l'espace dans les rues, celui-ci est employé afin de mesurer l'effet de l'introduction de ces divers aménagements temporaires, appelés « corridors sanitaires », implantés au sein du territoire d'étude au cours de l'été 2020 (Lefebvre-Ropars et al., 2021b). La figure 5.4 illustre la localisation des différents types

de corridors sanitaires mis en place dans 9 des 11 arrondissements du territoire d'étude[45]. L'indicateur est mesuré avant et après l'implantation des mesures temporaires afin de déterminer si celles-ci entraînent une augmentation ou une diminution de sa valeur.

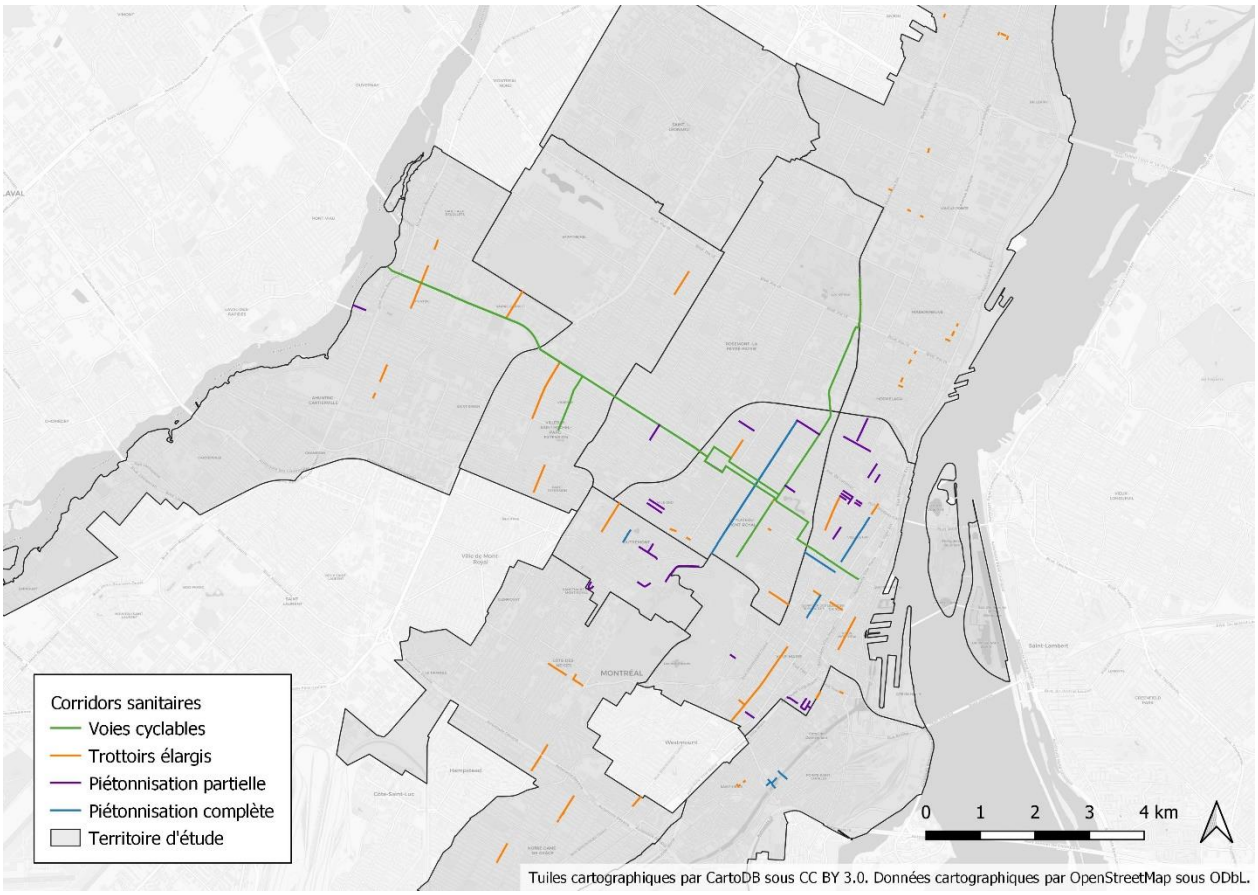


Figure 5.4 Corridors sanitaires à Montréal en date du 10 juillet 2020 (adapté de Lefebvre-Ropars et al., 2021b)

Tel que détaillé par Lefebvre-Ropars et al. (2021b), on compte quatre principaux types d'interventions : la voie cyclable temporaire (bande unidirectionnelle ou bidirectionnelle), l'élargissement de certains trottoirs à l'aide de délinéateurs flexibles placés sur la chaussée, la piétonnisation d'une partie de la chaussée à l'aide de diverses mesures ainsi que la piétonnisation complète d'un tronçon de rue. Parmi ces interventions, seule la première n'est pas captée par

[45] Les seuls arrondissements où aucun corridor sanitaire n'était en place en date du 10 juillet 2020 sont Saint-Léonard et Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles.

l'indicateur E_{3D}. En effet, tel qu'illustré à la figure 5.5, une voie cyclable qui remplace une voie de circulation automobile ne modifie pas l'équilibre entre les trois dimensions de la rue puisqu'il s'agit dans les deux cas d'un espace dédié à la dimension de lien. À l'inverse, tel qu'illustré à la figure 5.6, une piétonnisation partielle ou complète a un effet observable sur l'indicateur puisqu'elle accroît la superficie consacrée à la dimension de lieu (Lefebvre-Ropars et al., 2021b).

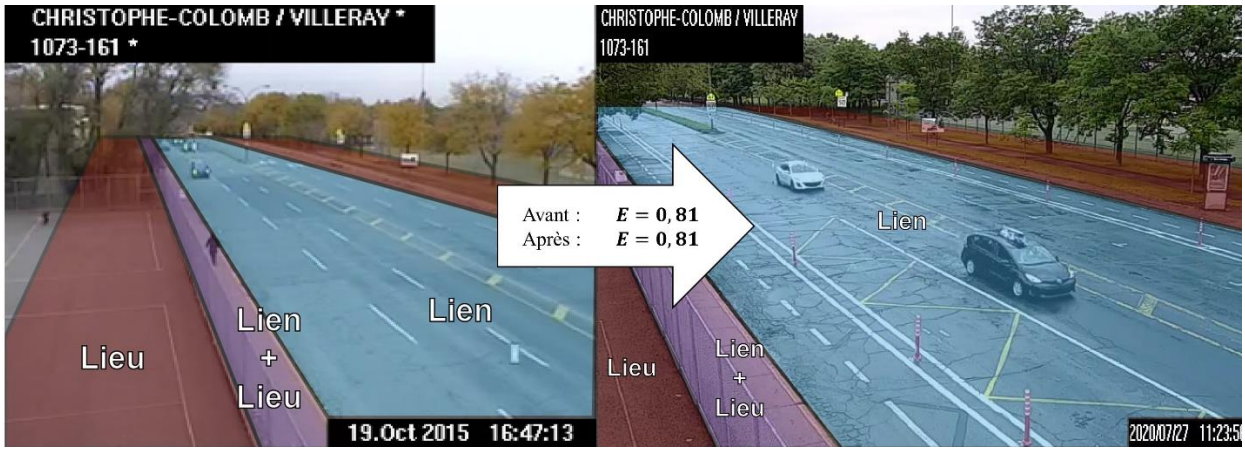


Figure 5.5 Effet de l'introduction d'une voie cyclable temporaire sur l'indicateur E_{3D} (adapté de Lefebvre-Ropars et al., 2021b)

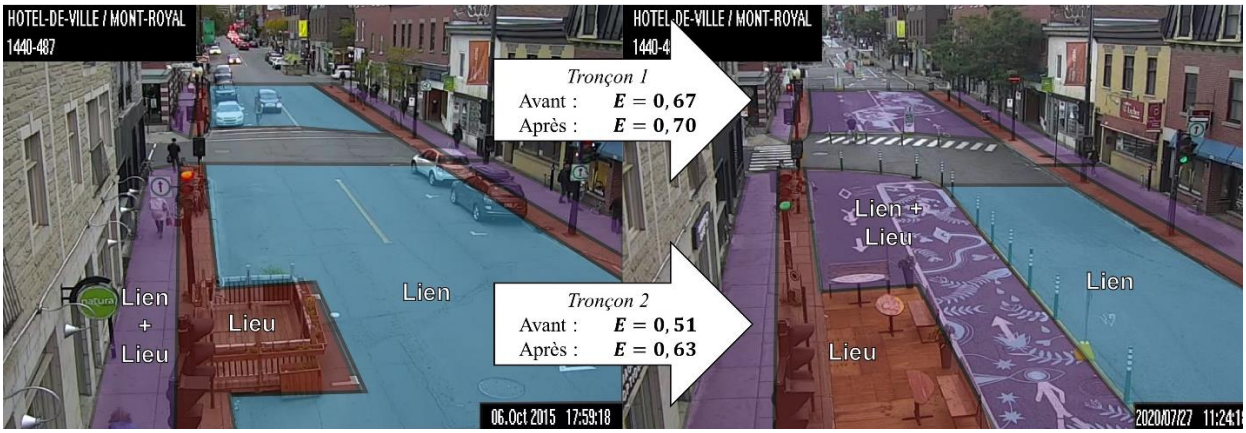


Figure 5.6 Effet de l'implantation de mesures de piétonnisation sur l'indicateur E_{3D} (adapté de Lefebvre-Ropars et al., 2021b)

5.4 Résultats

Près de 70 % des tronçons de rues du territoire d'étude allouent davantage d'espace à la dimension de lien qu'aux autres dimensions de la rue, tel qu'illustré à la figure 5.7. Les rues situées dans les

arrondissements adjacents au centre-ville (Ville-Marie, Le Plateau-Mont-Royal, Mercier–Hochelaga-Maisonneuve et Le Sud-Ouest) sont plus susceptibles d'être dominées par leur rôle de lien, tandis que les rues des quartiers plus périphériques (Ahuntsic–Cartierville, Côte-des-Neiges–Notre-Dame-de-Grâce et Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles) semblent plutôt accueillir davantage de surfaces consacrées à des fonctions de lieu. Le principal déterminant de cette situation semble être la taille des marges; en effet, comme l'illustre la figure 5.8, une rue dotée de marges profondes avec des usages autres que le stationnement (en raison d'une grande marge de recul ou de l'absence d'un bâtiment, par exemple) sera considérée comme offrant davantage d'espace à la dimension de lieu. À l'inverse, dans les rues où la voirie compte pour la majorité de la superficie, la dimension de lien ressortira comme dominante. Les rues où la dimension environnementale est dominante se retrouvent plutôt près des parcs ainsi que dans les quartiers où la canopée est la plus étendue (Côte-des-Neiges–Notre-Dame-de-Grâce, Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles, Rosemont–La Petite-Patrie, Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension et Ahuntsic-Cartierville).

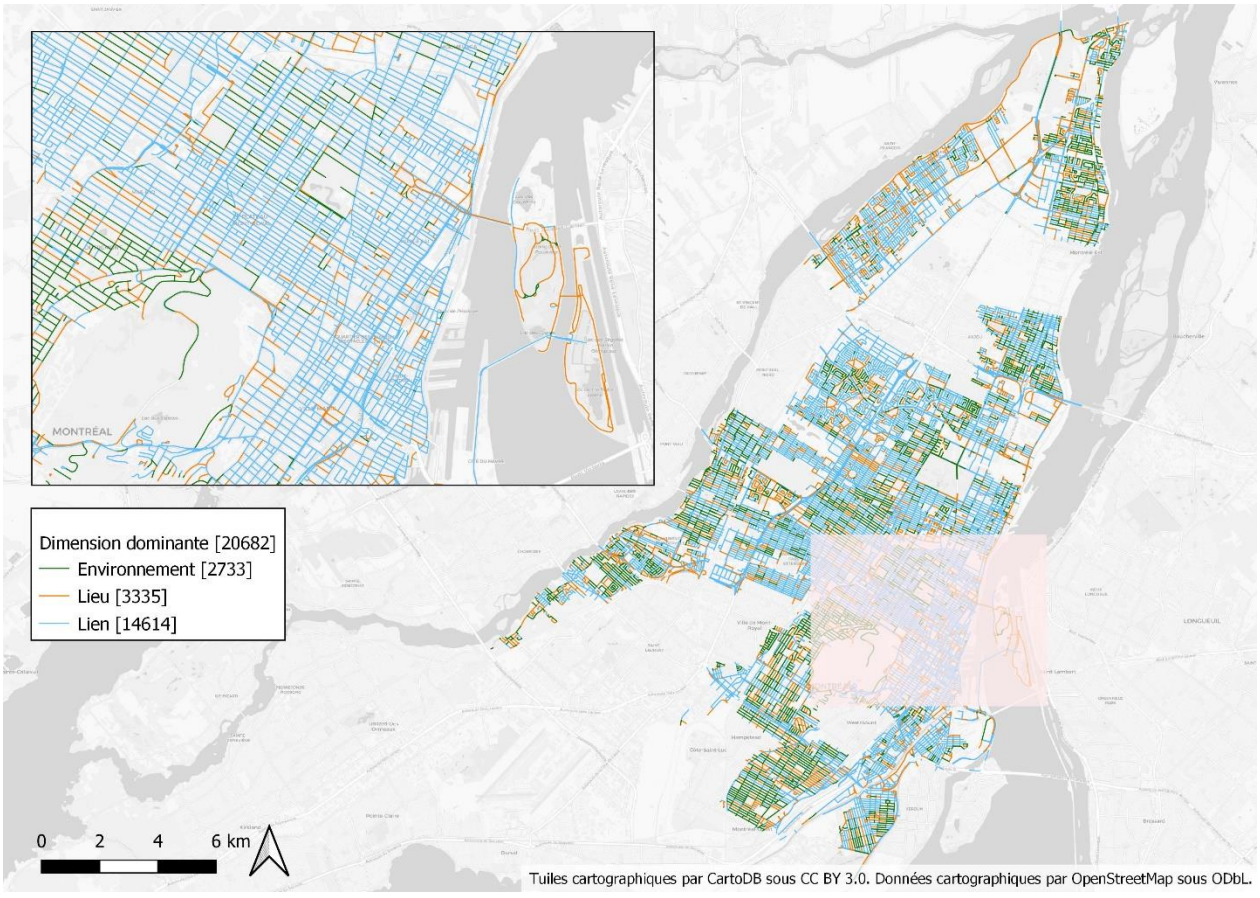


Figure 5.7 Dimension dominante dans les tronçons de rues du territoire d'étude



Figure 5.8 Illustration de l'affectation des surfaces de voirie et de marge à une dimension

5.4.1 Équilibre entre les dimensions

La figure 5.9 illustre la variation de l'indice d'entropie E_{3D} à l'échelle du territoire d'étude. Tel que décrit par Lefebvre-Ropars et al. (2021b), on y remarque qu'une majorité des tronçons de rues (58 %) reçoit un score d'entropie supérieur à 0,90. Il s'agit majoritairement de rues locales dotées de fonctions résidentielles. Pour leur part, les tronçons de rues où l'indice d'entropie est très faible (<0,50) comptent pour un peu moins de 10 % des rues. On les retrouve dans les corridors autoroutiers ainsi que dans les zones industrielles des arrondissements périphériques, mais également dans plusieurs zones du centre-ville. Plusieurs tronçons de rues caractérisés par un faible score se retrouvent également dans les secteurs les plus anciens de la ville, là où les marges sont peu profondes ou inexistantes et les trottoirs étroits. À l'inverse, les quartiers périphériques sont caractérisés par un recul important des bâtiments par rapport à la voirie, ce qui résulte en des marges plus spacieuses et, de manière générale, un score d'entropie plus élevé.

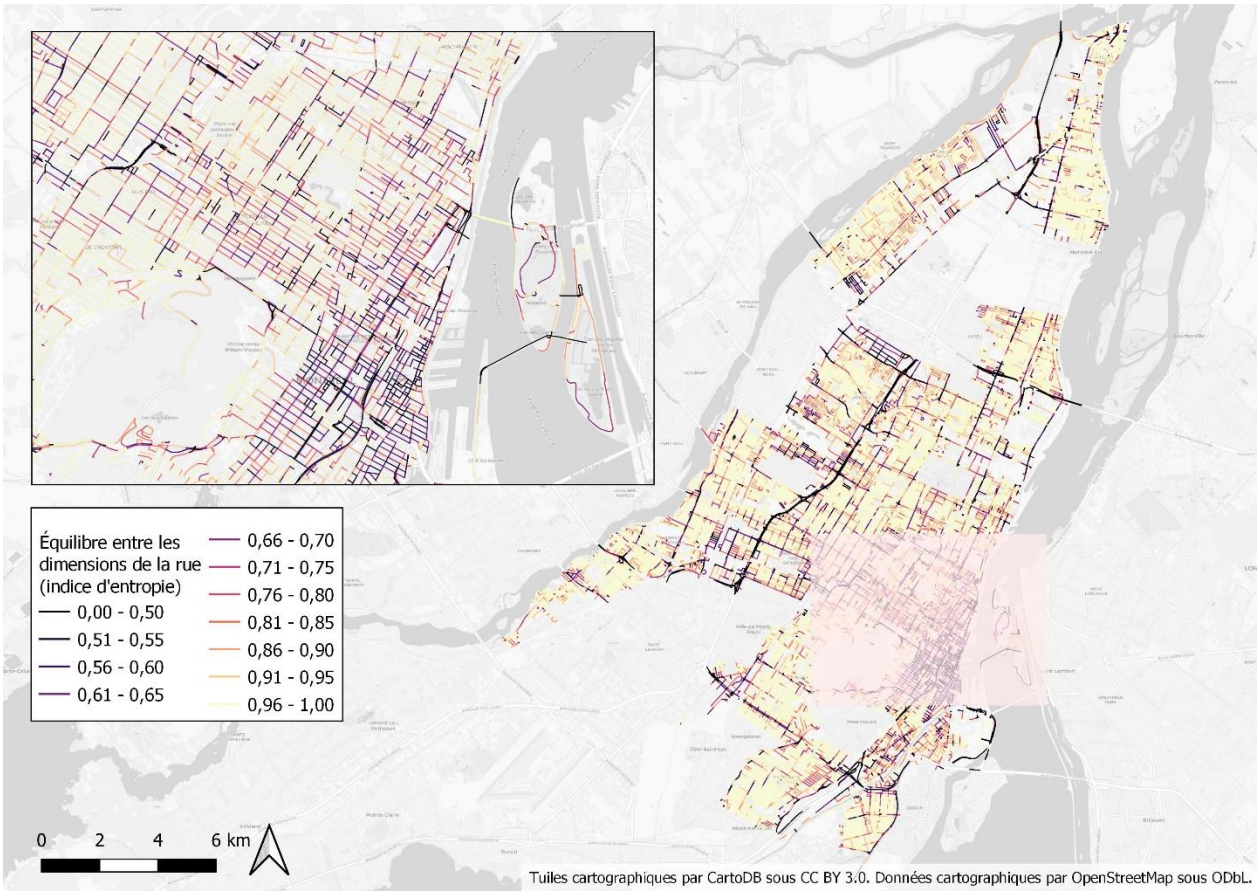


Figure 5.9 Équilibre entre les trois dimensions de la rue au sein du territoire d'étude (adapté de Lefebvre-Ropars et al., 2021b)

5.4.2 Effet de l'implantation des corridors sanitaires durant la pandémie de COVID-19

Tel que présenté par Lefebvre-Ropars et al. (2021b), près de 55 % des kilomètres linéaires visés par un corridor sanitaire ne voient aucune variation dans leur score E_{3D} à la suite de l'implantation des mesures. Cela s'explique par le fait qu'il s'agit de tronçons de rues bénéficiant seulement de nouvelles voies dédiées à la dimension de lien, à savoir des voies cyclables temporaires. Les autres interventions (élargissement des trottoirs ou piétonnisation) amènent une augmentation du score dans le cas de 27 % des kilomètres linéaires, mais entraînent une diminution du score dans 18 % des cas, tel qu'illustré à la figure 5.10. Cela est dû à la manière dont les surfaces allouées à deux dimensions sont traitées. En effet, la conversion d'une surface de lien en une surface partagée entre les dimensions de lien et de lieu fait en sorte que la surface en question (une voie de stationnement

piétonnisée, par exemple) est comptée deux fois dans le calcul : une fois en tant que surface de lien et une fois en tant que surface de lieu. Cela a pour effet d'accentuer le déséquilibre avec la troisième dimension, celle de l'environnement, puisque la part de celle-ci rétrécit proportionnellement aux deux autres, tirant ainsi la valeur de l'indicateur à la baisse[46]. Dans le cas d'une piétonnisation complète, il se peut également que la superficie allouée à la dimension de lieu occupe désormais 100 % de la superficie de la rue, voirie et marges comprises. Elle devient donc la dimension dominante, créant un déséquilibre par rapport aux deux autres dimensions dont la part reste stable.

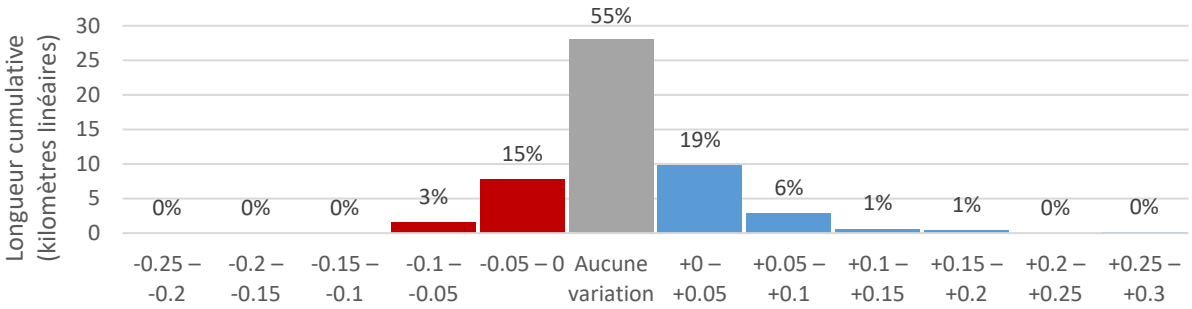


Figure 5.10 Distribution de la variation de l'indicateur E_{3D} à la suite de l'implantation de corridors sanitaires durant l'été 2020 par rapport à 2018 (adapté de Lefebvre-Ropars et al., 2021b)

Cela démontre donc les limites d'une approche basée strictement sur l'offre, puisqu'il est permis de penser que, dans certains cas, la diminution proportionnelle du rôle de l'une des trois dimensions pourrait être considérée comme équitable si la demande associée à cette dimension est plus faible que pour les deux autres dimensions. Cela souligne aussi la pertinence de questionner l'emploi du seul principe de répartition égale comme définition d'un partage équitable de la rue. Le prochain chapitre s'attarde à ces questions en évaluant le potentiel d'appliquer différents principes de justice au partage de la rue dans sa dimension de lien et en intégrant divers profils de demande.

[46] Il est toutefois à noter que d'éventuelles plantations temporaires mises en place dans le cadre de telles interventions n'auraient pas pu être mesurées avec les outils employés.

CHAPITRE 6 ÉVALUATION DU PARTAGE DE LA RUE COMME LIEN À L'AIDE DE PRINCIPES DE JUSTICE DISTRIBUTIVE

La plupart des approches d'évaluation du partage de la rue recensées dans la littérature scientifique et les documents de planification traitent principalement de la dimension de lien de la rue, tel que discuté à la section 2.3.3. Cela s'explique notamment par la priorité que reçoit le rôle de lien de la rue dans le discours médiatique et l'action publique, mais également par la plus grande disponibilité des données concernant les équipements dédiés au transport dans les rues. Le présent chapitre propose donc trois méthodes d'évaluation du partage de la rue en se concentrant spécifiquement sur sa dimension de lien, bien que ces méthodes pourraient éventuellement être appliquées à chacune des trois principales dimensions de la rue. Chaque méthode proposée est basée sur un principe formel de justice distributive, dans la lignée du cadre développé par Creutzig et al. (2020), et est appliquée à travers l'ensemble du territoire d'étude à l'aide de la base de données sur l'allocation de l'espace de voirie construite précédemment.

La première approche consiste en une évaluation du partage de la rue selon le principe du suffisantisme strict, c'est-à-dire qu'on y évalue le partage des rues du territoire d'étude selon leur capacité à offrir un accès minimal à chacun des modes de transport principaux – marche, vélo, transport collectif et automobile –, qu'ils soient en circulation ou stationnés. La deuxième méthode proposée applique une approche utilitariste au problème du partage de la rue en évaluant la distribution de l'espace de voirie dans les rues du territoire d'étude en fonction de la capacité totale qui en résulte – c'est-à-dire le nombre de personnes pouvant l'utiliser dans son rôle de lien. La troisième méthode s'appuie sur la notion d'égalitarisme et évalue le partage des rues du territoire d'étude en fonction de l'arrimage observé entre offre d'espace et demande pour chacun des modes considérés (voir Lefebvre-Ropars et al., 2021a pour une version préliminaire de cette approche). Le chapitre 8 propose ensuite un indicateur synthèse pour chacune des trois approches.

6.1 Une approche suffisantiste stricte du partage de la rue

Dans une perspective suffisantiste, l'allocation d'une ressource est considérée comme équitable si la part d'une ressource allouée à chaque individu ou groupe atteint un seuil minimal préalablement identifié (Lucas et al., 2016). À titre d'exemple, l'approche des rues conviviales (*complete streets*) peut être considérée comme une approche suffisantiste stricte du partage de la rue puisqu'elle

requiert que les rues soient conçues afin d'offrir un accès sécuritaire, accessible et confortable à tout individu, peu importe le mode que cet individu choisit pour s'y déplacer (Marleau Donais et al., 2019). Il est toutefois à noter qu'une fois le seuil atteint, une approche suffisantiste stricte ne prévoit pas de stratégie de répartition des ressources restantes. La présente section propose une méthode d'évaluation du partage de la rue dans sa dimension de lien à l'aide d'une approche suffisantiste stricte.

6.1.1 Identification des tronçons offrant un accès minimal selon le mode

Une telle approche nécessite tout d'abord d'identifier les groupes de population visés par la distribution d'une ressource, puis de déterminer un seuil minimal à atteindre en termes de distribution de cette ressource. Dans le cas présent, les quatre principaux modes de transport utilisés dans le contexte d'étude – automobile, transport collectif sur rue, vélo et marche – sont considérés comme les groupes entre lesquels la ressource doit être distribuée. La ressource choisie est l'accès au tronçon de rue à l'aide du mode choisi, c'est-à-dire la présence d'une infrastructure permettant à un individu qui choisit un des quatre modes donnés de traverser l'infrastructure ou, le cas échéant, d'y stationner son véhicule.

Il est à noter que les usagers de certains modes peuvent avoir accès à certaines infrastructures conçues pour un autre mode. Par exemple, les cyclistes et les autobus peuvent, la plupart du temps, emprunter les voies de circulation automobile. Deux approches sont ainsi proposées : la formulation exclusive ne comptabilise les espaces liés à la circulation qu'en fonction du mode principal pour lequel ils sont conçus, tandis que la formulation partagée comptabilise les voies de circulation automobile ouvertes aux autres modes comme étant aussi accessibles à ces derniers, tel que résumé au tableau 6.1.

Tableau 6.1 Formulations de l'indicateur suffisantiste strict

Usage	**Formulation exclusive**[47]	**Formulation partagée**[47]	**Seuil minimal**
Automobile – circulation	- Voies de circulation automobile [D, DT, CD ou PCD]	- Voies de circulation automobile [D]	1 voie
Automobile – stationnement	- Voies de stationnement automobile [DP] - Autres usages de la voie de rive [CS]	- Voies de stationnement automobile [DP] - Autres usages de la voie de rive [CS]	1 place de stationnement
Transport collectif – circulation	- Voies réservées au transport collectif [T]	- Voies réservées au transport collectif [T] - *Une voie de circulation sur un tronçon desservi par un trajet de bus en l'absence d'une voie réservée [DT]*	1 voie
Transport collectif – stationnement	- Arrêts de bus [TP]	- Arrêts de bus [TP]	1 arrêt de bus
Vélo – circulation	- Voies cyclables [C]	- Voies cyclables [C] - *Zone partagée entre cyclistes et automobilistes [CD]* [48]	1 voie
Vélo – stationnement	- Supports à vélo [CP] - Stations BIXI [CP]	- Supports à vélo [CP] - Stations BIXI [CP]	1 support
Marche – circulation	- Trottoirs [P] - Chaussées piétonnisées [P]	- Trottoirs [P] - Chaussées piétonnisées [P] - *Zone partagée entre piétons, cyclistes et automobilistes [PCD]*	1 trottoir

La présence ou l'absence d'une surface consacrée à chacun des 7 usages identifiés au tableau 6.1 est comptabilisée pour chaque tronçon de rue du territoire d'étude, et ce, pour les deux formulations (exclusive et partagée). Par exemple, un tronçon de rue comptant une voie de circulation

[47] Se référer au tableau 3.3 pour la signification des sigles décrivant l'usage des surfaces de voirie

[48] Se référer tableau 3.6 au pour les seuils de confort utilisés pour la détection des surfaces partagées avec les modes actifs

automobile, quelques places de stationnement et deux trottoirs sera considéré comme offrant un accès minimal à trois usages en utilisant la formulation exclusive, et jusqu'à 5 usages dans la formulation partagée selon la présence d'une ligne d'autobus et l'atteinte des critères de confort cyclable présentés à la section 3.2.5.1.3.5. L'approche est ensuite appliquée à l'échelle des axes et des corridors en évaluant, dans le cas des voies de circulation, si la circulation d'un mode est permise de manière continue à travers l'ensemble de l'axe ou du corridor et, dans le cas du stationnement, si au moins une place de stationnement pour le mode visé est disponible sur un des tronçons de l'axe ou du corridor.

6.1.2 Analyse suffisantiste à l'échelle des tronçons de rues

Pour chaque tronçon r, la présence d'un usage u parmi les usages U_r autorisés de manière exclusive ou partage est détectée. Cette valeur est ensuite pondérée par la longueur du tronçon (ℓ_r). Les valeurs sont sommées pour chacun des usages afin de déterminer le nombre de kilomètres linéaires k où l'usage u est présent, comme suit :

$$\%k_u = \frac{\sum_{r=1}^{R} \exists(u \in U_r) * \ell_r}{\sum_{r=1}^{R} \ell_r}$$

Le résultat de ce calcul est présenté à la figure 6.1.

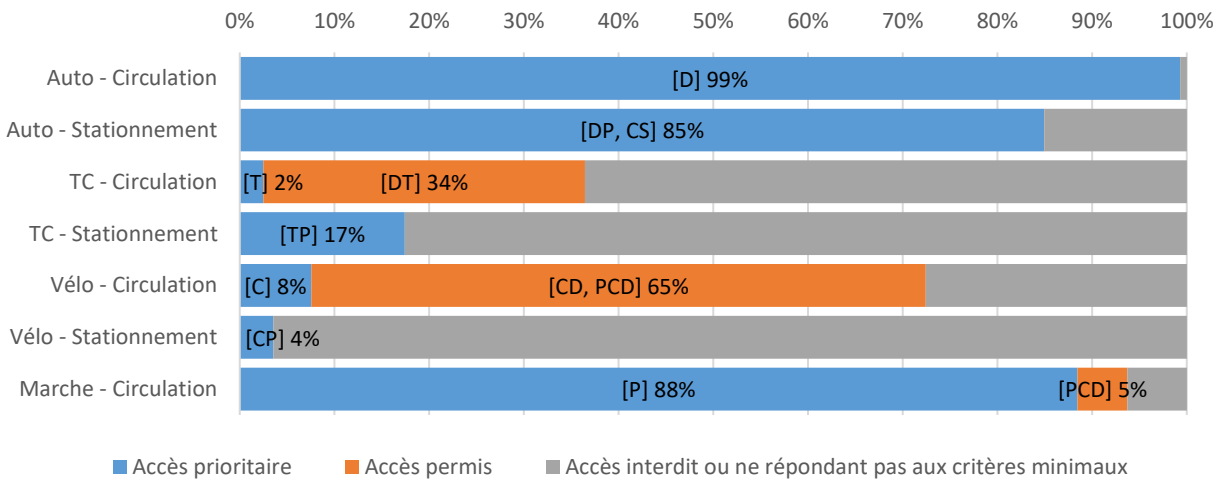


Figure 6.1 Distribution des kilomètres linéaires selon la présence d'une surface allouée à chacun des usages sur un **tronçon**, territoire d'étude, période de pointe du matin, 1er octobre 2018

Il est possible de constater à la figure 6.1 que la quasi-totalité des rues devraient obtenir un score minimal de 1, puisque 99 % des kilomètres linéaires du territoire d'étude comptent au moins une voie de circulation automobile en période de pointe du matin lors d'une journée moyenne de semaine d'automne (voir figure 6.2).

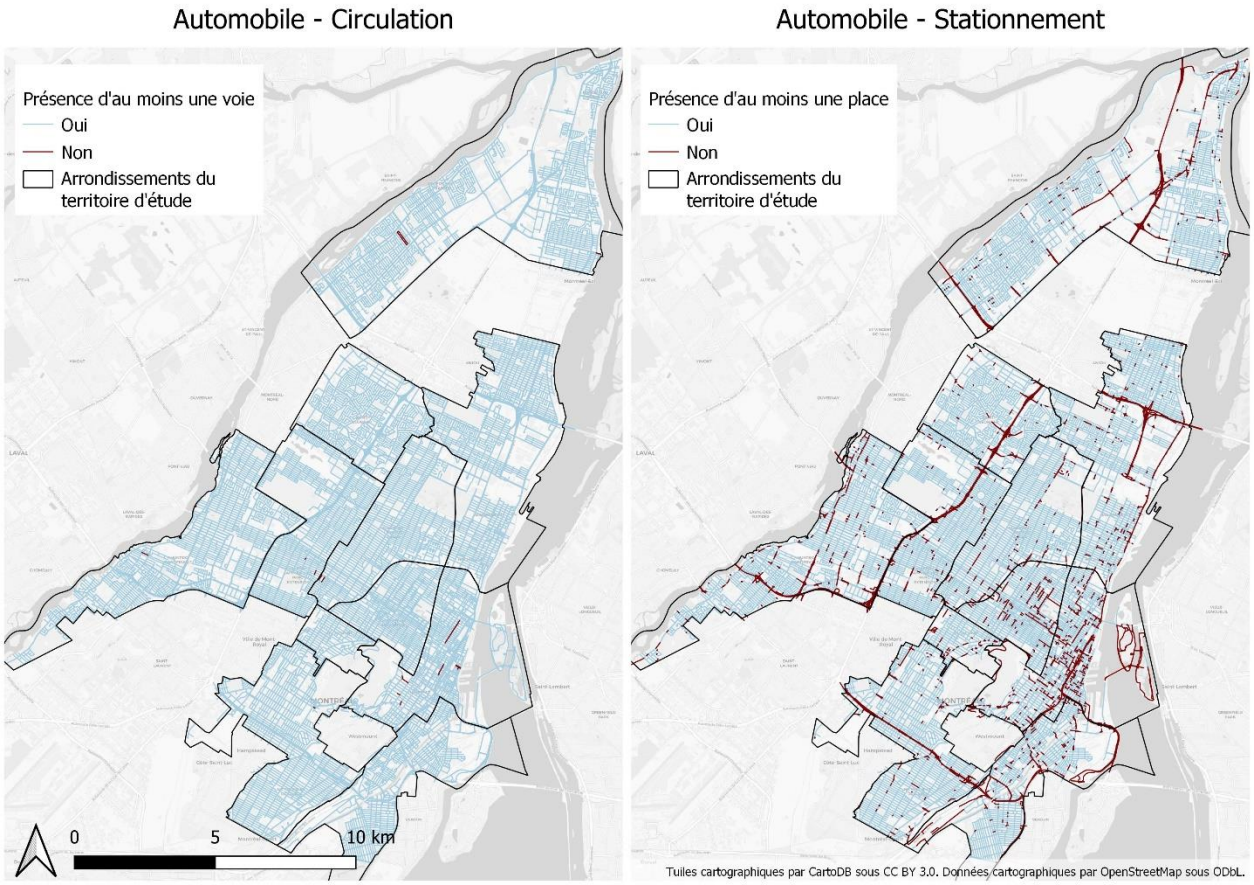


Figure 6.2 Présence d'une surface dédiée à l'automobile (circulation ou stationnement), 1er octobre 2018, période de pointe du matin

À l'échelle du territoire d'étude, l'automobile est donc le mode qui bénéficie du plus grand accès à la rue[49]. En deuxième position, on retrouve les piétons, qui ont accès à 88 % des kilomètres

[49] Il est à noter que la géobase de la Ville de Montréal, sur laquelle se basent les présents travaux, exclut les ruelles ainsi que plusieurs voies qui ne correspondent pas à la définition d'une rue mais qui accueillent néanmoins des usagers à pied ou à vélo (chemins de parcs, etc.). Cela peut contribuer à surestimer légèrement la proportion des voies offrant un accès à l'automobile.

linéaires à l'aide d'une infrastructure exclusive (trottoir ou chaussée piétonnisée) et 5 % à l'aide d'une surface partagée avec les modes motorisés (voir figure 6.3). Les automobilistes qui désirent stationner leur véhicule, sur rue ou en marge, peuvent le faire sur près de 80 % des tronçons pondérés par leur longueur, ce qui les place en troisième position en termes d'accès aux rues du territoire d'étude. Il est à noter que le seuil choisi est la présence d'au moins une place de stationnement, ce qui ne garantit pas nécessairement une provision suffisante pour accueillir l'ensemble de la demande de stationnement.

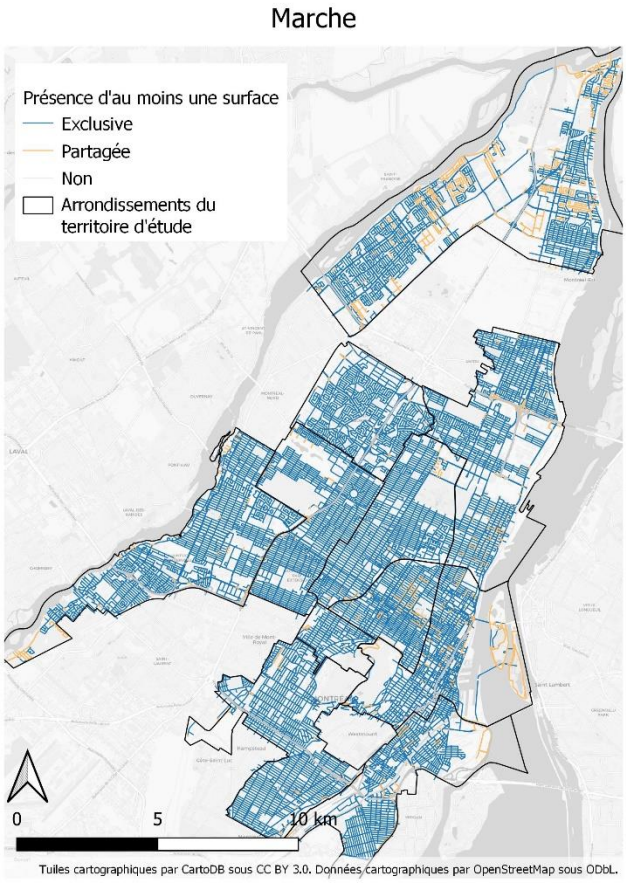


Figure 6.3 Présence d'une surface dédiée à la marche, 1er octobre 2018, période de pointe du matin

Les véhicules de transport collectif ont accès à seulement 2 % des kilomètres linéaires du territoire d'étude à l'aide de voies réservées, et ce, sur un total de 36 % des kilomètres linéaires qui accueillent un trajet d'autobus (voir figure 6.4). Cela signifie qu'à peine 5 % des kilomètres parcourus par le réseau de bus au sein du territoire d'étude le sont sur des voies réservées, contre près de 95 % dans des voies partagées avec les automobiles. Un peu moins de la moitié des tronçons

de rues où circulent les autobus comptent un arrêt permettant l'embarquement ou le débarquement des usagers.

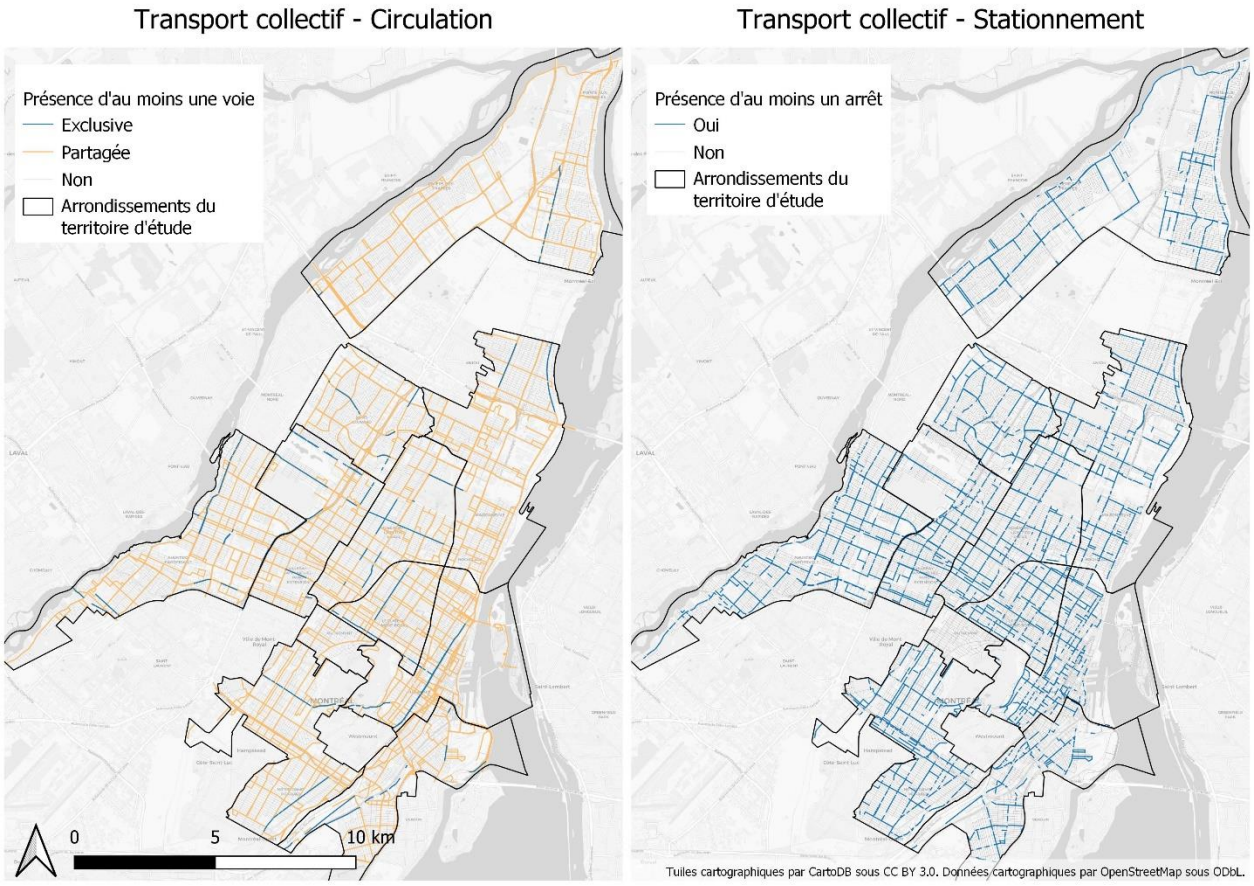


Figure 6.4 Présence d'une surface dédiée au transport collectif (circulation ou stationnement), 1er octobre 2018, période de pointe du matin

Les cyclistes, quant à eux, jouissent d'un accès limité au réseau de voirie (voir figure 6.5). En effet, seuls 8 % des kilomètres linéaires du territoire d'étude comptent une voie cyclable. Environ 65 % des kilomètres linéaires ne comportant aucune voie cyclable sont considérés comme suffisamment confortables pour permettre un accès sécuritaire à une majorité de cyclistes[50]. Par ailleurs, seuls 4 % des kilomètres linéaires du territoire d'étude comptent au moins un espace formel permettant

[50] Se référer au tableau 3.6 de la section 3.2.5.1.3.5 pour les paramètres de classification des tronçons de rues selon les critères de confort cyclable.

le stationnement d'un vélo privé[51] ou d'un BIXI, et ce, principalement dans les arrondissements centraux. Il est toutefois à noter que plusieurs éléments du mobilier urbain (poteaux de signalisation, clôtures privées, etc.) permettent *de facto* le stationnement d'un vélo privé, même si celui-ci n'est pas nécessairement permis selon la réglementation municipale ou toléré par les occupants des bâtiments riverains.

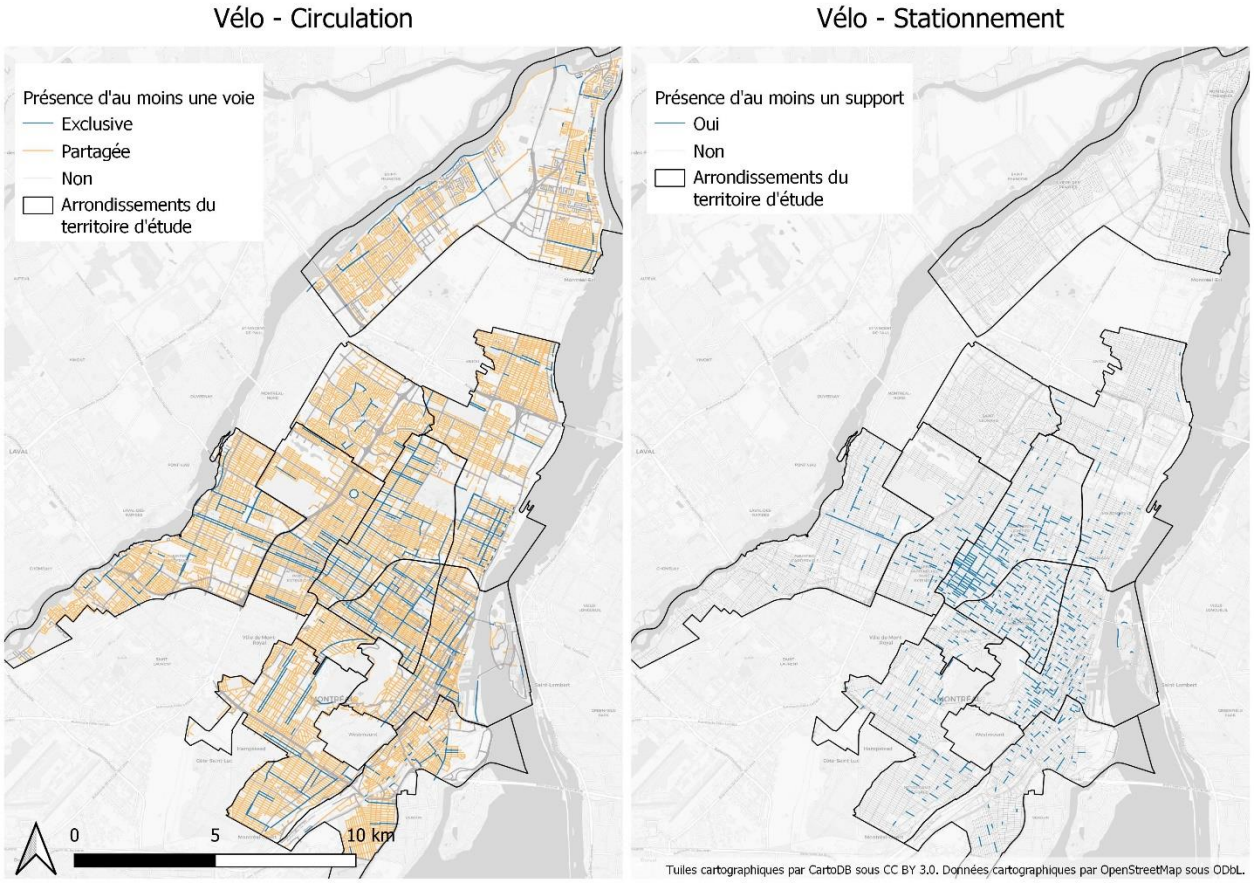


Figure 6.5 Présence d'une surface dédiée au vélo (circulation ou stationnement[51]), 1er octobre 2018, période de pointe du matin

[51] Il est important de rappeler que la base de données des supports à vélo de la Ville de Montréal n'a pas été mise à jour depuis 2016 et ne recense aucun des supports à vélo installés sur les terrains privés. La couverture y est également inégale selon les arrondissements. La quantité de supports à vélo au sein du territoire d'étude est donc sans aucun doute sous-estimée.

6.1.3 Analyse suffisantiste à l'échelle des axes et des corridors

En agrégeant les tronçons de rues en axes, puis en corridors (voir section 3.2.1.2), les constats qu'il est possible de tirer sur la présence d'une surface allouée aux divers modes se modifient, et ce, principalement à l'avantage de l'automobile. On note principalement une stabilité ou une diminution de l'accès aux surfaces dédiées à la circulation et une augmentation de l'accès aux surfaces dédiées au stationnement. La figure 6.6 illustre la manière dont un usage lié à la circulation (u_C) ou au stationnement (u_S) est comptabilisé à l'échelle d'un axe α et d'un corridor τ par rapport à la situation sur un tronçon t. On y constate que l'usage lié à circulation U_{C_2} (une voie cyclable, par exemple) est comptabilisé sur le tronçon t mais pas sur l'axe α ni sur le corridor τ puisqu'il ne permet pas de parcourir ces unités spatiales en entier, contrairement aux usages u_{C_2} et u_{C_3}.

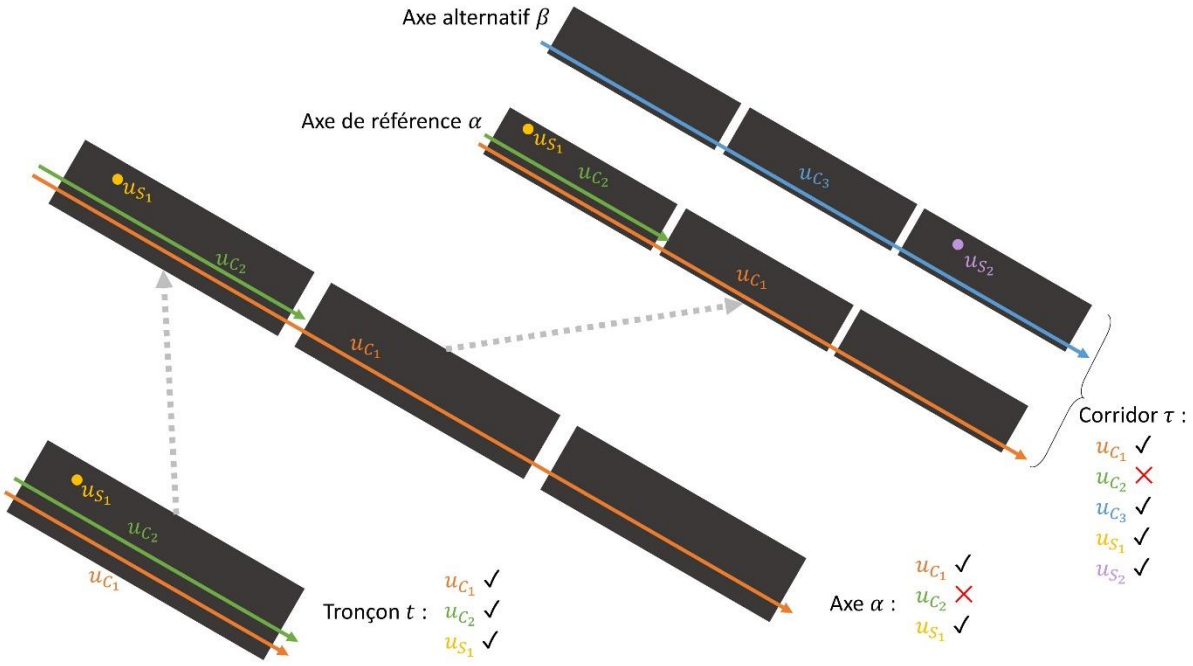


Figure 6.6 Illustration de méthode de détection des usages liés à la circulation et au stationnement selon l'unité spatiale dans une approche suffisantiste du partage de la rue

Tel qu'illustré à la figure 6.7, la part des kilomètres linéaires du territoire d'étude offrant un accès continu aux automobiles d'une extrémité à l'autre de l'axe en période de pointe du matin reste égale à la part observée à l'échelle des tronçons individuels, c'est-à-dire 99 %. En d'autres mots, on n'observe aucune rupture notable de l'accès à l'infrastructure automobile en parcourant les axes du territoire d'étude. À l'inverse, la part de la longueur totale des axes offrant, d'un bout à l'autre,

un accès exclusif aux véhicules de transport collectif tombe à 0,1 %. Cela indique qu'en période de pointe du matin, il n'existe presque aucun axe du territoire d'étude qu'il est possible de parcourir entièrement sur une voie réservée au transport collectif. Il en va de même pour les cyclistes, qui peuvent parcourir seulement 1,1 % de la longueur totale des axes du territoire d'étude sans interruption sur une infrastructure dédiée, alors que 8 % de la longueur totale des tronçons leur sont pourtant accessibles à l'aide d'une telle infrastructure. Les cyclistes ont accès à 52 % de la longueur totale des axes en partageant la chaussée avec les automobilistes dans une situation de confort minimale, contre 65 % à l'échelle des tronçons. Un constat similaire peut être tiré chez les piétons. On constate ainsi que si des infrastructures dédiées aux modes actifs et collectifs sont présentes sur plusieurs tronçons individuels, la continuité de ces infrastructures, même au sein d'un seul arrondissement, n'est pas garantie pour les usagers.

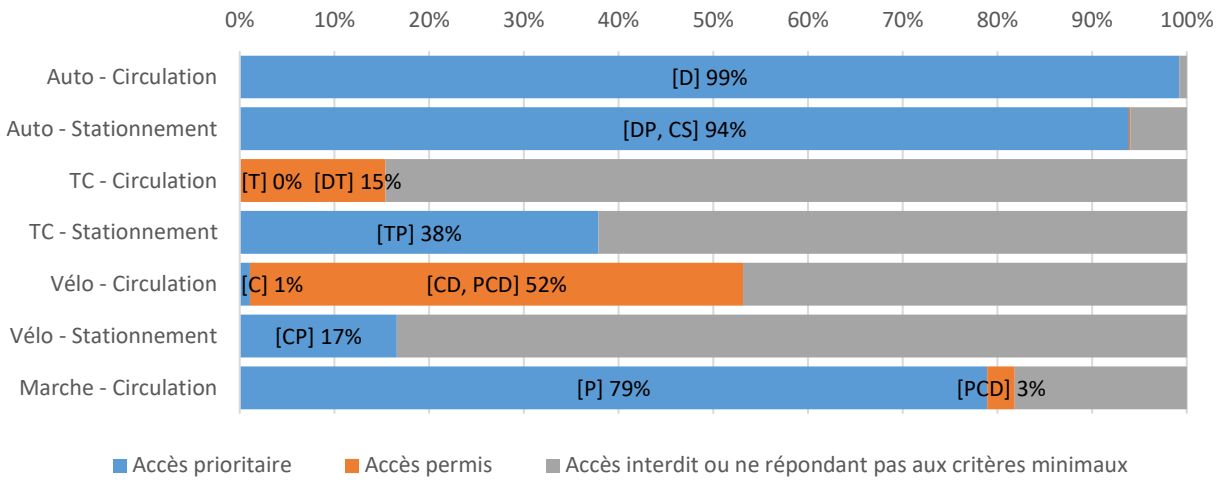


Figure 6.7 Distribution des kilomètres linéaires selon la présence d'une surface allouée à chacun des usages sur un **axe**, territoire d'étude, période de pointe du matin, 1er octobre 2018

À l'inverse, le fait de regrouper les tronçons en axes continus permet d'augmenter le poids des espaces dédiés au stationnement. En effet, en utilisant un regroupement de tronçons pour évaluer si au moins un espace dédié au stationnement de chaque mode est disponible, l'absence ponctuelle de stationnement sur un tronçon est compensée par l'éventuelle présence d'un espace sur un autre tronçon du même axe. Ainsi, ce sont maintenant 94 % des axes, pondérés par leur longueur, qui comptent au moins un espace de stationnement, contre 85 % des tronçons individuels. De même, 38 % des axes offrent au moins un arrêt de bus et 17 % un espace de stationnement pour vélo (privé ou BIXI). Le seuil minimal d'un seul espace consacré au stationnement pour chaque mode devient

toutefois de moins en moins pertinent à mesure que la taille de l'unité spatiale augmente. En effet, la présence d'un seul espace de stationnement sur un axe long de plusieurs kilomètres est sans doute insuffisante pour répondre à la demande.

L'utilisation du corridor, c'est-à-dire d'un regroupement d'axes parallèles pouvant être considérés comme des alternatives plausibles pour un même trajet (voir section 3.2.1.3), renforce les constats tirés à l'échelle des axes. On y constate que pour un axe de référence donné, il est plus probable de trouver une place dédiée au stationnement dans le corridor qui lui est associé. Ainsi, près de 96 % de la longueur totale des corridors compte au moins une place de stationnement.

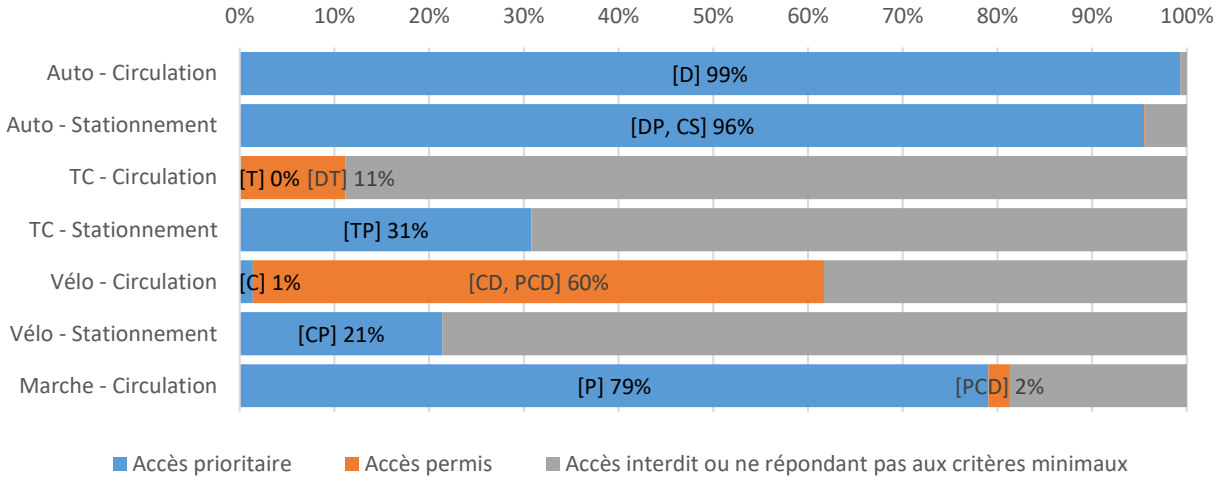


Figure 6.8 Distribution des **corridors** (pondérés par la longueur) selon la présence d'une surface allouée à chacun des usages, territoire d'étude, période de pointe du matin, 1er octobre 2018

6.1.4 Potentiel et limites d'une approche suffisantiste du partage de la rue

Une approche suffisantiste de l'évaluation du partage de la rue permet de déterminer si les rues du territoire d'étude offrent un accès minimal à chacun des modes considérés. Cela fournit un outil intéressant pour cibler les tronçons, les axes ou les corridors auxquels certains modes n'ont pas accès, que ce soit de manière exclusive ou partagée, et ainsi orienter d'éventuels efforts de réallocation de l'espace de voirie. Ce type d'approche peut être réalisé à l'aide de jeux de données très limités et ne nécessite pas la construction d'une base de données détaillée tenant compte des superficies; une telle approche pourrait par exemple être appliquée à l'aide des données extraites d'OpenStreetMap, pour peu que celles-ci soient exhaustives. La question de l'établissement d'un seuil minimal pour les différents modes reste toutefois à clarifier : est-ce qu'une rue peut être

considérée comme offrant un accès suffisant aux automobilistes qui désirent s'y stationner si on n'y retrouve qu'une seule place de stationnement, par exemple? De même, l'utilisation de seuils de confort ou de performance (niveau de service, etc.) pourrait être envisagée afin de reproduire pour les modes motorisés l'effet du niveau de stress cyclable (LTS) sur l'élimination de certains tronçons considérés comme impropres à la pratique des modes actifs (voir section 3.2.5.1.3.5).

6.2 Une approche utilitariste du partage de la rue

Dans une perspective utilitariste, la distribution la plus équitable d'une ressource est celle qui maximise l'utilité totale agrégée à l'échelle de l'ensemble de la population (voir section 2.2.2.2). Dans le contexte du partage de la rue, cette utilité peut être définie de multiples façons et selon divers niveaux de complexité, tel que le soulignent Creutzig et al. (2020), d'autant plus que les rues répondent à des besoins relevant de plusieurs dimensions. Par exemple, on pourrait considérer qu'une rue maximise l'utilité globale si elle permet au plus grand nombre de personnes de se déplacer, si elle offre le plus grand potentiel économique à l'aide d'espaces propices aux activités commerciales, ou encore si elle contribue le plus possible à la préservation de l'environnement en absorbant les polluants et en réduisant les îlots de chaleur à l'aide de surfaces végétalisées. Tous ces cas de figure reposent sur la notion de capacité : la rue qui offre la plus grande capacité, c'est-à-dire celle qui est en mesure de répondre aux besoins du plus grand nombre, serait celle qui offrirait le meilleur potentiel de maximisation de l'utilité totale.

Au sein de la dimension de lien, sur laquelle se concentre le présent chapitre, la capacité est approchée de différentes manières dans le domaine de la planification des transports. Traditionnellement, la capacité d'une infrastructure de transport est mesurée selon le nombre de véhicules (généralement motorisés) dont elle est en mesure d'assurer le passage au cours d'une unité de temps donnée. Ainsi, le critère principal de performance d'une rue est souvent le nombre d'unités de voiture particulière (UVP) par heure qui peuvent la traverser ainsi que son corollaire, à savoir le délai subi par les automobilistes en empruntant la rue en question par rapport à une situation d'écoulement libre.

Cette conception étriquée de la capacité des rues fait abstraction du fait que les autres modes de transport des personnes sont, à emprise spatiale égale, capables de déplacer beaucoup plus d'individus par unité temporelle. Deux voies de circulation automobile, par exemple, peuvent

accommoder jusqu'à 3 200 véhicules par heure (NACTO, 2016) – ce qui équivaut à environ 3 600 passagers par heure[52]. En revanche, une piste cyclable bidirectionnelle est en mesure d'accueillir jusqu'à 7 500 usagers par heure, c'est-à-dire plus du double de la capacité des voies automobiles. C'est dans cette optique que la Ville de Londres, entre autres pouvoirs publics, indique dans sa stratégie de transport (Mayor of London, 2018) vouloir favoriser les modes de transport « spatialement efficaces »[53] pour améliorer la capacité des rues de son territoire sans augmenter l'emprise de la voirie au sein des quartiers centraux.

Il est permis de penser qu'une rue qui possède une plus grande capacité en termes de passagers par heure permet à davantage d'individus d'accéder à leur destination plus rapidement, maximisant ainsi les échanges (sociaux, commerciaux, etc.) et améliorant par le fait même l'utilité globale pour l'ensemble de la population. La présente section présente donc une approche permettant d'estimer la capacité multimodale théorique des tronçons de rues du territoire d'étude à l'aide des données recueillies sur l'allocation de la voirie.

6.2.1 Calcul de la capacité théorique selon le mode

Afin de calculer la capacité théorique d'un tronçon de rue, une capacité moyenne théorique est assignée à chaque type d'usage de la voirie à partir de la littérature scientifique et technique et d'hypothèses sur les taux d'occupation des véhicules ainsi que sur les taux de roulement des espaces dédiés au stationnement. Les valeurs choisies sont présentées au tableau 6.2. Ces capacités théoriques ne tiennent pas compte des facteurs empiriques tels que le phasage des feux de circulation, les différents mouvements aux intersections, le taux réel de roulement des espaces de stationnement ou encore la qualité de la chaussée pour les modes actifs. Ainsi, les calculs effectués dans la présente section doivent être envisagés comme des estimations visant à obtenir une idée globale de la capacité théorique des rues du territoire d'étude à des fins de comparaison des tronçons de rues entre eux et de suivi dans le temps, et non comme une analyse de la capacité réelle à des fins opérationnelles.

---

[52] Ce calcul tient compte d'un taux d'occupation de 1,12 passager par véhicule tel que relevé en période de pointe du matin dans la région de Montréal par l'Enquête Origine-Destination 2013 (Morency et Verreault, 2020).

[53] « *space-efficient means of travel* » (Mayor of London, 2018, p. 74)

Afin de pouvoir additionner la capacité des tronçons pour calculer la capacité totale théorique d'un territoire donné, la valeur pour chaque tronçon est pondérée par sa longueur afin d'obtenir une capacité exprimée en passagers-kilomètres par heure (PK/h).

Tableau 6.2 Capacité théorique selon le type d'usage

Type d'usage	**Sigle**	**Passagers/heure**	**Note**
Voie de circulation automobile	D	1 000	800 véhicules/heure selon un taux d'occupation de 1,25 passager par véhicule (Morency, 2019)
Place de stationnement	DP	1,25	Taux de roulement de 1 véhicule par heure selon un taux d'occupation de 1,25 passager par véhicule (Morency, 2019)
Voie réservée au transport collectif	T	1 800	60 passagers par véhicule avec un intervalle de 2 minutes
Voie de circulation automobile avec service d'autobus	DT	1 350	Capacité d'une voie automobile + moitié de la capacité d'une voie réservée pour les autobus
Arrêt d'autobus	TP	115	Correspond au quart de la capacité d'une voie de circulation automobile avec service d'autobus
Voie cyclable	C	500/mètre de largeur	Voir Seriani et al. (2015)
Support à vélo ou station BIXI	CP	1/place	Taux de roulement de 1 passager par heure
Trottoir	P	1 980/mètre de largeur	Voir Cao et al. (2017)
Chaussée piétonne	P	1 980/mètre de largeur	"
Chaussée partagée entre cyclistes et automobilistes	CD	+125	24 % de la capacité d'une voie cyclable régulière, ce qui correspond à la part des cyclistes qui ne ressentent pas le besoin de circuler sur une voie cyclable (voir Damant-Sirois et al., 2014).
Chaussée partagée entre piétons, cyclistes et automobilistes	PCD	Cyclistes: + 125 Piétons: + 60	" + 1 piéton par minute

La figure 6.9 illustre la superficie totale allouée à chaque mode au sein du territoire d'étude ainsi que la part de la capacité totale théorique qui résulte de cette allocation pour chaque mode. On y observe qu'environ les trois quarts de la superficie de voirie est allouée à la voiture, de manière

exclusive ou partagée avec d'autres modes. En revanche, la capacité totale qui en résulte pour les automobilistes représente moins du tiers de la capacité totale théorique de la voirie du territoire d'étude. À l'inverse, les espaces dédiés aux piétons représentent moins de 20 % de la superficie totale de voirie, mais plus de 60 % de la capacité totale théorique des rues du territoire d'étude. Cela illustre donc la forte efficacité spatiale des modes actifs.

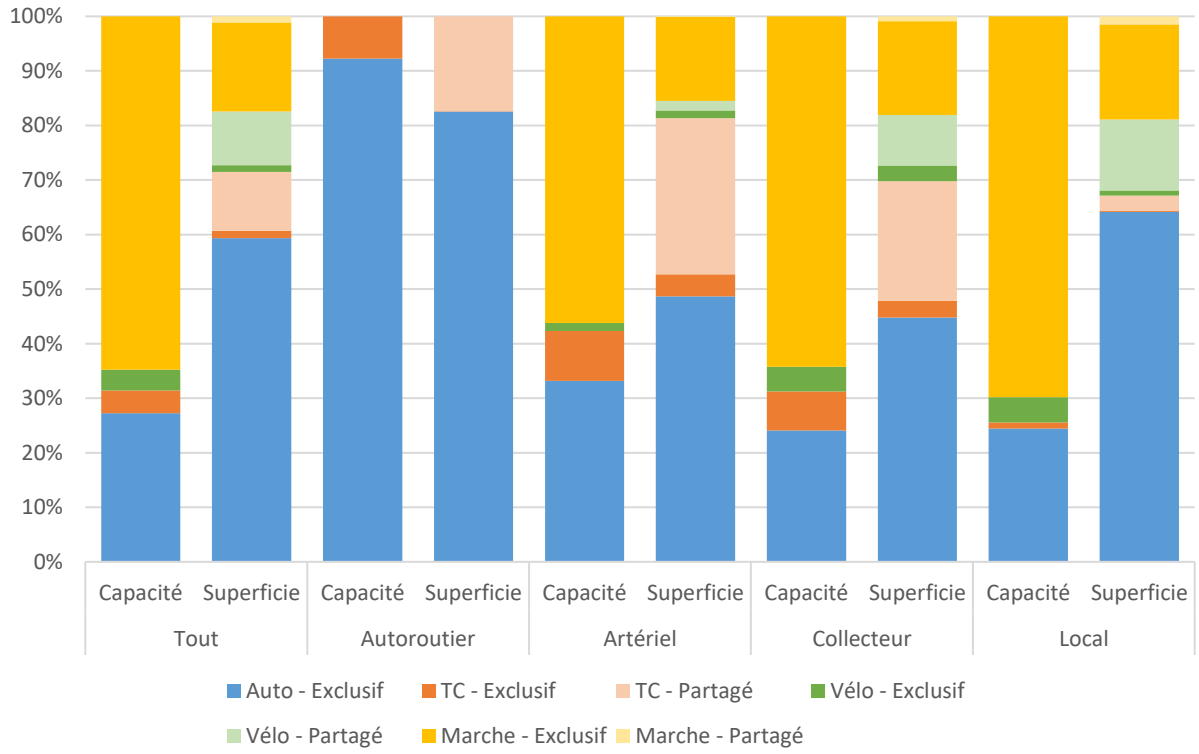


Figure 6.9 Répartition moyenne de la superficie et de la capacité en période de pointe du matin selon le mode et la hiérarchie fonctionnelle, journée moyenne de semaine en 2018, territoire d'étude

6.2.1.1 Variation temporelle de l'indicateur utilitariste

La figure 6.10 illustre la variation relative de la capacité totale théorique des rues du territoire d'étude durant la journée du 1er octobre 2018 en fonction de l'allocation des différentes surfaces de voirie. Au début de la journée, à 5 h 00, la capacité théorique totale des rues du territoire d'étude est de 18 385 289 PK/h. Au cours de la période de pointe du matin, cette capacité théorique totale atteint une valeur maximale de 18 627 659 PK/h à 8 h 30, ce qui représente une augmentation de

1,32 %. En période de pointe de l'après-midi, la capacité théorique totale atteint 18 596 481 PK/h, soit une augmentation de 1,15 % par rapport au début de la journée.

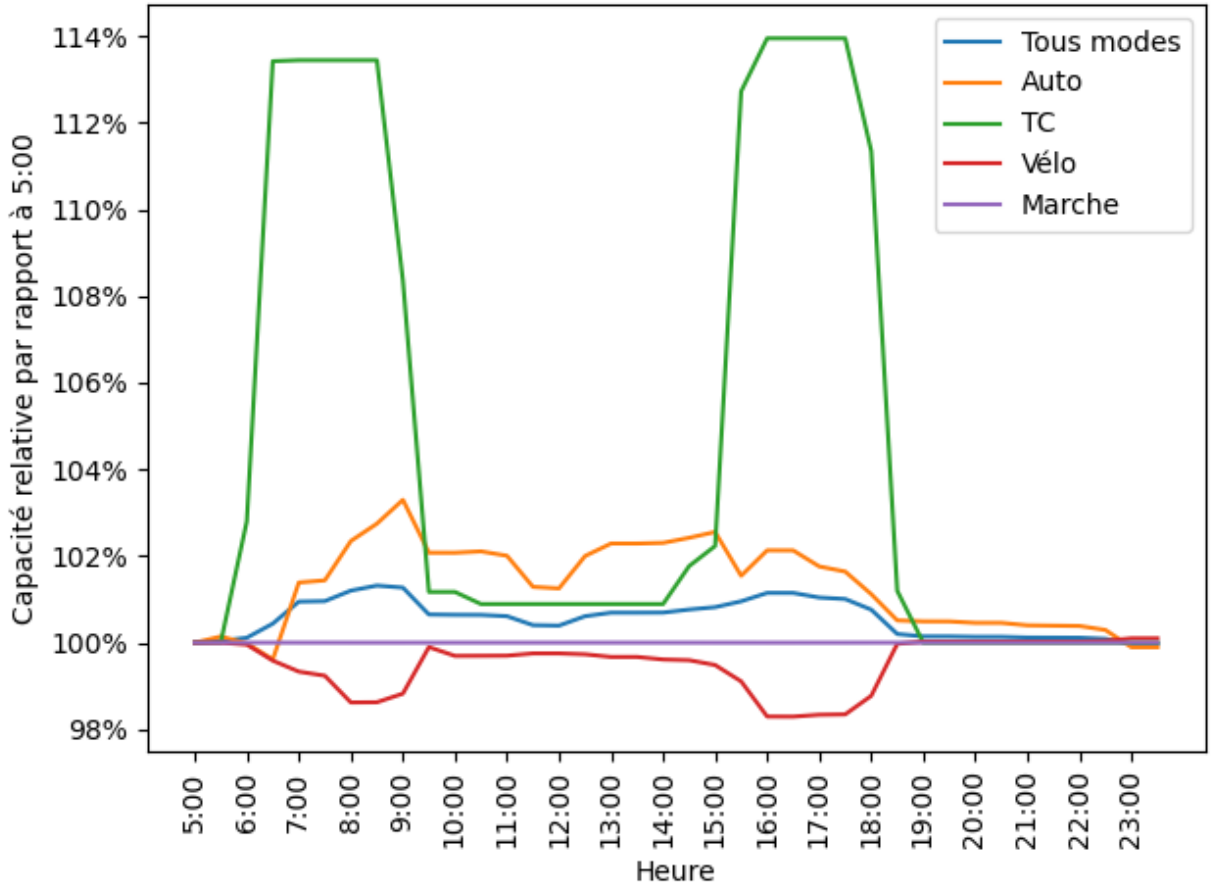


Figure 6.10 Variation de la capacité totale théorique des rues du territoire d'étude au cours de la journée du 1er octobre 2018

En décomposant la variation de la capacité par mode, on remarque que la plus grande variation se produit à l'avantage des usagers du transport collectif. En effet, la conversion de voies de circulation automobile en voies réservées durant les périodes de pointe permet d'augmenter de 13,95 % la capacité totale théorique allouée aux autobus. On observe une variation plus importante en période de pointe de l'après-midi, ce qui s'explique par un nombre légèrement plus élevé de kilomètres de voies réservées en activité – 59,04 km en pointe du matin contre 56,78 km en pointe de l'après-midi. Si elles améliorent la capacité totale dédiée au transport collectif, ces interventions contribuent toutefois à réduire la capacité cyclable totale du réseau routier en raison de l'interdiction qui est faite aux cyclistes de rouler dans une voie réservée au transport collectif en

l'absence d'une signalisation explicite. La conversion de voies de stationnement en voies de circulation permet pour sa part d'augmenter la capacité automobile des rues du territoire d'étude d'au plus 3,30 %, une intervention qui contribue toutefois elle aussi à une diminution nette de la capacité cyclable puisque l'ajout d'une voie peut faire tomber un tronçon de rue sous le seuil de confort cyclable (voir section 3.2.5.1.3.5). Ainsi, pendant les périodes de pointe du matin et de l'après-midi, la capacité cyclable théorique de l'ensemble des rues du territoire d'étude diminue respectivement de 1,38 % et 1,71 %. La capacité cyclable du réseau est donc réduite durant la période où les volumes de circulation sont les plus importants, tous modes confondus, et où la compétition pour l'espace est la plus forte, le tout afin d'augmenter la capacité allouée aux modes motorisés (collectifs ou individuels). Pour sa part, la capacité piétonne, qui représente 65 % de la capacité totale des rues du territoire d'étude (voir figure 6.9), ne varie pas au cours de la journée choisie. En effet, à l'exception de la place du Marché-du-Nord, qui entoure le marché Jean-Talon, aucune piétonnisation sur une base horaire n'a été répertoriée dans les bases de données utilisées.

La figure 6.11 illustre le ratio entre la part de l'espace de voirie réalloué et le gain de capacité qui lui est associé. Ce ratio (α_r) est calculé comme suit :

$$\alpha_r = \frac{\%c_r}{\%s_r}$$

où $\%c_r$ représente l'augmentation relative de la capacité pour la rue r durant la période de référence par rapport à minuit et $\%s_r$ la part de la superficie de voirie réallouée pour la même période. On y remarque que les valeurs les plus hautes, hormis quelques tronçons courts où le stationnement est interdit en période de pointe, se retrouvent sur la rue Saint-Denis dans l'arrondissement Le Plateau-Mont-Royal, là où une voie de stationnement était convertie en voie cyclable en période de pointe du matin durant l'année de référence[54], ainsi que sur plusieurs tronçons accueillant des voies réservées au transport collectif.

[54] Cet aménagement (Le Devoir, 2015) a depuis été remplacé par deux voies cyclables unidirectionnelles dans le cadre du projet du Réseau express vélo (Ville de Montréal, 2021b).

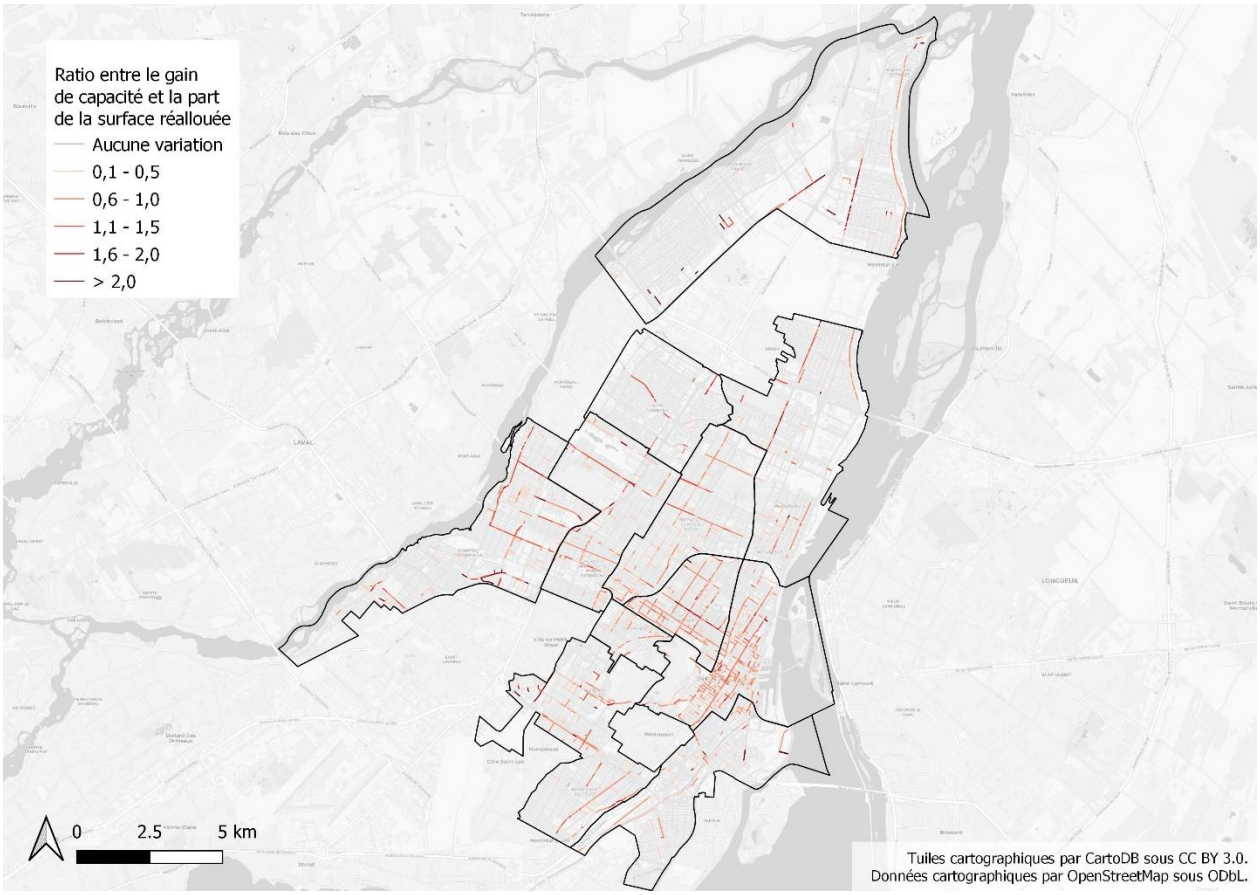


Figure 6.11 Ratio entre le gain en capacité totale et la part de la superficie réallouée, 1er octobre 2018, période de pointe du matin

6.2.2 Potentiel et limites d'une approche utilitariste du partage de la rue

Une approche utilitariste d'évaluation du partage de la rue permet d'illustrer l'efficacité spatiale des modes actifs et collectifs par rapport à l'automobile. L'utilisation d'une capacité théorique limite toutefois l'usage de cette approche pour l'étude de tronçons précis puisque la capacité empirique d'un tronçon de rue peut être affectée par un grand nombre de facteurs : taux de roulement du stationnement sur rue, qualité de la chaussée, vitesse pratiquée, taux de virages aux intersections, phasage des feux de circulation, etc. Ainsi, une telle approche gagnerait à être enrichie de données précises collectées au niveau des tronçons afin de mieux représenter la réalité empirique et permettre une estimation plus précise de la capacité réelle des différentes surfaces de voirie. La méthode proposée dans le cadre des présents travaux reste néanmoins utile dans une optique de comparaison de scénarios et d'illustration de l'efficacité spatiale des différents modes à

travers un territoire d'étude. Tout comme l'approche suffisantiste, une approche utilitariste peut être appliquée à l'aide de jeux de données sommaires et d'hypothèses sur la largeur des voies, ce qui en fait un outil généralisable à diverses échelles spatiales.

6.3 Une approche égalitariste du partage de la rue

Dans une perspective égalitariste, une ressource devrait, à terme, être distribuée de manière égale entre les différents groupes d'une population. Lorsqu'une distribution inéquitable est constatée, la ressource devrait être réallouée en priorité au groupe qui est le moins favorisé, comme le veut le principe du « *worst-off man* » de John Rawls (Martens, 2016, chap. 5). La plupart des démarches recensées (voir section 2.2.2.2) emploient ce type d'approche égalitariste afin d'évaluer le partage de la rue, et ce, en comparant la part de la voirie allouée à certains modes avec la part de la demande représentée par ce même mode. Toutefois, la prise en compte de l'offre est souvent parcellaire (voir section 2.3.1), tandis que la demande utilisée dans les démarches existantes est limitée à la demande observée, ce qui peut entraîner un problème d'endogénéité (voir section 2.3.2).

La présente section propose une approche égalitariste d'évaluation du partage de la rue sous la forme d'une analyse d'écart entre l'offre et la demande en transport dans les rues du territoire d'étude. Divers profils de demande observée et potentielle sont estimés afin de mesurer l'effet de cet intrant sur le diagnostic du partage de la rue. L'intégration des véhicules de transport des marchandises est aussi analysée afin de déterminer la sensibilité de la méthode proposée à la disponibilité des données sur ce type de véhicule.

6.3.1 Écart entre l'offre et la demande

6.3.1.1 Construction d'un indicateur d'écart offre-demande

Afin de représenter l'écart entre le poids d'un mode dans la répartition des surfaces de voirie et son poids dans la demande, un indicateur d'écart offre-demande est développé (voir Lefebvre-Ropars et al., 2021a pour un exemple d'application). Cet indicateur ($E_{u,m,p,v}$) compare, pour un mode m[55],

[55] $m = \{\text{auto}, \text{TC}, \text{vélo}, \text{marche}\}$ (voir section 3.3.1)

une unité spatiale u[56] et un profil de demande p[57] donnés, la part de la superficie de voirie allouée au mode m ($\%S_{m,u}$) et la part de la demande que ce mode représente ($\%D_{m,u,p,v}$) selon la pondération v[58] choisie :

$$E_{u,m,p,v} = \%S_{m,u} - \%D_{m,u,p,v}$$

L'indicateur représente donc la différence, en points de pourcentage, entre la part d'une unité spatiale allouée à un mode donné et la part de la demande au sein de cette unité spatiale représentée par ce mode (voir section 3.3). Une valeur positive de l'indicateur décrit une situation où la part de l'offre allouée à un mode donné est supérieure à la part de la demande qu'il représente, tandis qu'une valeur négative indique plutôt une sous-représentation de ce mode. La figure 6.12 illustre la construction de l'indicateur.

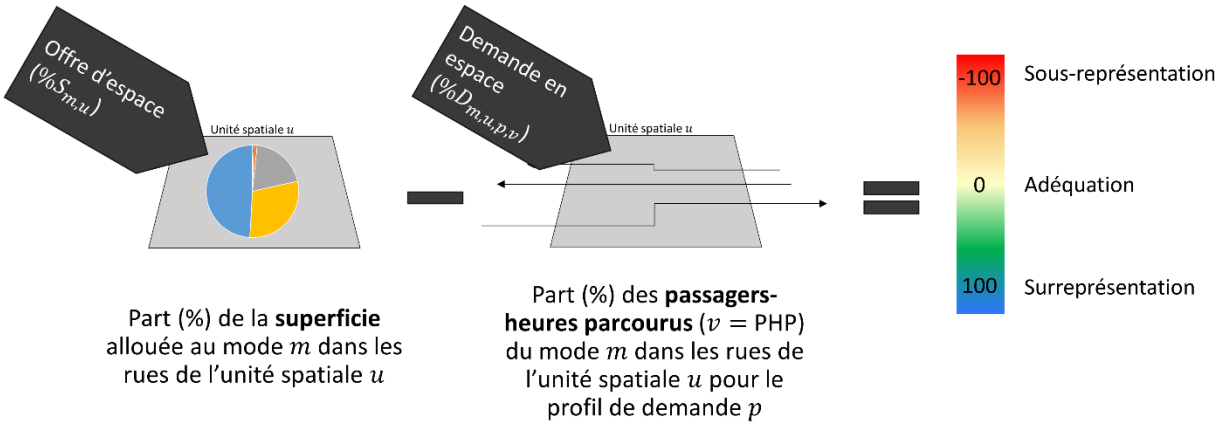


Figure 6.12 Construction de l'indicateur d'écart offre-demande pour un mode m donné

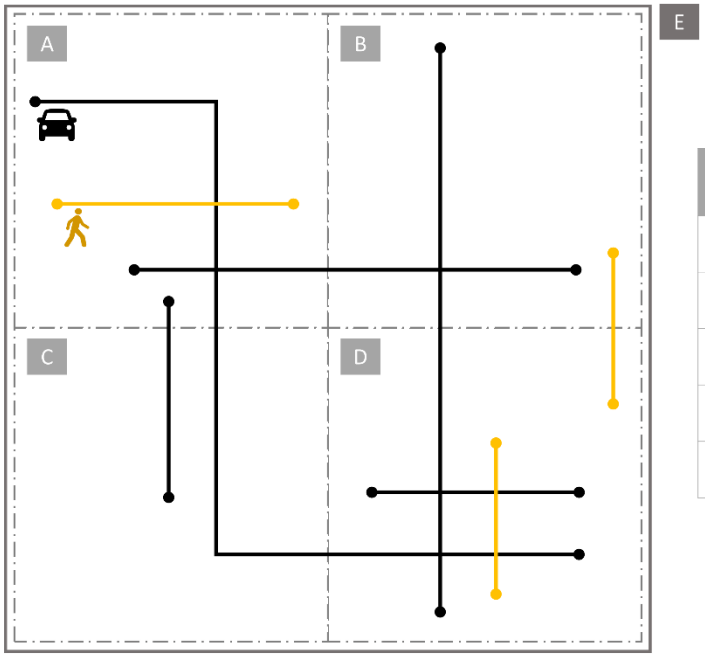
La figure 6.14 illustre l'effet du choix de la variable de pondération de la demande v sur l'indice d'écart offre-demande à l'échelle de l'ensemble du territoire d'étude lors de la période de pointe du matin. On y remarque que l'utilisation des passagers (déplacements pondérés par le facteur d'expansion seulement et non par la distance ou la durée du déplacement) résulte en un constat de surreprésentation de l'automobile et de sous-représentation des autres modes à l'échelle de

[56] u = {arrondissement, corridor, bassin} (voir section 3.2.1)

[57] p = {internes, produits, attirés, transit, locaux} (voir section 3.3.2)

[58] v = {PA, PKP, PHP} (voir section 3.3.1.1)

l'ensemble du territoire d'étude. Cette formulation est toutefois la plus sensible aux distorsions engendrées par le problème d'agrégation spatiale, ou « *modifiable areal unit problem* » (Lloyd, 2014). En effet, un même déplacement traversant quatre arrondissements différents sera compté une seule fois si l'échelle choisie est le territoire d'étude, mais quatre fois si l'échelle choisie est l'arrondissement, tel qu'illustré à la figure 6.13. Ainsi, la part des déplacements actifs, généralement plus courts que leurs pendants motorisés, est plus importante à mesure que l'unité d'analyse s'agrandit.



Unité spatiale	# auto	# marche	% marche
A	3	1	25 %
B	2	1	33 %
C	2	0	0 %
D	3	2	40 %
E	**5**	**3**	**38 %**

Figure 6.13 Effet de la variation de l'unité spatiale d'analyse sur la part modale lorsqu'aucune pondération n'est effectuée selon les caractéristiques du trajet

La pondération des déplacements par leur longueur (PKP) ou leur durée (PHP) permet de conserver une représentation stable des déplacements, et ce, peu importe l'échelle d'analyse choisie. La figure 6.14 permet de constater que la pondération par la distance parcourue (PKP) résulte en un constat de quasi-adéquation de l'offre et de la demande automobile et de surreprésentation de l'offre piétonne. À l'inverse, la pondération par la durée (PHP) présente les modes actifs et collectifs comme sous-représentés au sein du territoire d'étude, tandis que l'espace automobile y serait surreprésentée par rapport à son poids dans la demande. En raison de la faible part modale du vélo, l'écart offre-demande varie peu en fonction de l'unité choisie pour pondérer les déplacements.

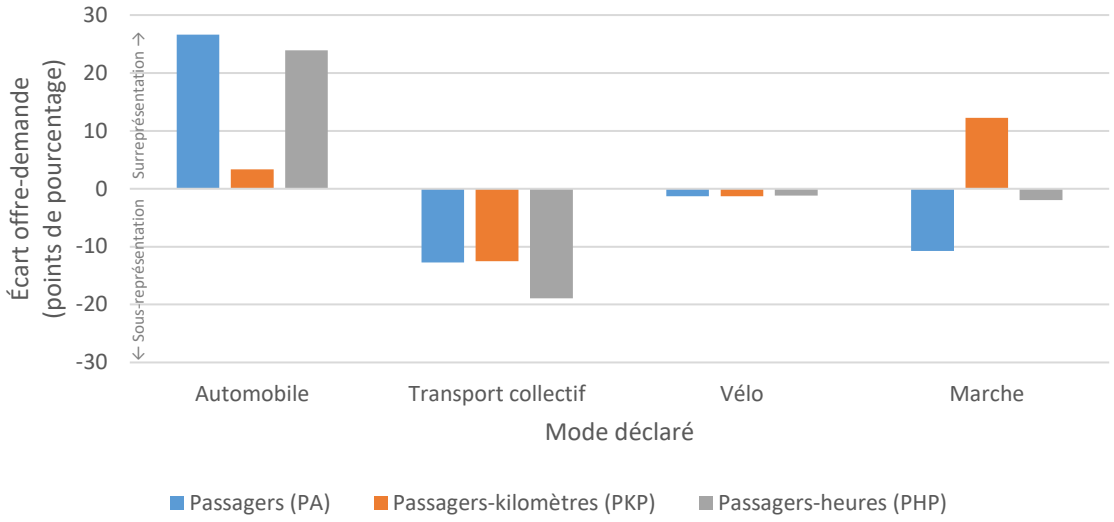


Figure 6.14 Valeur de l'indice d'écart offre-demande selon la pondération des déplacements, ensemble du territoire d'étude, déplacements observés, période de pointe du matin

Ces écarts s'expliquent par le différentiel de vitesse et les dynamiques spatiales des modes considérés, les déplacements motorisés couvrant en moyenne de plus grandes distances que les déplacements non-motorisés. À titre d'exemple, à peine 20 % des déplacements effectués en automobile à partir d'une origine située sur l'île de Montréal mesurent moins de 2 km, tandis que cette proportion atteint 90 % pour les déplacements effectués à pied. Une fois la distance pondérée par une vitesse moyenne par mode pour obtenir une durée de trajet, l'écart entre les distributions s'amenuise, tel qu'illustré à la figure 6.15.

D'un point de vue conceptuel, il apparaît plus à-propos d'employer la durée des déplacements puisque celle-ci représente l'usage réel de l'infrastructure par les usagers. En effet, l'usager d'un mode plus rapide sera présent moins longtemps sur une rue donnée que l'usager d'un mode plus lent. Par exemple, 10 piétons marchant à 5 km/h sur un tronçon de rue mesurant 200 m y passent un total 24 passagers-minutes, tandis que 40 automobilistes circulant en moyenne à 20 km/h sont nécessaires pour atteindre une valeur équivalente.

La formulation de la demande pour la suite de la présente thèse utilisera donc les passagers-heures parcourus (PHP).

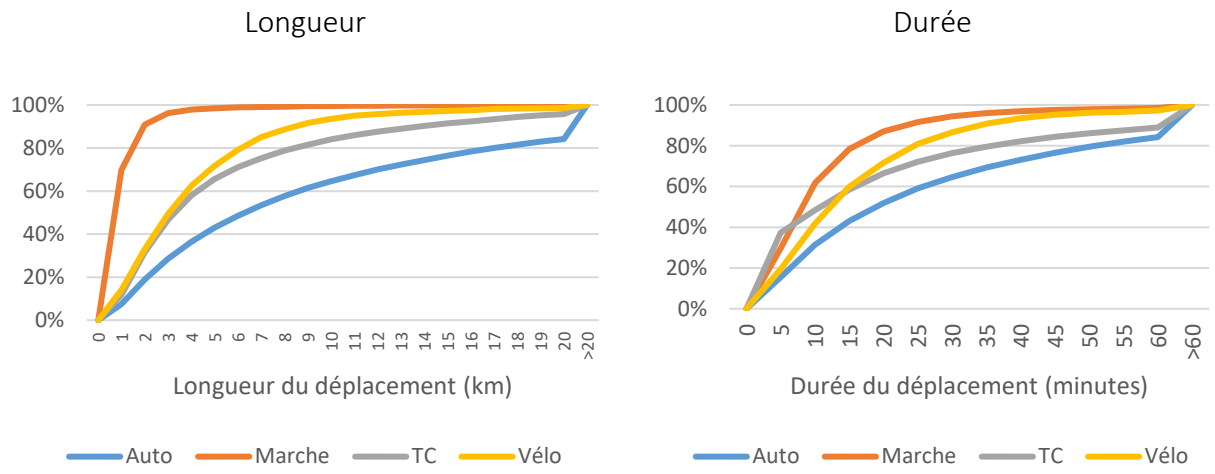


Figure 6.15 Distribution cumulée des déplacements (segments en véhicule au sein du territoire d'étude) selon la longueur et la durée du déplacement, déplacements dont l'origine est située sur l'île de Montréal, Enquête Origine-Destination 2013

6.3.1.2 Variation temporelle de la demande

Le choix d'une période d'analyse peut exercer une influence sur les constats tirés de l'Enquête OD. C'est pourquoi la variabilité de la demande au cours de la journée ainsi qu'au cours de la période d'enquête a été analysée afin de déterminer si le choix d'une période particulière de la journée pourrait avoir un effet sur les résultats présentés dans la présente section. Il est possible d'observer à la figure 6.16 que le nombre de déplacements observés au cours des périodes de pointe du matin et de l'après-midi est près de trois fois supérieur à celui que l'on observe au cours de la journée et jusqu'à huit fois supérieur à celui qui est observé en soirée. Par ailleurs, la part modale moyenne des quatre modes principaux est relativement stable entre les périodes horaires.

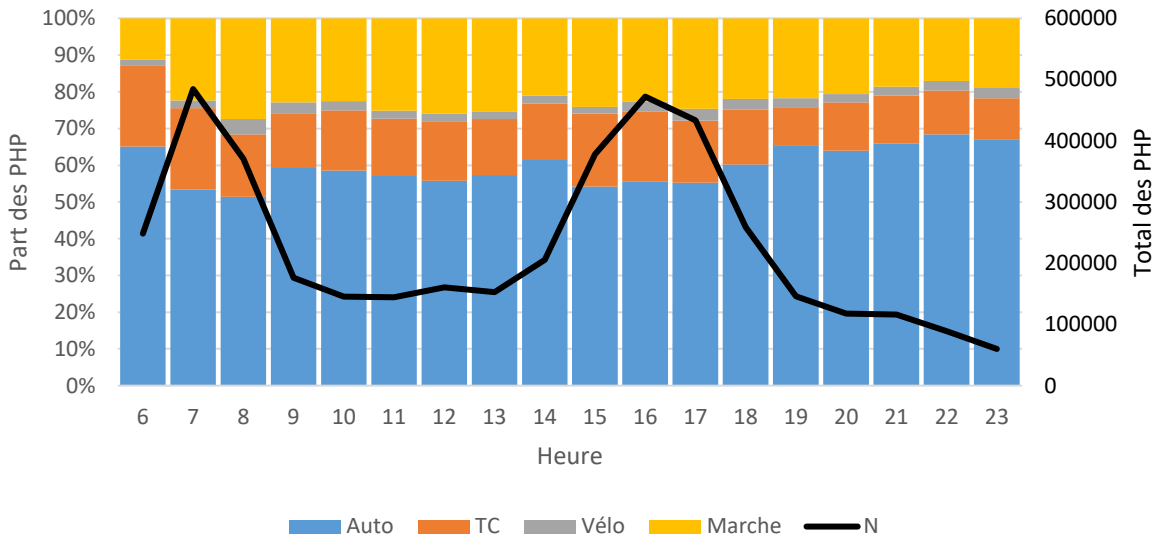


Figure 6.16 Variation de la part modale des PHP sur rue au cours d'une journée moyenne de semaine d'automne au sein du territoire d'étude, Enquête OD 2013

La figure 6.17 illustre que la part modale est également plutôt stable d'un mois d'enquête à l'autre, à l'exception notable de la part modale du vélo. En effet, celle-ci passe de près de 4 % lors du mois de septembre à presque 0 % en décembre[59] en raison des conditions hivernales qui contribuent à diminuer l'attrait du vélo. Dans le cadre d'une comparaison entre l'offre et la demande, sachant que l'offre de surfaces cyclables est également très faible à l'échelle du territoire d'étude (voir section 4.1), une telle différence ne devrait pas avoir un effet marquant sur le résultat d'une approche égalitariste comme celle qui est proposée dans la présente section.

Conséquemment, les analyses présentées dans les pages qui suivent se concentrent sur les déplacements effectués lors de la période de pointe du matin pour un jour moyen de semaine d'automne.

[59] Données redressées pour chaque mois à l'aide de la méthode des facteurs correctifs développée par Verreault et Morency (2011) appliquée à l'échelle du mois d'enquête plutôt qu'à celle de la journée.

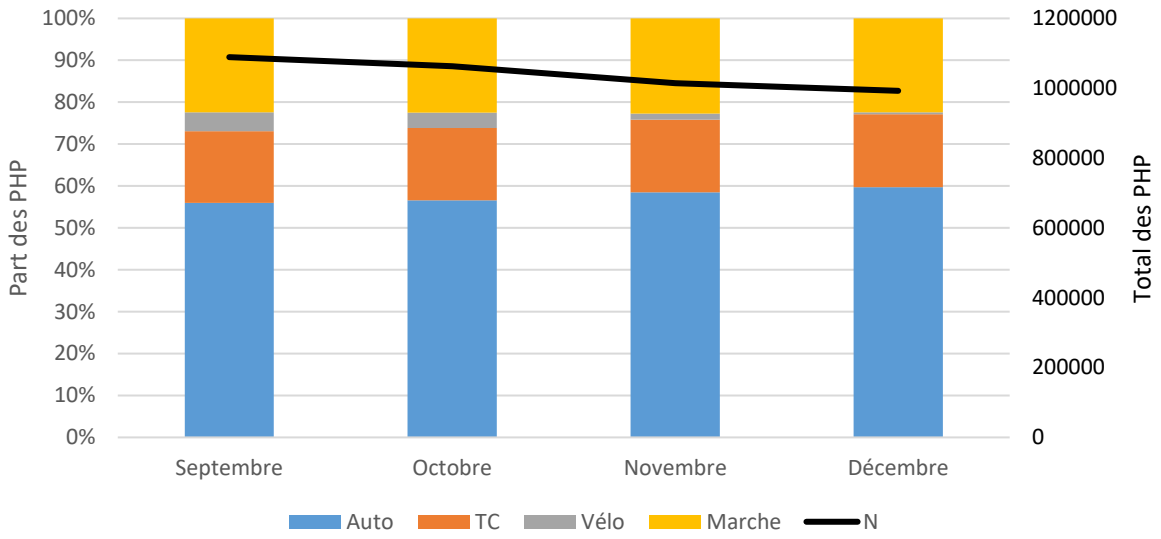


Figure 6.17 Variation de la part modale des PHP sur rue selon le mois d'enquête au sein du territoire d'étude, Enquête OD 2013

6.3.2 Écart offre-demande à l'échelle de l'arrondissement

L'écart entre l'offre et la demande en transport n'est pas uniforme à travers le territoire d'étude. Le tableau 6.3 et la figure 6.18 présentent l'écart offre-demande pour chaque mode au sein du territoire d'étude ainsi que dans chacun des 11 arrondissements. Dans l'ensemble des arrondissements, l'écart offre-demande est positif pour l'automobile, c'est-à-dire que la part de la superficie de voirie allouée aux automobilistes est supérieure à la part des PHP qu'ils représentent. Ce constat est plutôt homogène à travers le territoire d'étude, avec un écart-type d'au plus 5 points de pourcentage (p.p.) entre les différents arrondissements. Les arrondissements du Plateau-Mont-Royal (34,99), de Côte-des-Neiges–Notre-Dame-de-Grâce (34,83) et de Ville-Marie (43,09) sont ceux où le déséquilibre du partage de la rue en faveur des automobilistes pour le profil de demande observée est le plus marqué, tandis que l'arrondissement de Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles (22,60) est celui où l'écart est le moins élevé.

Tableau 6.3 Écart offre-demande selon l'arrondissement, journée moyenne de semaine d'automne, période de pointe du matin

Arrondissement	Profil de demande	Offre % de la superficie				Demande % des passagers-heures (PHP)				Écart offre-demande Points de pourcentage			
		Auto	TC	Vélo	Marche	Auto	TC	Vélo	Marche	Auto	TC	Vélo	Marche
AC	Observée	81 %	2 %	1 %	16 %	55 %	18 %	1 %	25 %	27,04	-16,69	-0,12	-9,03
	Potentielle	81 %	2 %	1 %	16 %	20 %	43 %	9 %	28 %	61,93	-41,09	-7,67	-11,97
CN	Observée	79 %	2 %	2 %	18 %	46 %	12 %	1 %	41 %	34,83	-9,90	0,31	-23,17
	Potentielle	79 %	2 %	2 %	18 %	19 %	16 %	18 %	47 %	61,41	-14,08	-16,21	-29,05
LN	Observée	82 %	1 %	1 %	17 %	53 %	20 %	0 %	27 %	29,68	-18,57	0,32	-10,31
	Potentielle	82 %	1 %	1 %	17 %	20 %	38 %	14 %	28 %	62,80	-36,93	-13,22	-11,52
MH	Observée	80 %	1 %	1 %	18 %	54 %	18 %	1 %	27 %	26,82	-16,64	0,21	-8,93
	Potentielle	80 %	1 %	1 %	18 %	20 %	43 %	8 %	29 %	61,24	-41,56	-7,01	-11,21
OM	Observée	75 %	0 %	1 %	24 %	40 %	11 %	5 %	44 %	36,75	-10,75	-3,44	-20,22
	Potentielle	75 %	0 %	1 %	24 %	14 %	9 %	37 %	41 %	63,33	-8,77	-35,42	-16,80
PM	Observée	72 %	2 %	3 %	24 %	39 %	11 %	8 %	42 %	34,99	-9,29	-5,06	-16,67
	Potentielle	72 %	2 %	3 %	24 %	15 %	10 %	35 %	41 %	59,70	-8,11	-32,18	-15,45
RO	Observée	73 %	1 %	3 %	23 %	36 %	21 %	4 %	38 %	38,02	-19,99	-1,41	-15,22
	Potentielle	73 %	1 %	3 %	23 %	12 %	29 %	23 %	36 %	61,63	-27,06	-19,86	-13,32
RP	Observée	84 %	1 %	1 %	13 %	62 %	21 %	0 %	16 %	22,60	-19,66	0,69	-2,90
	Potentielle	84 %	1 %	1 %	13 %	18 %	62 %	4 %	16 %	67,24	-60,18	-3,32	-3,01
SO	Observée	77 %	2 %	1 %	20 %	48 %	30 %	2 %	20 %	30,40	-27,71	-1,05	0,41
	Potentielle	77 %	2 %	1 %	20 %	17 %	56 %	10 %	17 %	61,67	-54,28	-9,41	4,07
VM	Observée	76 %	2 %	1 %	21 %	35 %	13 %	3 %	49 %	43,09	-11,28	-1,58	-27,18
	Potentielle	76 %	2 %	1 %	21 %	13 %	20 %	16 %	51 %	65,16	-18,15	-14,26	-29,69
VS	Observée	78 %	2 %	1 %	20 %	46 %	15 %	2 %	37 %	32,51	-13,51	-0,64	-16,89
	Potentielle	78 %	2 %	1 %	20 %	17 %	28 %	15 %	40 %	61,37	-26,71	-13,60	-19,59
Territoire d'étude	*Observée*	78 %	1 %	1 %	19 %	47 %	17 %	2 %	34 %	32,45	-15,77	-0,79	-14,06
	Potentielle	78 %	1 %	1 %	19 %	17 %	35 %	14 %	34 %	62,34	-33,91	-12,48	-14,11

L'écart-type de l'indicateur entre les arrondissements pour les automobilistes est plus réduit dans le cas du profil de demande potentielle puisque la demande automobile est reportée sur différents modes selon l'arrondissement. En effet, l'écart offre-demande penche plutôt du côté du transport collectif dans les arrondissements périphériques et du côté des modes actifs dans les arrondissements plus centraux. Cela s'explique par la part modale plus importante des modes actifs dans les quartiers situés près du centre-ville, mais également par la distance moyenne plus courte des déplacements dans les arrondissements centraux (due à la plus grande mixité d'usages des quartiers), ce qui rend ces déplacements plus susceptibles d'être transférés vers un mode actif lors de la construction du profil de demande potentielle (voir section 3.3.2). Dans les arrondissements d'Outremont et du Plateau-Mont-Royal, l'écart entre la part de la superficie allouée aux cyclistes et la part de la demande potentielle qu'ils représentent atteint ainsi plus de 30 p.p., tandis que l'indice d'écart offre-demande du TC pour le profil de demande potentielle atteint plus de 50 p.p.

dans Le Sud-Ouest et plus de 60 p.p. dans Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles. Chez les piétons, on remarque que les arrondissements où l'écart est le plus grand entre l'offre et la demande est dans les arrondissements de Côte-des-Neiges–Notre-Dame-de-Grâce et de Ville-Marie dans le cas des deux profils de demande. Il est donc possible d'affirmer que ces deux arrondissements seraient à cibler en priorité pour une augmentation de l'espace consacré aux piétons, tandis que les arrondissements de Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles, du Sud-Ouest, d'Ahuntsic-Cartierville et de Mercier–Hochelaga-Maisonneuve bénéficieraient davantage de l'implantation de voies réservées au transport collectif et les arrondissements d'Outremont et du Plateau-Mont-Royal, de l'ajout de voies cyclables.

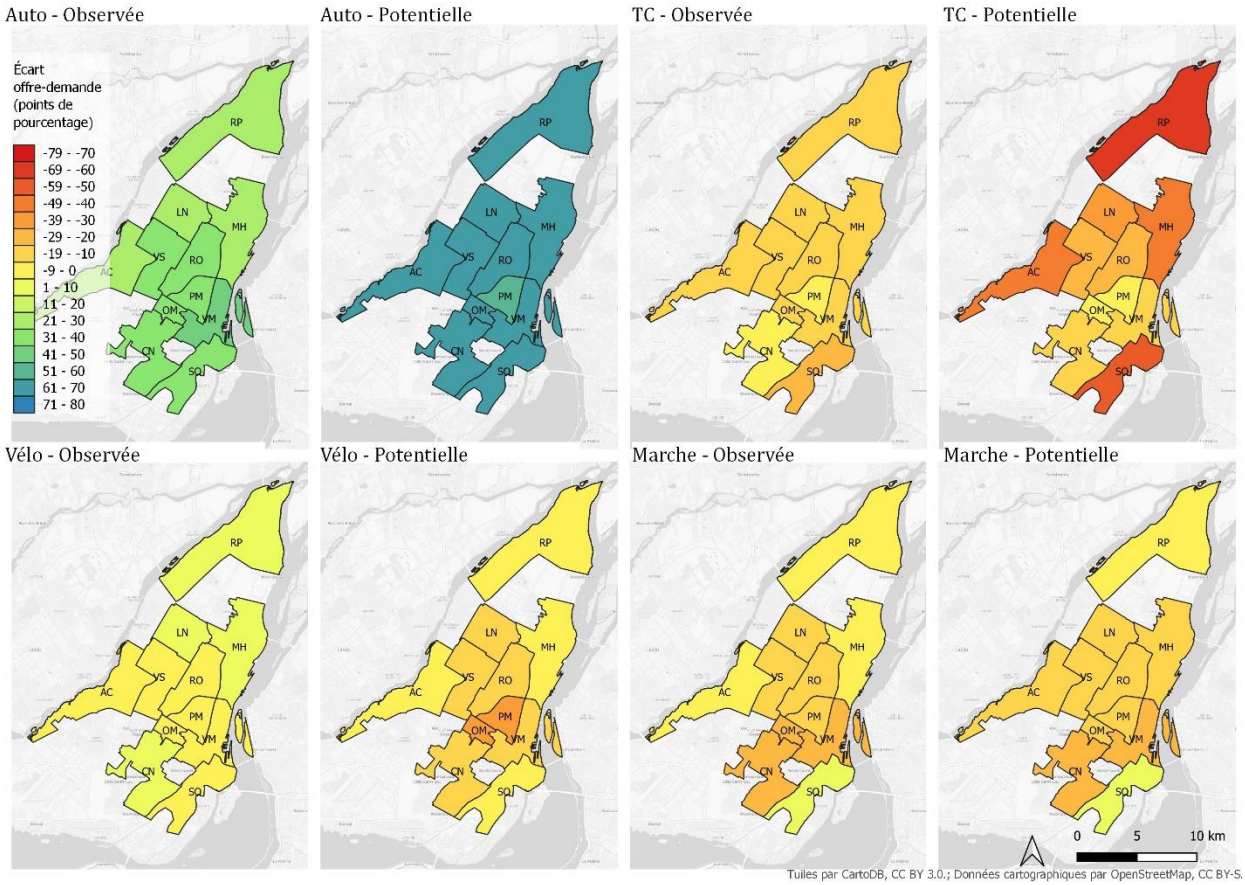


Figure 6.18 Écart offre-demande selon l'arrondissement, journée moyenne de semaine d'automne, période de pointe du matin

6.3.2.1 Écart offre-demande selon la provenance des déplacements

La ventilation de la demande selon la provenance et la destination des déplacements permet d'identifier l'une des sources du déséquilibre entre offre et demande dans les rues du territoire

d'étude. Dans le cas de l'arrondissement de Ville-Marie, qui correspond au centre-ville de Montréal et aux quartiers qui lui sont directement adjacents, il est possible de constater à la figure 6.19 que les déplacements de transit, c'est-à-dire ceux qui n'ont ni origine ni destination dans l'arrondissement mais qui le traversent, sont constitués majoritairement de PHP motorisés. Cela est en partie dû à la présence de l'autoroute Ville-Marie (route 136, anciennement A-720), qui canalise de nombreux déplacements de transit automobile en période de pointe du matin.

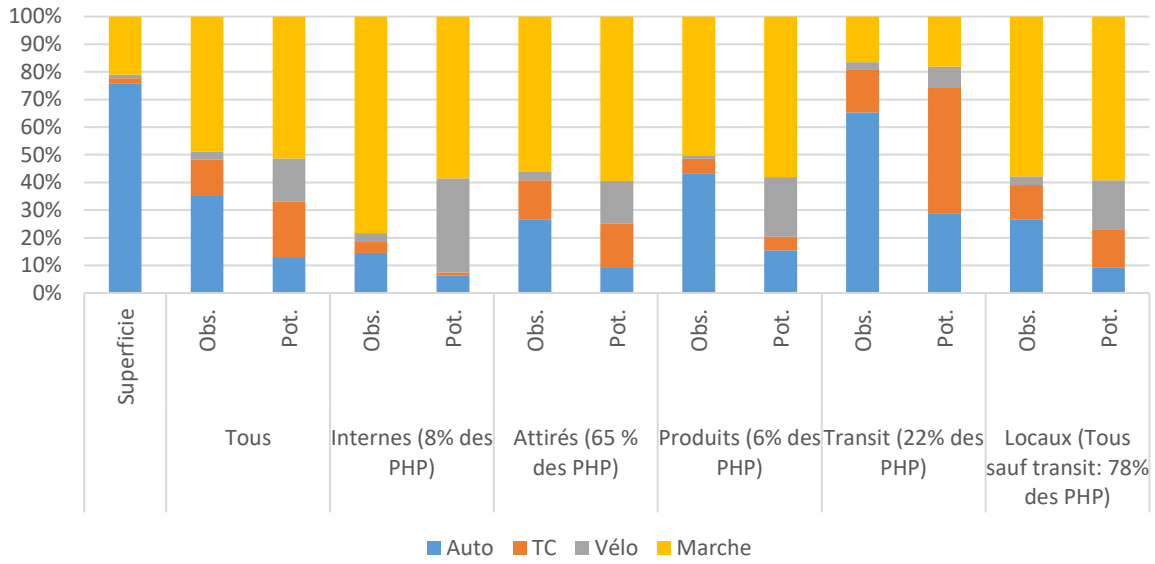


Figure 6.19 Offre et demande selon le profil de demande et la provenance des déplacements, arrondissement de Ville-Marie, période de pointe du matin

Dans le cas des déplacements locaux, c'est-à-dire ceux dont au moins l'origine ou la destination se trouve dans l'arrondissement, la majorité des PHP est composée de déplacements actifs. Ainsi, un écart offre-demande calculé en tenant compte seulement des déplacements de transit (22 % des PHP) conclurait à un partage de la rue équilibré à l'échelle de l'arrondissement, tandis que le même calcul qui ne tiendrait compte que des déplacements locaux (78 % des PHP) conclurait à un partage encore plus déséquilibré que celui qu'il est possible de constater au tableau 6.3. La figure 6.20 illustre l'effet du retrait des déplacements de transit dans le rapport entre offre et demande pour les arrondissements du territoire d'étude. On y remarque que l'effet se manifeste surtout dans le cas des PHP des piétons et des automobilistes dans le cas précis du centre-ville.



Figure 6.20 Rapport entre la part de la superficie et la part de la demande selon le mode et la provenance des déplacements dans les arrondissements du territoire d'étude

6.3.3 Écart offre-demande à l'échelle du corridor

L'indicateur d'écart offre-demande proposé peut être appliqué à plusieurs unités spatiales, en autant que les données d'offre et de demande soient disponibles. Dans le cadre des présents travaux, les données de demande issues de l'Enquête OD 2013 n'offrent pas un échantillon suffisamment

grand pour être en mesure d'affecter la demande de manière représentative au niveau de chaque tronçon de rue. Toutefois, le regroupement des tronçons de rues en corridors (voir section 3.2.1.3) permet d'agréger les données et d'obtenir un plus grand nombre d'observations pour chaque unité d'analyse. La figure 6.21, la figure 6.22, la figure 6.23 et la figure 6.24 illustrent respectivement la distribution de l'indicateur d'écart offre-demande à l'échelle des corridors pour l'automobile, le transport collectif, le vélo et la marche en fonction des profils de demande observée et potentielle. La valeur affichée pour un tronçon de rue est donc celle qui correspond à l'écart entre l'offre mesurée sur ce même tronçon et la demande mesurée à travers l'ensemble des tronçons de rues du corridor auquel ce tronçon appartient.

6.3.3.1 Écart offre-demande pour l'automobile à l'échelle du corridor

Tel qu'illustré à la figure 6.21, l'indice d'écart offre-demande pour la demande observée est positif dans la majorité des corridors du territoire d'étude, avec des valeurs particulièrement élevées dans les zones situées près du centre-ville. En d'autres mots, l'espace consacré à l'automobile y est surreprésenté par rapport à la part de la demande constituée de déplacements automobiles. Pour leur part, les axes autoroutiers reçoivent généralement une valeur de 0. Cela s'explique par le fait que, dans la plupart des cas, l'automobile est le seul mode pouvant accéder à ce type d'axe; il n'y a donc aucun écart entre une offre consacrée à l'automobile à 100 % et une demande constituée à 100 % de déplacements automobiles. Une exception notable à ce phénomène est l'autoroute Bonaventure (A-10), sur laquelle circulent un grand nombre de lignes d'autobus en provenance de l'agglomération de Longueuil, et où l'écart entre la part des passagers-heures parcourus (PHP) et la superficie consacrée au transport collectif est très élevé.

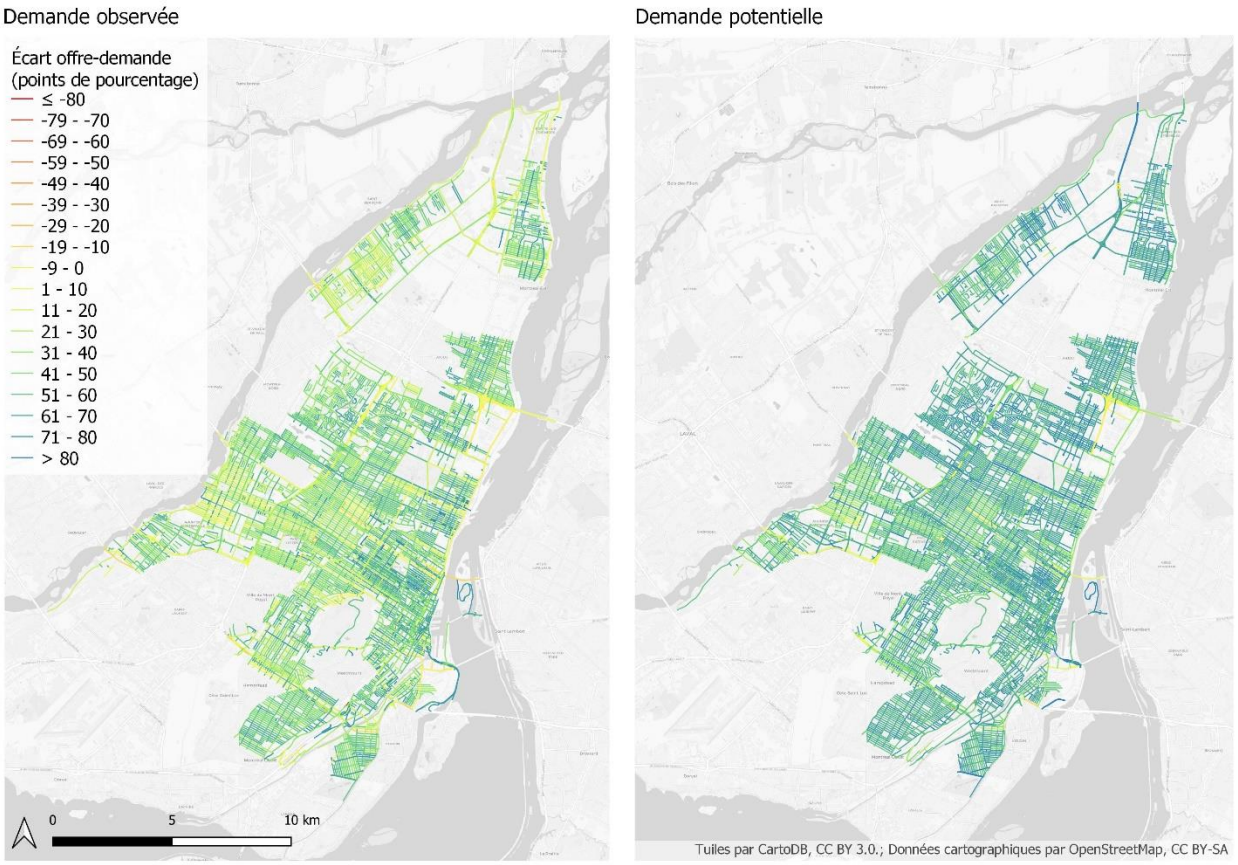


Figure 6.21 Écart offre-demande de l'automobile par corridor selon le profil de demande, journée moyenne de semaine d'automne, période de pointe du matin

Quelques corridors se voient attribuer un score négatif, ce qui indique une sous-représentation de l'espace alloué à l'automobile par rapport à la part de la demande représentée par ce mode. Parmi ces corridors, on retrouve les rues Wellington et Bridge près de l'accès au pont Victoria, une partie du boulevard Décarie jouxtant l'autoroute du même nom (A-15) ainsi que la rue Notre-Dame et l'avenue Souligny, qui accueillent des flux de transit provenant de l'autoroute 25. Au total, 96,79 % des corridors du territoire d'étude (en kilomètres linéaires) sont caractérisés par un indice d'écart offre-demande positif pour l'automobile, c'est-à-dire par une surreprésentation de l'espace consacré à l'automobile par rapport à la part de la demande observée représentée par celle-ci. Ce constat ne fait qu'être renforcé lorsque l'indicateur est appliqué au profil de demande potentielle, avec 99,17 % des kilomètres linéaires du territoire d'étude caractérisés par une surreprésentation de l'espace consacré à l'automobile.

6.3.3.2 Écart offre-demande pour le transport collectif à l'échelle du corridor

Étant donné la surreprésentation marquée de l'espace alloué à l'automobile dans la majorité des corridors du territoire d'étude, il est normal d'observer, en contrepartie, une sous-représentation de l'espace consacré aux autres modes. C'est ce que permet de constater la figure 6.22 dans le cas du transport collectif : 89,75 % des kilomètres linéaires mesurés à l'échelle des corridors[60] sont en situation de sous-représentation du transport collectif lorsque l'on s'intéresse au profil de demande observée, contre seulement 6,82 % en situation de surreprésentation. Même dans le cas de ces derniers, les valeurs ne dépassent pas 5 points de pourcentage.

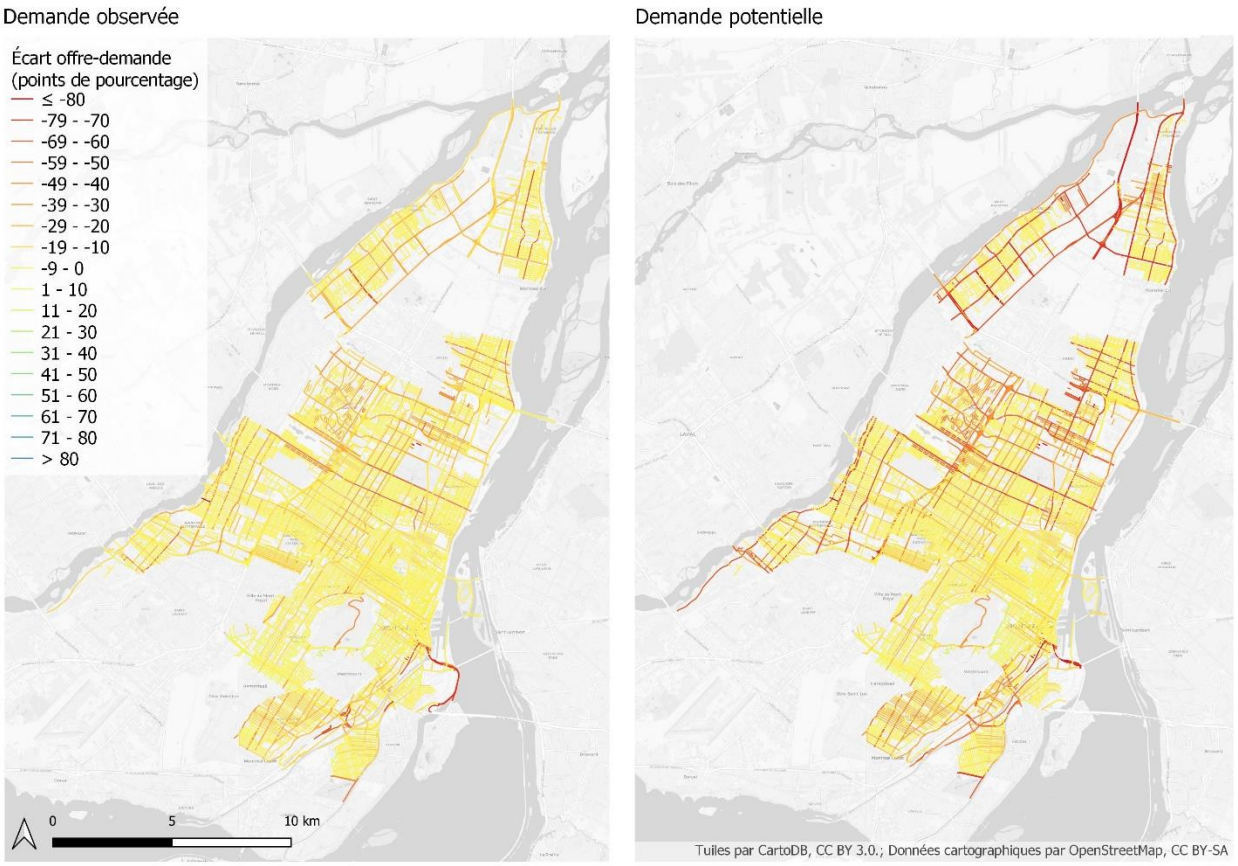


Figure 6.22 Écart offre-demande du transport collectif par corridor selon le profil de demande, journée moyenne de semaine d'automne, période de pointe du matin

[60] Corridors avec service de bus seulement

Les axes où les valeurs de l'indice d'écart offre-demande sont les plus faibles, c'est-à-dire là où l'on retrouve le plus grand écart négatif entre offre et demande, sont les grands axes de transport collectif de l'est du territoire d'étude ainsi que, tel que précédemment mentionné, l'autoroute Bonaventure (A-10) à destination du centre-ville. Il est intéressant de constater que le corridor du boulevard Pie-IX, où se poursuit la construction d'un système de service rapide par bus (SRB), obtient parmi les valeurs les plus faibles de l'indicateur, avec un écart de 59,02 points de pourcentage entre la part de l'espace consacrée au transport collectif sur le boulevard Pie-IX et la part de la demande constituée d'usagers du transport collectif dans ce corridor. L'écart offre-demande est également très important dans l'arrondissement de Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles ainsi que dans le nord-ouest de l'arrondissement d'Ahuntsic-Cartierville, où de nombreux usagers du transport collectif de l'arrondissement et des banlieues avoisinantes empruntent l'autobus afin de se rabattre sur le réseau structurant du centre de l'île.

Lorsque l'on considère le profil de demande potentielle, le constat de sous-représentation de l'espace dédié au transport collectif s'accroît à travers le territoire d'étude, à l'exception notable des corridors situés dans l'arrondissement Le Plateau-Mont-Royal (PM) et dans le quartier Côte-des-Neiges. Cela s'explique probablement par une part modale observée plutôt faible de l'automobile dans ces quartiers, ce qui diminue le nombre de déplacements transférés au transport collectif lors de la création du profil de demande potentielle, mais aussi par la présence de lignes de métro qui accueillent la majorité des déplacements en transport collectif effectués dans ces secteurs.

6.3.3.3 Écart offre-demande pour le vélo à l'échelle du corridor

Étant donné la part modale assez faible du vélo au sein du territoire d'étude (2,23 % des PHP observés en PPAM), il n'est pas surprenant de constater que la majorité des corridors sont caractérisés par un écart offre-demande presque nul. En effet, si 89,75 % des kilomètres linéaires du territoire d'étude reçoivent un score négatif, c'est-à-dire une sous-représentation de l'espace cyclable exclusif par rapport à la demande, cette valeur tombe à 44,55 % si l'on considère les tronçons où l'écart est supérieur à 1 point de pourcentage, et à 30,40 % avec un écart supérieur à 2 points de pourcentage. En d'autres mots, la faible part modale du vélo (pour la période automnale durant laquelle est menée l'Enquête OD) est principalement responsable des faibles écarts constatés, puisqu'un tronçon de rue dont 0 % de la superficie est consacrée de manière exclusive

au vélo mais où seulement 2 % des PHP sont effectués à vélo recevra un score de 2,00. Cela souligne la pertinence d'employer non seulement une approche égalitariste, mais également des mesures de type suffisantiste, puisqu'une absence d'infrastructure peut être inconfortable ou même dangereuse pour les cyclistes qui empruntent un tronçon donné, tout rares soient-ils.

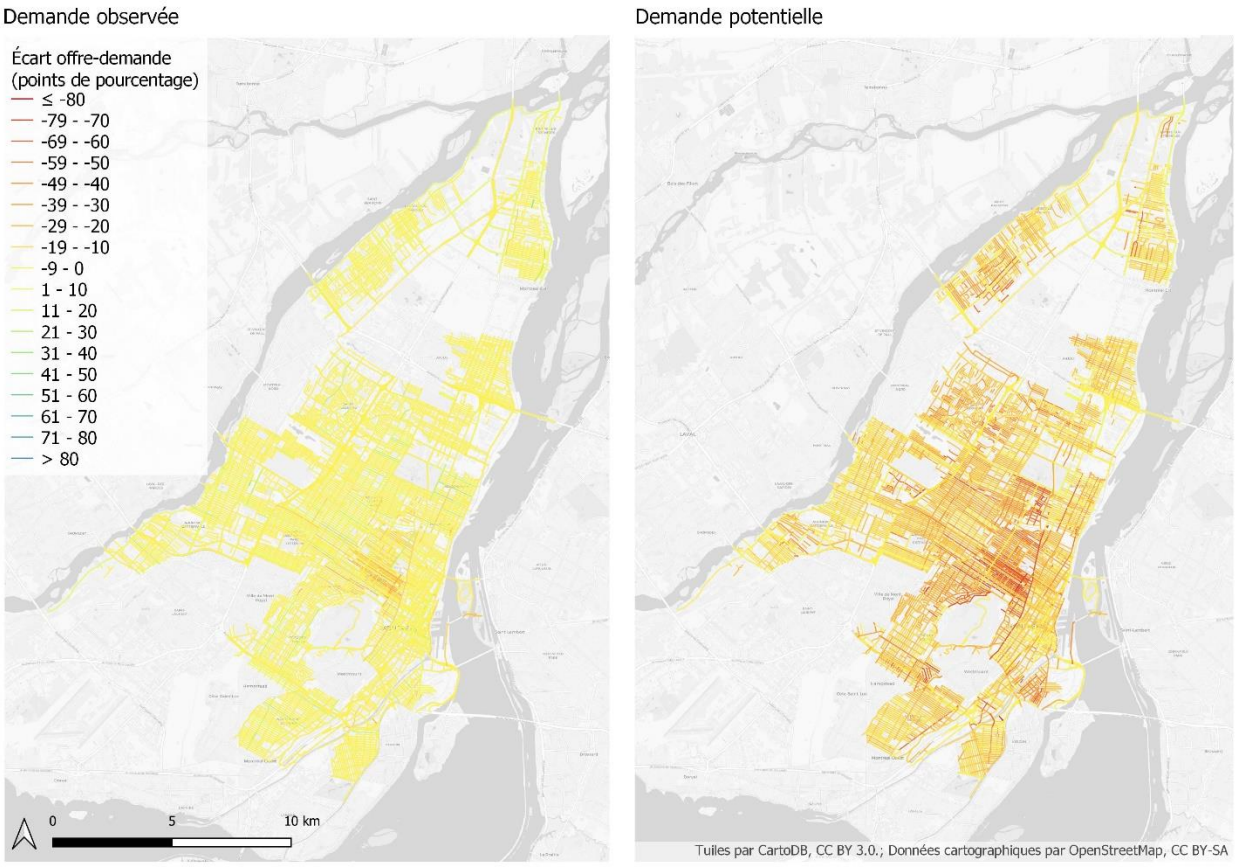


Figure 6.23 Écart offre-demande du vélo par corridor selon le profil de demande, journée moyenne de semaine d'automne, période de pointe du matin

L'exception notable à cette dynamique de faible écart entre offre et demande cyclable peut être constatée principalement dans l'arrondissement Le Plateau-Mont-Royal, où la plupart des corridors sont caractérisés par des écarts négatifs de plus de 10 points de pourcentage entre l'offre cyclable et la demande associée. Cela s'explique principalement par une part modale très élevée dans cet arrondissement par rapport à l'ensemble du territoire d'étude; en effet, près de 7,79 % des PHP sur le territoire de cet arrondissement l'étaient à vélo durant la période de pointe du matin lors d'une journée moyenne de semaine d'automne en 2013, contre 2,23 % pour le territoire d'étude en entier.

Le recours au profil de demande potentielle change drastiquement ce portrait, avec 91,52 % des kilomètres linéaires caractérisés par un indice négatif, dont la majorité avec des écarts très prononcés. Cela s'explique par le fort transfert modal vers le vélo constaté dans le profil de demande potentielle, où elle passe de 2,52 % à 17,76 % des déplacements. Encore une fois, les valeurs les plus fortes peuvent être observées dans l'arrondissement Le Plateau-Mont-Royal et dans les secteurs directement adjacents. On observe également un fort écart entre offre et demande cyclable dans le corridor de la rue Sherbrooke, ce qui souligne l'existence d'une forte demande latente pour emprunter cet axe à vélo.

6.3.3.4 Écart offre-demande pour la marche à l'échelle du corridor

La figure 6.24 illustre la distribution de l'indice d'écart offre-demande pour la marche à travers le territoire d'étude. On y remarque que la majorité des corridors (plus de 80 % des kilomètres linéaires) est caractérisée par une forte sous-représentation de l'espace piéton, à l'exception des corridors autoroutiers et de quelques artères menant au centre-ville, et ce, autant dans le cas de la demande observée que de la demande potentielle. Cela est notamment dû à l'utilisation des PHP comme unité de mesure de la demande puisque cette méthode a pour effet d'accorder davantage d'importance aux déplacements piétons, ceux-ci étant caractérisés par une vitesse plus faible et donc par une durée plus importante passée dans l'espace public. Ces résultats suggèrent que la superficie allouée à la circulation des piétons – excluant les banquettes – est insuffisante lorsque comparée à la part de la demande que représentent les piétons dans les corridors du territoire d'étude. Cela contraste fortement avec le portrait tracé par l'utilisation d'une demande en passagers-kilomètres parcourus (PKP) plutôt qu'en PHP (Lefebvre-Ropars et al., 2021b), où l'espace piéton était plutôt représenté comme étant surreprésenté par rapport à la demande piétonne pondérée par la distance parcourue.

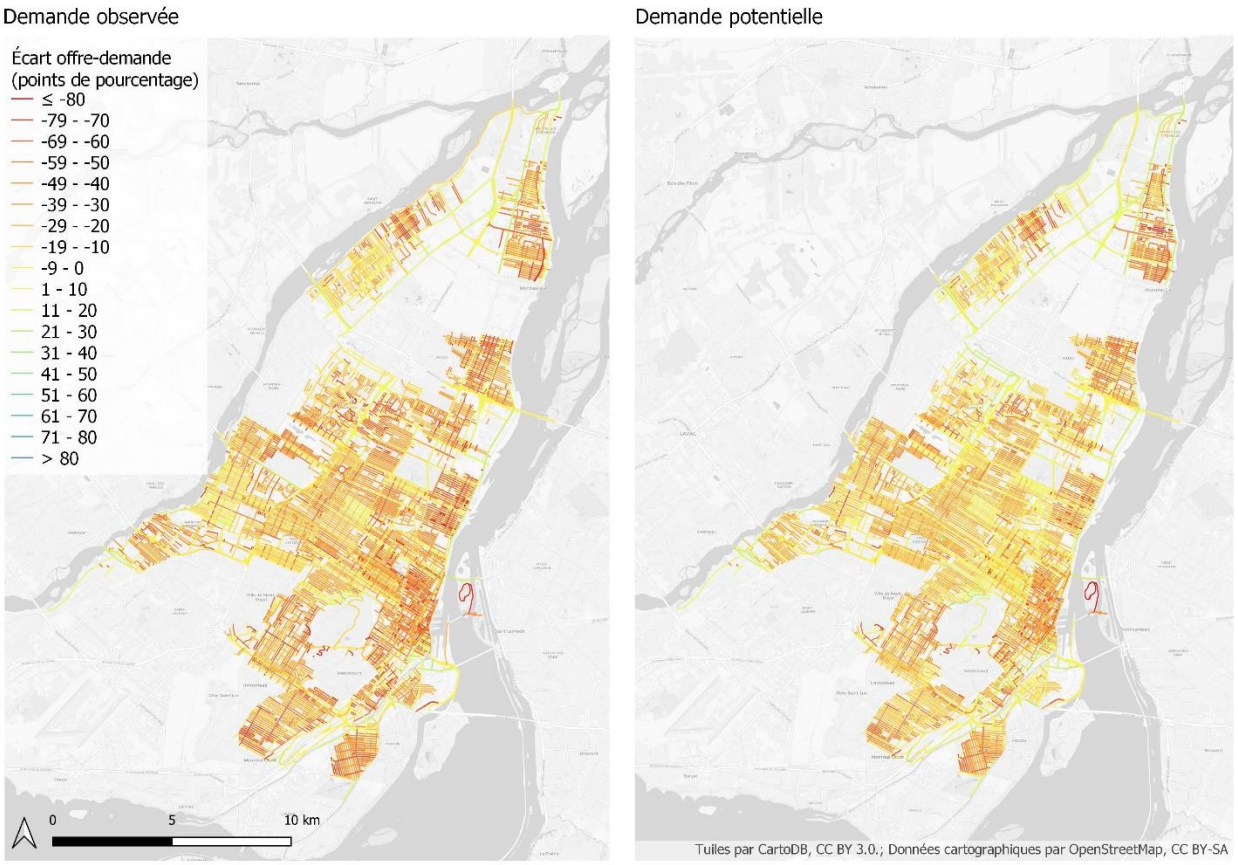


Figure 6.24 Écart offre-demande de la marche par corridor selon le profil de demande, journée moyenne de semaine d'automne, période de pointe du matin

6.3.4 Effet de l'intégration des volumes de véhicules de transport de marchandises sur l'indicateur d'écart offre-demande

La figure 6.25 illustre la part des véhicules de transport de marchandises dans la demande selon l'heure lors d'une journée moyenne de semaine d'automne pour le territoire d'étude. On y remarque que le volume de camions, calculé à l'aide du ratio estimé à la section 3.3.4, est proportionnellement plus important en dehors des périodes de pointe. Puisque la majorité des analyses effectuées dans la présente section se concentrent sur la période de pointe du matin, il est permis de penser que l'intégration des véhicules de transport des marchandises n'a pas une influence très importante sur les constats tirés. Toutefois, une évaluation égalitariste du partage de la rue lors des périodes hors-pointe pourrait se voir affectée par la présence des volumes de véhicules de transport de marchandises.

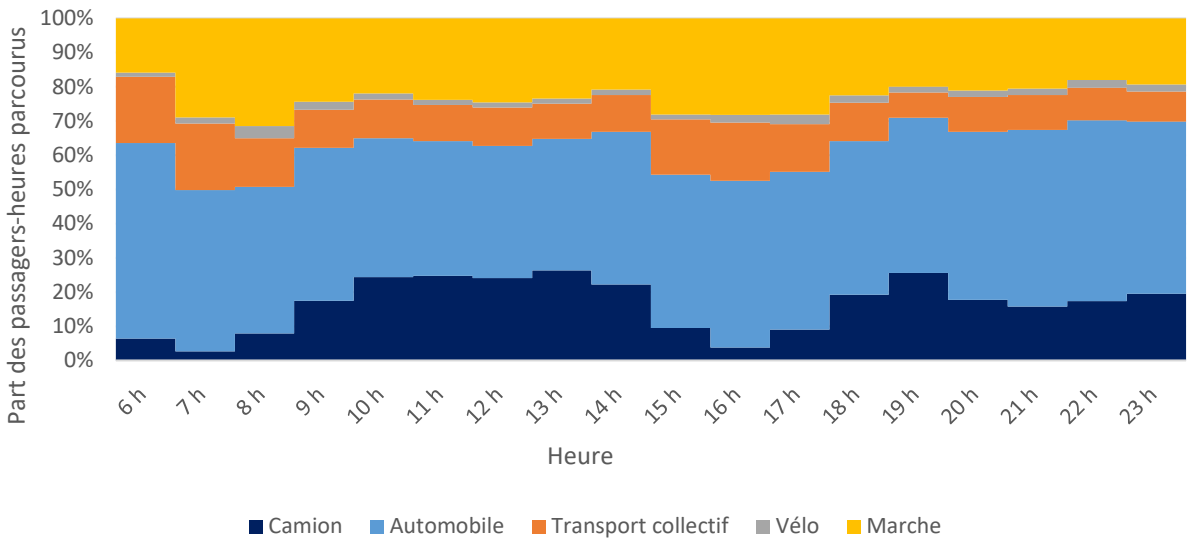


Figure 6.25 Poids des camions dans la demande selon l'heure, journée moyenne de semaine, territoire d'étude

Si la part modale des déplacements effectués en automobile est plus ou moins stable au cours de la journée (voir figure 6.16), elle est caractérisée par une variation plus forte si on y ajoute les déplacements liés au transport des marchandises. En effet, la part modale combinée des automobiles et des camions peut être plus élevée de 10 points de pourcentage en dehors des périodes de pointe. En incluant les camions dans les déplacements en automobile[61], la surreprésentation de l'espace consacré à l'automobile à l'échelle du territoire d'étude s'en voit légèrement diminuée, de même que la sous-représentation de l'espace alloué aux modes actifs et collectifs (voir figure 6.26).

[61] Puisque les camions empruntent les mêmes voies de circulation que les automobiles et ne disposent pas d'infrastructures dédiées, ils sont assimilés à l'automobile pour les fins des présents travaux. En l'absence de données sur la charge des camions, la valeur de leur temps ou tout autre critère permettant une pondération raisonnable, chaque camion est considéré comme étant équivalent à un passager.

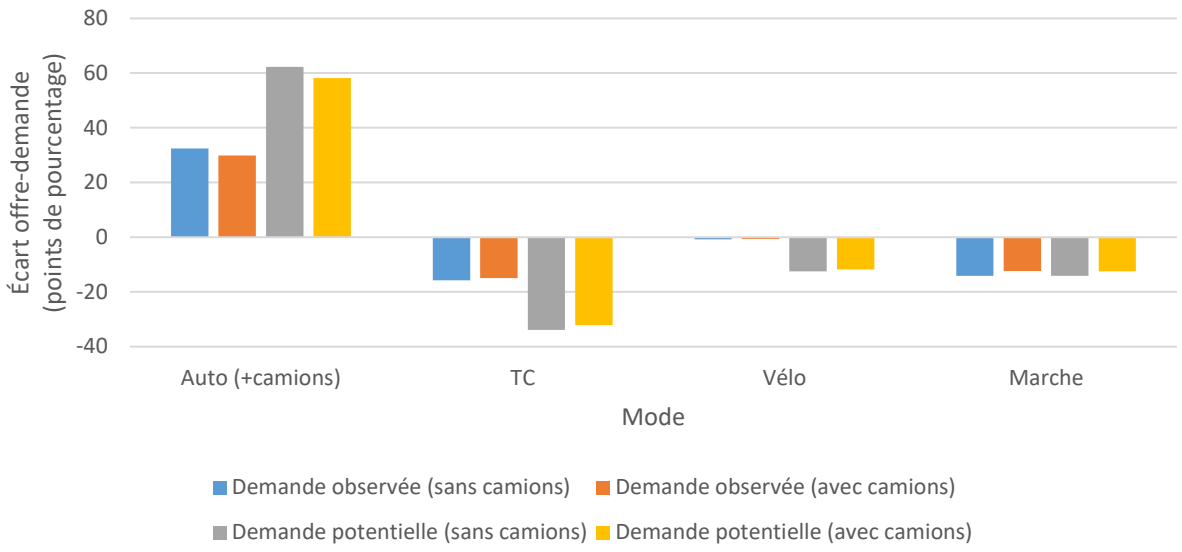


Figure 6.26 Écart offre-demande selon le profil de demande et l'intégration des camions, territoire d'étude, période de pointe du matin

Si l'effet à l'échelle du territoire d'étude reste plutôt minime, un écart plus important peut être observé dans certains corridors spécifiques, tel qu'illustré à la figure 6.27. L'écart offre-demande pour l'automobile peut varier drastiquement sur certains axes à forte concentration de camions tels que le boulevard Henri-Bourassa ou les rues Frontenac et d'Iberville, par exemple. Dans le cas de 39 corridors du territoire d'étude, l'indice d'écart offre-demande pour l'automobile (et les camions) bascule de positif à négatif, c'est-à-dire qu'on passe d'un constat de surreprésentation de l'espace alloué à la circulation automobile à un constat de sous-représentation.

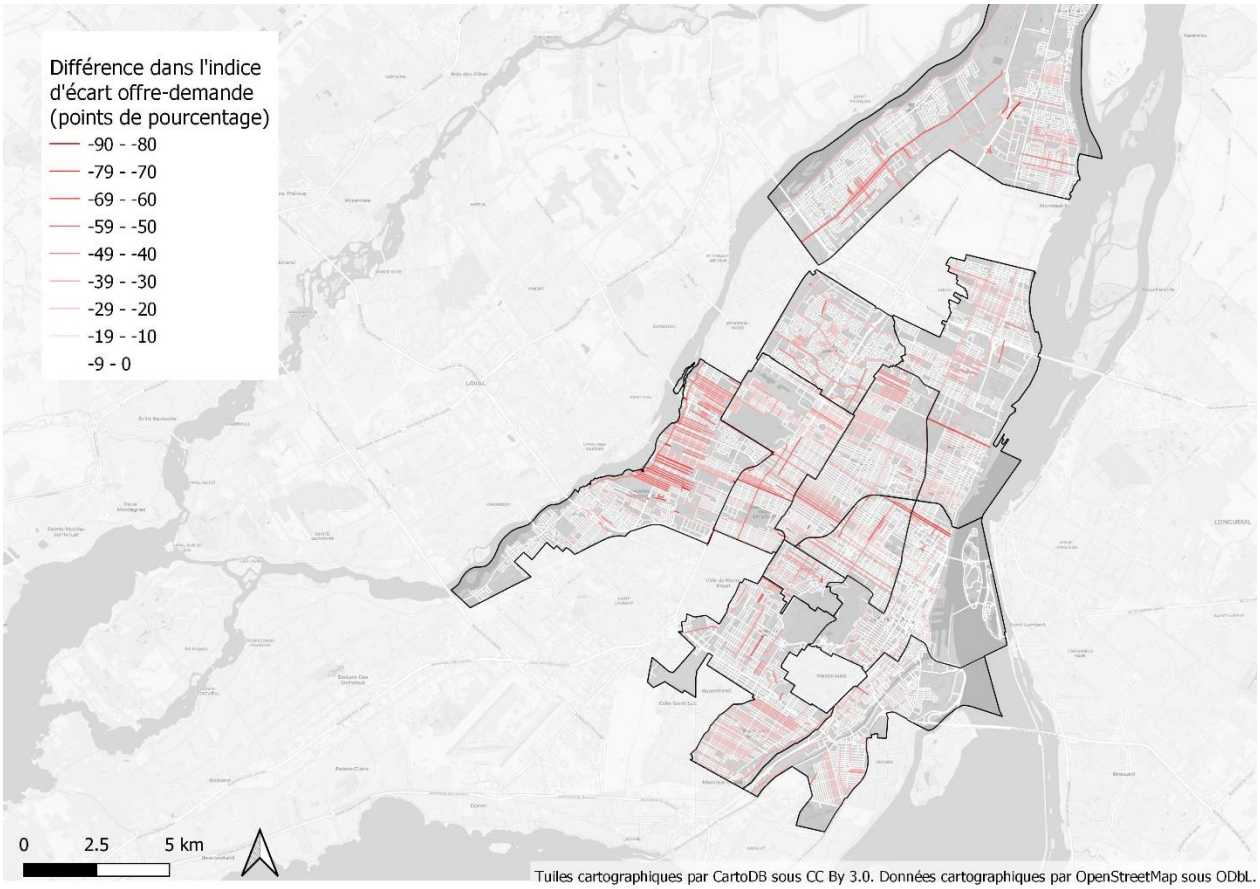


Figure 6.27 Effet de la prise en compte des camions dans le calcul de l'écart offre-demande pour l'automobile à l'échelle des corridors, période de pointe du matin

À la lumière de ces constats, il est possible de penser qu'une analyse à l'échelle des corridors devrait idéalement tenir compte de la présence des camions afin de tirer des constats éclairés sur le partage de la rue. Les camions pourraient éventuellement être traités comme un mode distinct des modes de transport de personnes dans l'analyse offre-demande, ce qui pourrait mener à la recommandation de mesures distinctes pour le transport de marchandises plutôt que d'élargir simplement les voies automobiles.

Toutefois, une réflexion devrait être entreprise sur la pondération de la demande représentée par le transport des marchandises. D'une part, ceux-ci contribuent de manière importante au fonctionnement de la ville et de la société, ce qui leur confère un poids potentiellement plus important qu'un passager, à espace égal occupé. Cependant, les camions génèrent des impacts négatifs plus grands que les autres usagers de la route, notamment en termes de pollution et de sécurité routière.

6.3.5 Potentiel et limites d'une approche égalitariste du partage de la rue

L'approche égalitariste du partage de la rue permet de répondre à une question qui préoccupe les décideurs, à savoir : « l'espace dans les rues est-il alloué proportionnellement à la demande? ». L'une des principales limites de cette approche est liée aux données disponibles sur la demande. En effet, les données issues de l'Enquête OD 2013 n'offrent pas un échantillon suffisamment vaste pour effectuer ce type d'analyse à l'échelle de chaque tronçon de rue. Les analyses sont donc limitées à des échelles plus vastes (arrondissement ou corridor). L'utilisation de divers profils de demande permet de s'affranchir autant que possible des effets du partage actuel de la voirie sur les comportements de mobilité, mais cela a pour effet de rendre les constats tirés de la démarche dépendants des seuils de transfert modal employés pour construire le profil de demande potentiel.

6.4 Synthèse

La notion de partage « équitable » de la rue peut être interprétée de diverses manières selon la définition qui est donnée à la notion de distribution équitable de l'espace de voirie. L'application de trois principes de justice distributive permet d'illustrer les différentes analyses qui peuvent découler d'un même objectif, à savoir l'évaluation du partage de la rue dans une optique d'équité.

L'application d'une approche suffisantiste permet de constater que l'automobile est le mode qui jouit du meilleur accès minimal aux rues du territoire d'étude, suivi de près par la marche, tandis que les usagers du transport collectif et les cyclistes doivent se contenter, dans la plupart des cas, d'un accès aux rues partagé avec les automobilistes. L'approche suffisantiste permet également de mettre en relief un enjeu de continuité des parcours pour les modes alternatifs à l'automobile, puisque l'atteinte du seuil minimal diminue lorsque l'on applique la même approche à l'échelle des axes plutôt que des tronçons individuels.

L'application d'une approche utilitariste du partage de la rue permet de prendre la mesure de l'efficacité spatiale des différentes infrastructures de transport, notamment les voies cyclables et les voies réservées pour le transport collectif. Cette approche met également en relief l'effet de compétition entre cyclistes et modes motorisés engendré par la réallocation dynamique des voies de stationnement en voies de circulation ou en voies réservées au transport collectif. La capacité cyclable des rues du territoire d'étude se voit en effet diminuée lors des périodes de pointe, alors même que la pression sur l'espace de voirie est la plus grande, et ce, principalement sur les tronçons

artériels et collecteurs du réseau routier, souvent ceux qui permettent aux usagers de franchir les différentes barrières géographiques du territoire.

L'approche égalitariste du partage de la rue, quant à elle, permet de cibler les rues où les différents patrons d'allocation de l'espace de voirie introduisent un déséquilibre par rapport à la demande observée et potentielle. Alors que les approches suffisantiste et utilitariste peuvent identifier un manque au niveau de l'offre, seule l'approche égalitariste permet de quantifier l'effet de ce manque en fonction des comportements de mobilité des usagers. Ainsi, un tronçon de rue ne comptant aucune infrastructure cyclable – offrant donc un partage inéquitable d'un point de vue suffisantiste – a un impact négatif moindre dans un milieu de type suburbain, où le vélo n'est pas utilisé, que dans un milieu très dense, où les déplacements à vélo sont plus fréquents et où le potentiel du vélo pour remplacer les déplacements motorisés est comparativement plus important.

Les trois approches développées dans le présent chapitre mènent donc à des constats différents et complémentaires sur le partage de la rue au sein du territoire d'étude. Le prochain chapitre propose des indicateurs qui permettent de représenter de manière synthétique chacune des trois approches et de les combiner afin de développer une typologie des rues du territoire d'étude, et ce, afin de tirer parti de la complémentarité des approches pour offrir une évaluation plus approfondie du partage de la rue.

CHAPITRE 7 ANALYSE COMPARATIVE DU PARTAGE DE LA RUE SELON DIFFÉRENTS INDICATEURS

Afin d'être en mesure de comparer de manière efficace différents tronçons de rues au sein du territoire d'étude et d'effectuer le suivi longitudinal d'éventuels scénarios alternatifs de partage de la rue, le présent chapitre propose des indicateurs synthèses pour chacune des trois approches d'évaluation du partage de la rue présentées au chapitre 6. Ces indicateurs synthèses sont ensuite employés de pair avec l'indicateur d'équilibre entre les trois dimensions de la rue proposé au chapitre 5 afin d'illustrer les différents diagnostics que chacune des approches permet d'effectuer pour un même tronçon de rue. Une application des indicateurs synthèses aux environs des écoles du territoire d'étude permet par la suite d'illustrer le potentiel des indicateurs proposés pour évaluer le partage de la rue au sein des bassins de desserte d'un générateur de déplacements.

7.1 Indicateurs synthèses

La présente section présente, pour chacune des trois approches d'évaluation du partage de la rue proposées au chapitre 6, un indicateur qui permet de représenter de manière synthétique le niveau d'équité du partage de l'espace de voirie sur un tronçon.

7.1.1 Indicateur suffisantiste du partage de la rue

Pour chaque tronçon de rue r, l'indicateur suffisantiste $S_{r,\mu}$ est calculé comme suit :

$$S_{r,\mu} = \sum_{u=1}^{7} u_{r,\mu}$$

où $u_{r,\mu}$ indique si une infrastructure permettant l'accès à l'usage u est présente (1) ou non (0) sur le tronçon de rue r pour une formulation μ donnée (formulation exclusive ou partagée, tel que discuté à la section 6.1). Afin de permettre la comparaison avec celles des indicateurs intégrant des profils de demande issus de l'Enquête OD 2013 (voir section 3.3), qui représente la mobilité lors d'une journée moyenne de semaine d'automne, les indicateurs de la présente section sont calculés pour la journée du lundi 1er octobre 2018. La figure 7.1 illustre une rue qui obtient le score maximal de 7 pour la formulation exclusive, tandis que la figure 7.2 illustre une rue maximisant l'indicateur dans sa formulation partagée.

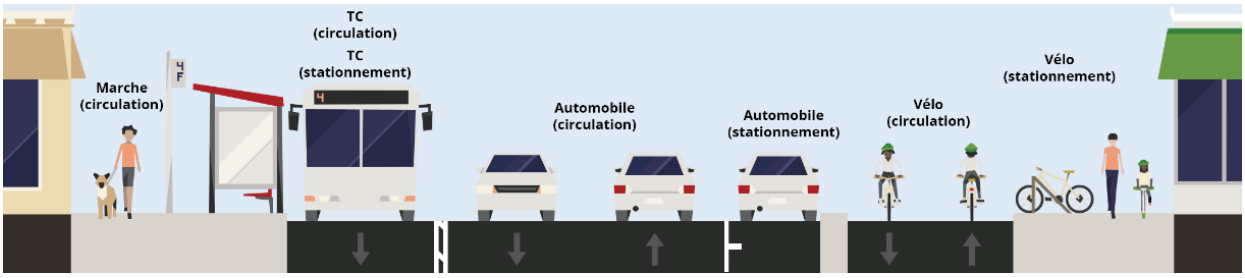


Figure 7.1 Rue obtenant un score de 7 pour l'indicateur suffisantiste S_r dans sa formulation exclusive

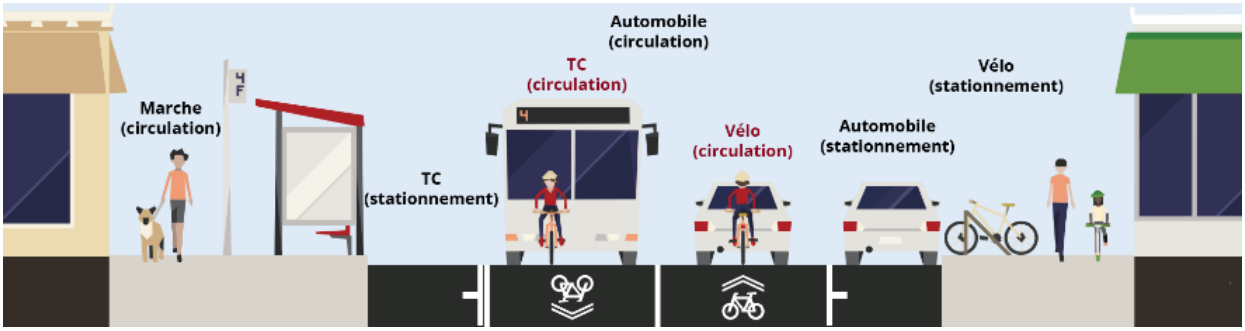


Figure 7.2 Rue obtenant un score de 7 pour l'indicateur suffisantiste S_r dans sa formulation partagée, mais un score de 5 dans sa formulation exclusive en raison de l'absence de voies dédiées au transport collectif et aux cyclistes

La figure 7.3 présente la distribution des deux versions de l'indicateur suffisantiste, à l'échelle des tronçons de rues et des axes. On y constate que la majorité des kilomètres linéaires (59,71 %) obtient un score de 3 dans la formulation exclusive de l'indicateur, c'est-à-dire qu'on y retrouve une surface permettant d'accueillir trois usages liés à la dimension de lien de la rue. Pour la majeure partie des tronçons de rues, il s'agit d'un espace dédié à la circulation des automobiles et d'un espace dédié à leur stationnement ainsi que d'un espace dédié à la circulation des piétons. Aucun tronçon de rue n'obtient un score parfait de 7, c'est-à-dire qu'aucune rue du territoire d'étude ne compte au moins un espace exclusivement dédié à chacun des usages considérés en fonction des bases de données employées.

En considérant les surfaces ouvertes dans une configuration partagée – les voies de circulation automobile partagées avec les autobus ainsi qu'avec les cyclistes et les piétons selon certains critères de confort – le score de 89,88 % des kilomètres linéaires est rehaussé d'au moins un point. La part des tronçons obtenant un score parfait de 7 atteint maintenant 0,72 % du kilométrage

linéaire total. De ce nombre, la majorité des tronçons appartient aux réseaux artériel et collecteur, c'est-à-dire les rues qui permettent le transit d'un arrondissement à l'autre et qui sont les plus susceptibles de franchir les diverses frontières (voies ferrées, cours d'eau, etc.).

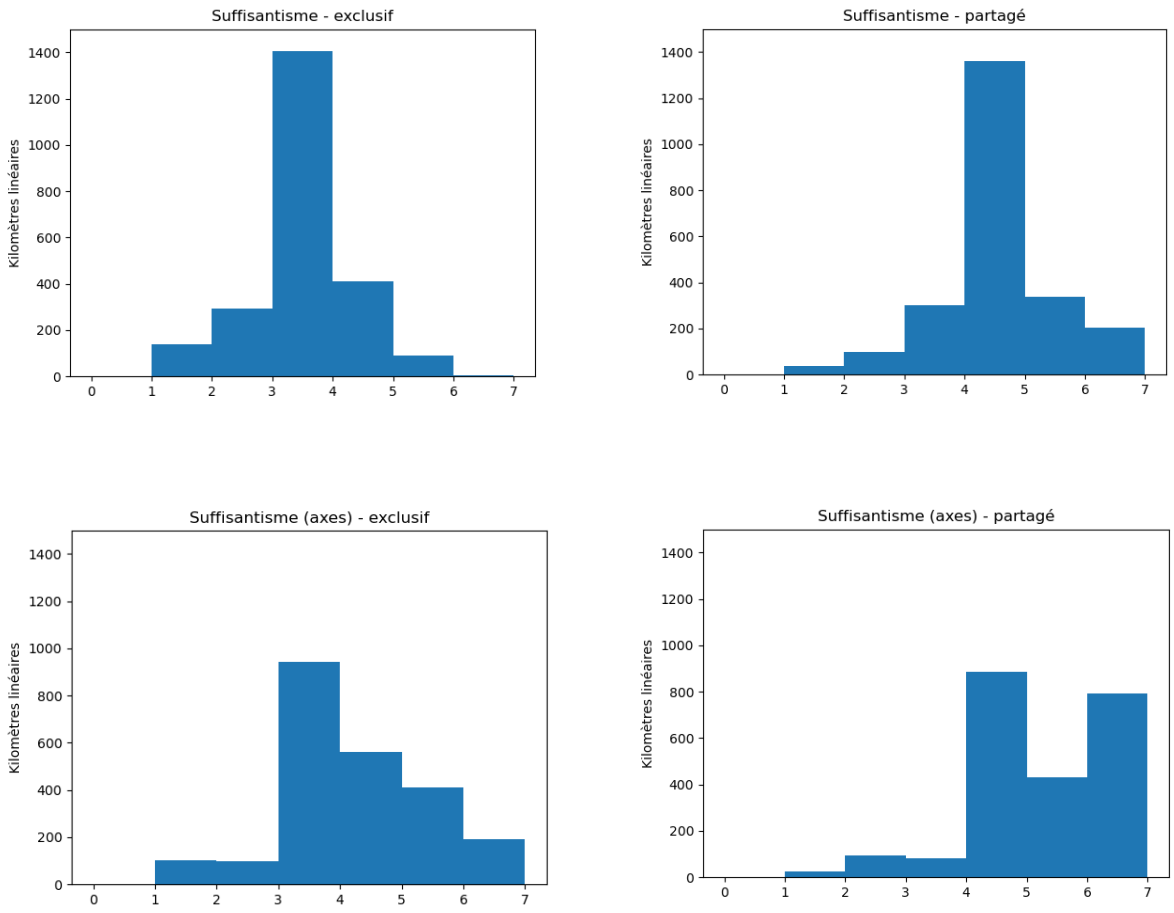


Figure 7.3 Distribution des kilomètres linéaires selon l'unité spatiale et la valeur de l'indicateur suffisantiste exclusif ou partagé

7.1.1.1 Distribution spatiale de l'indicateur suffisantiste

La figure 7.4 permet de constater qu'à l'exception des arrondissements de Ville-Marie et du Plateau-Mont-Royal et de la partie ouest de Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles, les axes obtenant un meilleur score suffisantiste se trouvent à appartenir au réseau artériel et collecteur, tandis que les rues locales reçoivent de plus faibles scores. Cela s'explique par le fait que les rues artérielles et collectrices sont plus susceptibles d'accueillir une voie de transport collectif ou une

voie cyclable. Dans les quartiers plus centraux, la présence de stations BIXI sur les rues locales à l'intersection de hiérarchie plus élevée ainsi que la présence de bandes cyclables sur les rues résidentielles peut expliquer la présence de scores plus importants sur celles-ci.

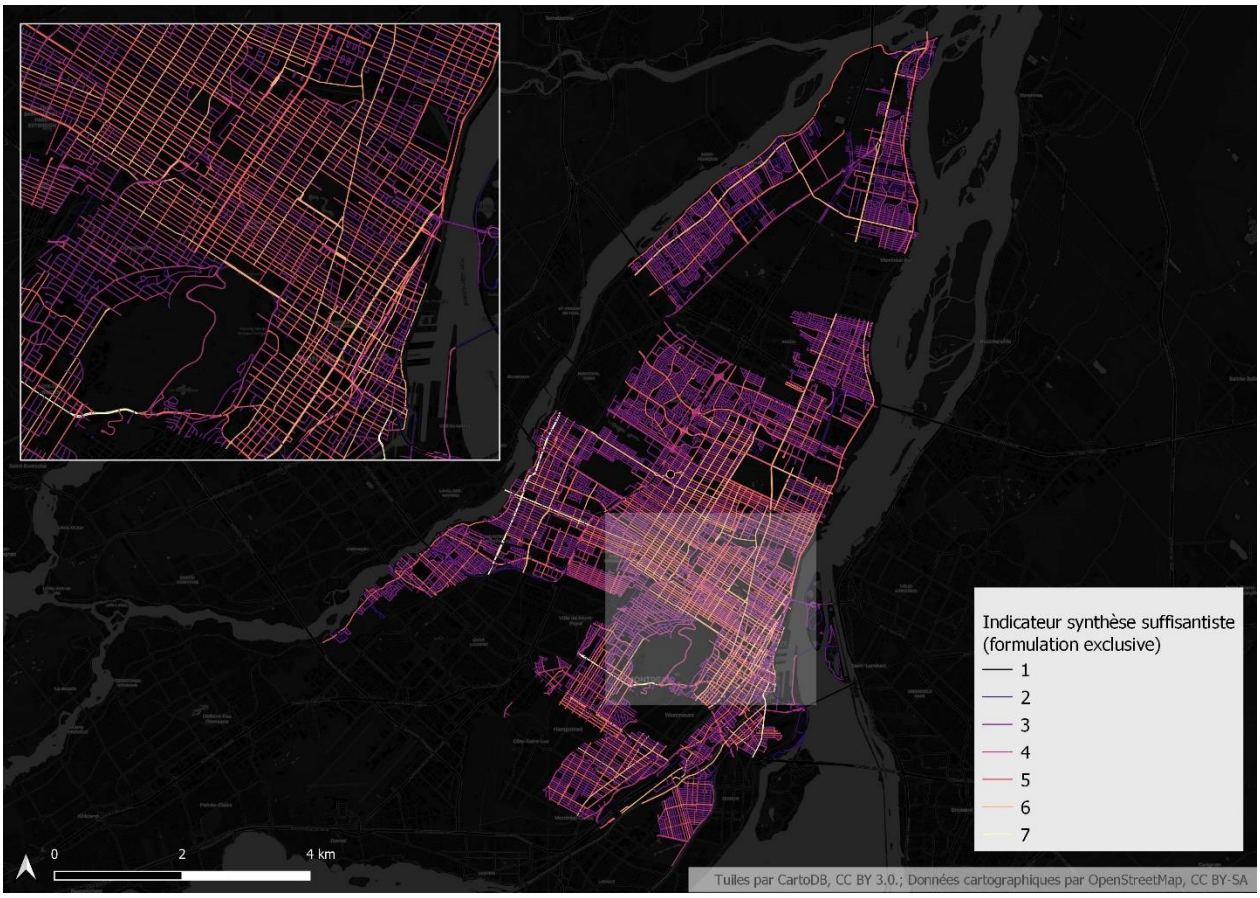


Figure 7.4 Distribution spatiale de l'indicateur suffisantiste exclusif à l'échelle des axes, période de pointe du matin

En employant plutôt la formulation partagée de l'indicateur, c'est-à-dire celle qui tient compte de l'accès par les modes actifs et collectifs aux voies de circulation générale, on remarque que la majorité des axes du territoire d'étude (89,88 %) voit son score augmenter d'au moins un point. Parmi les axes dont le score n'augmente pas, on compte principalement des axes où se trouve déjà une voie exclusive dédiée aux bus ou aux cyclistes (5,30 % du total).

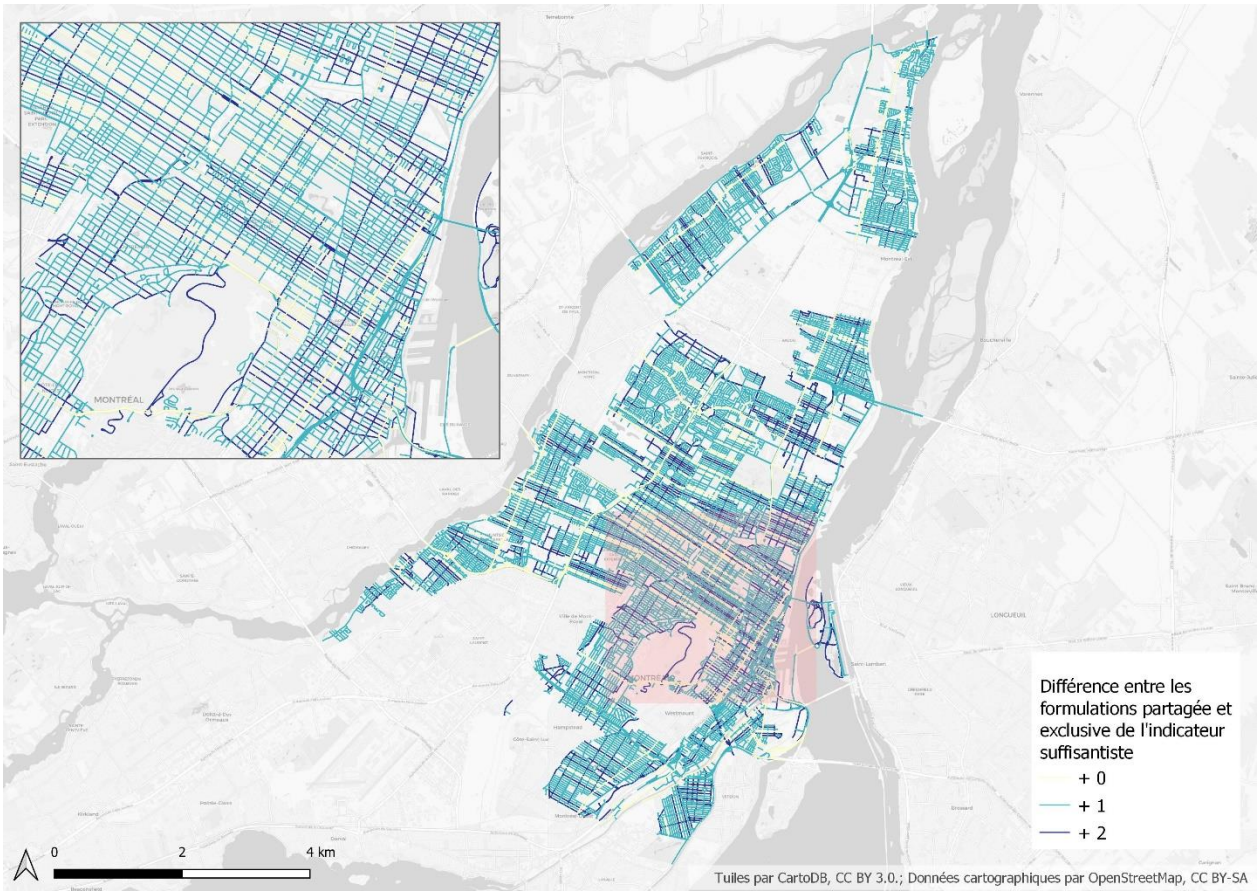


Figure 7.5 Différence entre les formulations partagée et exclusive de l'indicateur suffisantiste à l'échelle des axes, période de pointe du matin

7.1.2 Indicateur utilitariste du partage de la rue

Pour chaque tronçon de rue, la capacité totale théorique est calculée en additionnant la capacité de chacune des surfaces selon son usage (voir section 6.2.1). Afin de représenter l'écart entre la capacité théorique actuelle d'un tronçon de rue et sa capacité théorique potentielle, cette capacité totale est comparée à la capacité théorique maximale du tronçon.

Pour chaque tronçon de rue r, l'indicateur utilitariste U_r est donc calculé comme suit :

$$U_r = \frac{\sum_{c=1}^{C} c_r}{\gamma_r}$$

où c_r représente la capacité théorique du type d'usage c sur le tronçon de rue r et γ représente la capacité théorique maximale du tronçon de rue r. Cette capacité maximale γ_r correspond à la capacité théorique que posséderait le tronçon de rue r si celui-ci était entièrement consacré aux

piétons, puisque la marche est le mode qui possède la plus grande capacité totale théorique par unité de surface. Il est entendu que la piétonnisation intégrale de l'ensemble des tronçons de rues du territoire d'étude est irréaliste et même indésirable. Cette capacité maximale ne doit donc pas être considérée comme un objectif à atteindre, mais plutôt comme un point de référence constant et facile à calculer pour chacun des tronçons de rues dans un contexte d'évaluation et de suivi des interventions.

Afin de permettre la comparaison avec les indicateurs intégrant des profils de demande issus de l'Enquête OD 2013 (voir section 3.3), qui représente la mobilité lors d'une journée moyenne de semaine d'automne, les indicateurs de la présente section sont calculés pour la journée du lundi 1er octobre 2018.

7.1.2.1 Distribution de l'indicateur utilitariste

La quasi-totalité (98,38 %) des tronçons de rues du territoire d'étude disposent d'une capacité théorique inférieure à 40 % de leur capacité théorique maximale en période de pointe du matin, tel qu'illustré à la figure 7.6. Au total, c'est 76,24 % du potentiel brut de la voirie du territoire d'étude pour cette période, en termes de capacité théorique, qui est sous-utilisé en vertu des politiques actuelles de conception des infrastructures de transport.

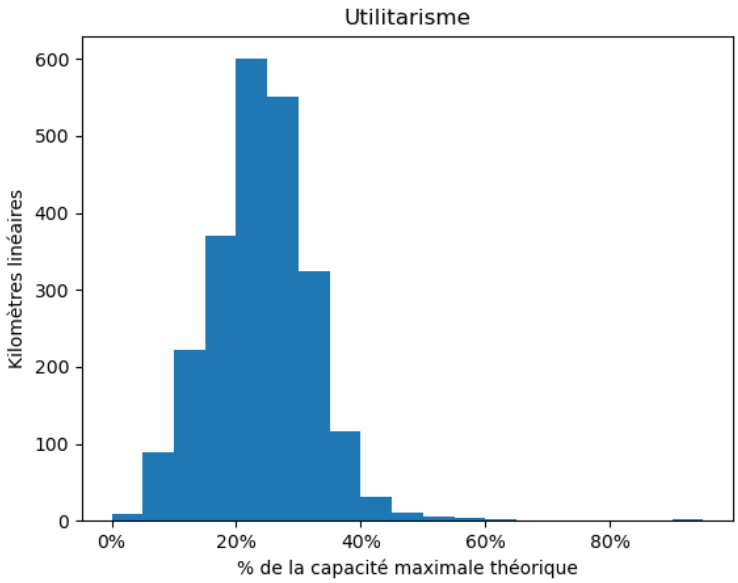


Figure 7.6 Distribution des kilomètres linéaires selon la valeur de l'indicateur utilitariste en période de pointe du matin

Comme dans le cas de l'indicateur synthèse suffisantiste développé au chapitre 6, les rues situées dans les arrondissements centraux, particulièrement Ville-Marie et Le Plateau-Mont-Royal ainsi que l'ouest de Rosemont–La Petite-Patrie, obtiennent les scores les plus élevés (voir figure 7.7). Outre les rues piétonnisées, qui obtiennent un score de 100 %, les rues qui reçoivent les scores les plus élevés sont, d'une part, les rues locales étroites dont le ratio entre voies de circulation et trottoirs est réduit et, d'autre part, les rues du réseau collecteur et artériel qui accueillent des voies réservées au TC ou des voies cyclables qui augmentent notablement leur capacité. À l'inverse, les artères et collectrices sans infrastructures dédiées au transport actif ou collectif, particulièrement celles qui n'offrent pas un niveau de confort minimal aux cyclistes, obtiennent des scores plus faibles que la moyenne.

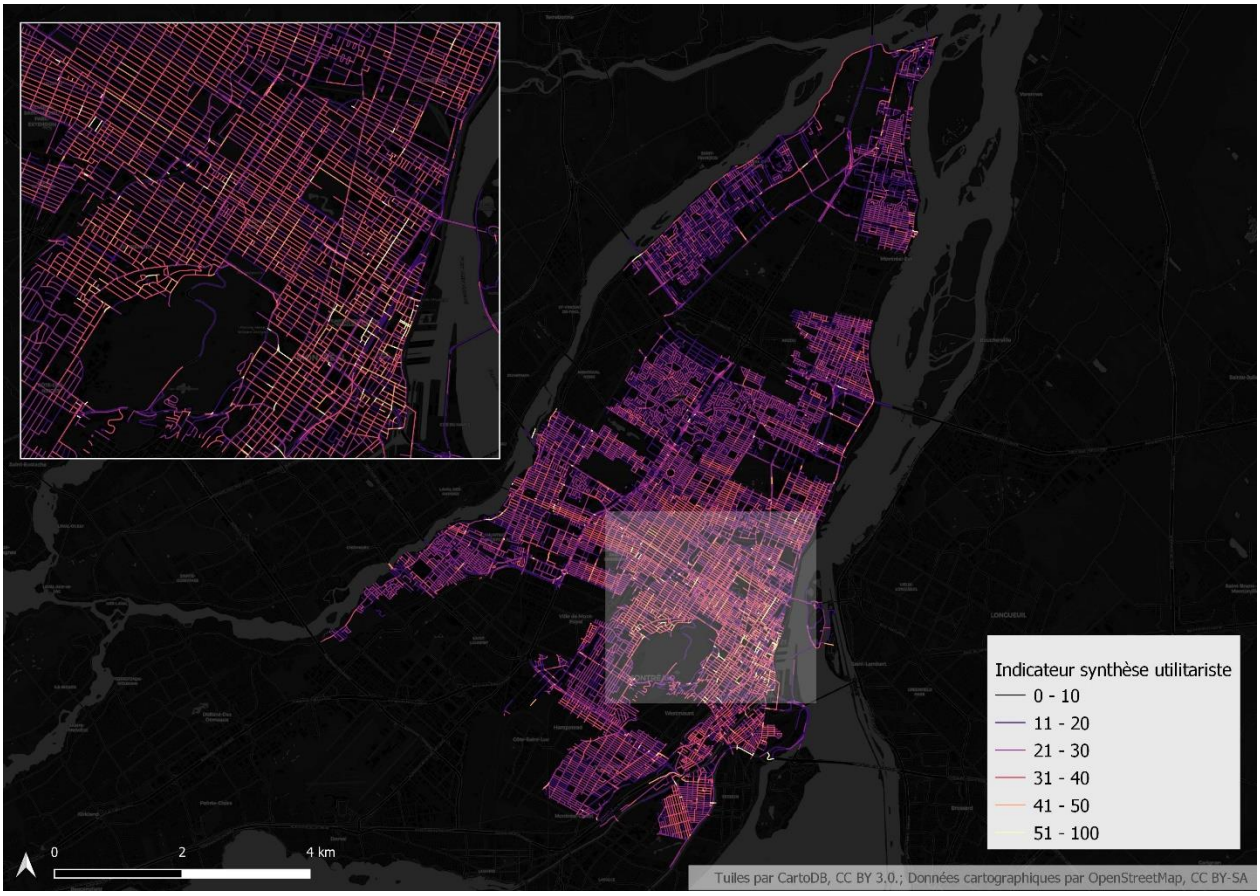


Figure 7.7 Distribution spatiale de l'indicateur utilitariste

7.1.3 Indicateur égalitariste du partage de la rue

Pour chaque axe a du territoire d'étude, les indices calculés pour chaque mode à partir de l'écart entre l'offre sur l'axe et la demande dans le corridor correspondant (voir section 6.3.3) sont combinés en un seul indicateur synthèse $E_{a,d}$ comme suit :

$$E_{a,d} = 100 - \sum_{m=1}^{4} \frac{|e_{m,a,d}|}{2}$$

où $e_{m,a,d}$ correspond à l'indice d'écart offre-demande du mode m (automobile, transport collectif, vélo et marche) pour l'axe a et le profil de demande d. La valeur absolue des écarts est divisée par 2 afin d'obtenir une valeur entre 0 et 100, ce qui correspond à la part totale de la superficie de l'axe qui se retrouve en situation de distribution inéquitable.

Afin de faciliter la comparaison avec les autres indicateurs synthèses, cette valeur est ensuite soustraite de 100 pour obtenir un indicateur dont la plus haute valeur (100) correspond à la situation la plus équitable. L'indicateur synthèse $E_{a,d}$ représente donc la part de la superficie de l'axe a qui est allouée conformément à la demande selon le profil de demande d. La période de référence de l'indicateur est la journée moyenne de semaine d'automne durant la période de pointe du matin.

7.1.3.1 Distribution spatiale de l'indicateur égalitariste

La figure 7.8 illustre la distribution des axes du territoire d'étude selon l'indicateur synthèse $E_{a,d}$ pour le profil de demande observée. On y remarque que la majorité des axes reçoit un score entre 40 et 60, c'est-à-dire que seul entre 40 % et 60 % de la superficie de ces axes est répartie de manière proportionnelle à la demande observée. Au total, c'est 40,20 % de la superficie de voirie du territoire d'étude qui est inéquitablement allouée par rapport à la distribution de la demande observée au sein du territoire d'étude.

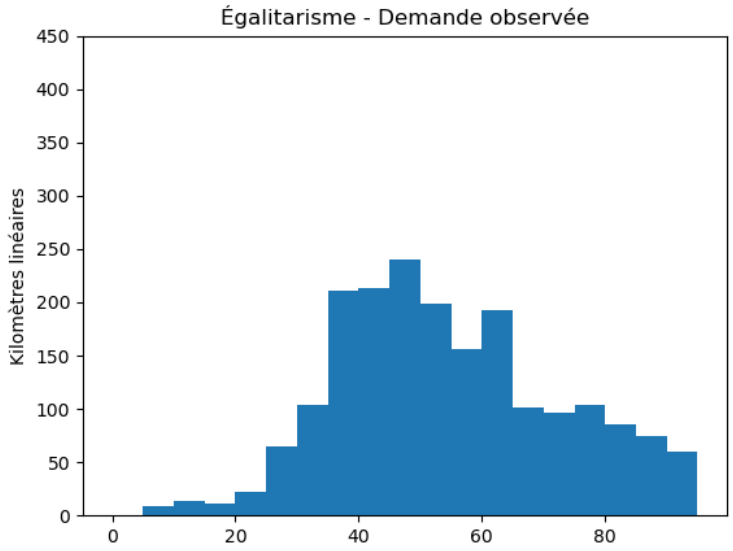


Figure 7.8 Distribution des kilomètres linéaires selon la valeur de l'indicateur égalitariste pour la demande **observée** en période de pointe du matin

En observant la figure 7.9, il est possible de constater qu'il existe une diversité de situations où l'espace est réparti de manière équitable d'un point de vue égalitariste. D'une part, on remarque que les axes autoroutiers du territoire d'étude reçoivent un très haut score. Cela s'explique par le fait qu'il s'agit de voies consacrées à 100 % à l'automobile, autant du côté de l'offre que de la demande; ainsi, l'indice d'écart offre-demande y est toujours nul[62].

Certains axes d'accès aux ponts qui ceinturent l'île de Montréal (l'avenue Papineau dans Ahuntsic-Cartierville et Ville-Marie, par exemple) obtiennent un score plutôt élevé pour une raison semblable, puisque la majorité des usagers y sont automobilistes tandis que peu de superficie y est allouée aux modes actifs et collectifs.

Plusieurs artères et collectrices situées dans les quartiers centraux reçoivent également des scores très élevés, particulièrement les rues où l'on retrouve des voies réservées au transport collectif ou des voies cyclables. On compte notamment parmi ces axes le boulevard Saint-Joseph (Le Plateau-Mont-Royal) et le chemin de la Côte-des-Neiges (Ville-Marie/Côte-des-Neiges–Notre-Dame-de-

[62] Un traitement de l'ensemble des tronçons constituant une emprise autoroutière (en incluant les voies de service ouvertes aux modes actifs, par exemple) offrirait sans doute un portrait différent.

Grâce), qui accueillent une voie réservée en période du matin, ou encore la rue Wellington (Le Sud-Ouest) et l'avenue Christophe-Colomb (Ahuntsic-Cartierville), qui comptent respectivement des bandes cyclables et une piste cyclable bidirectionnelle hors-rue.

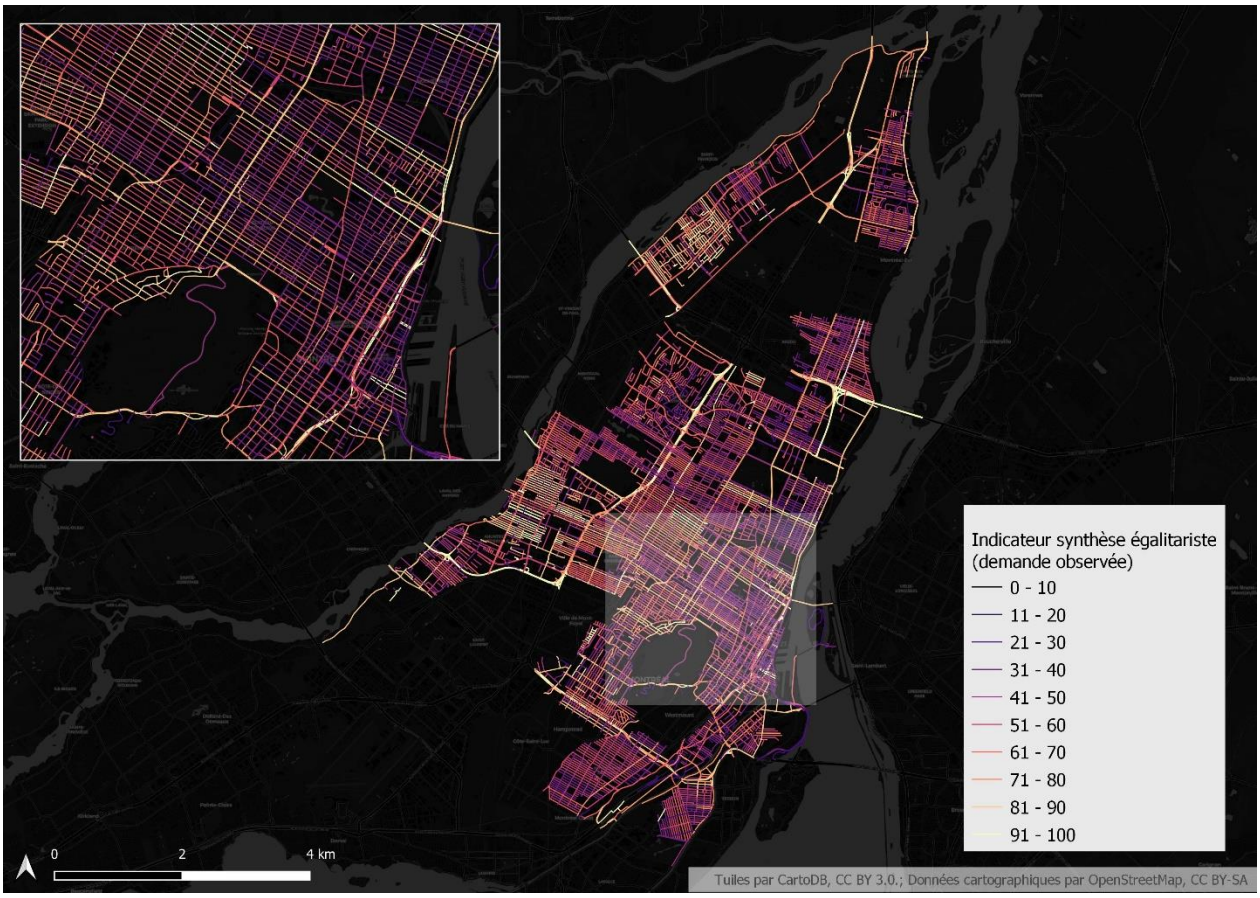


Figure 7.9 Distribution spatiale de l'indicateur égalitariste pour la demande **observée** en période de pointe du matin

Il est également possible de constater des scores élevés sur certaines rues locales des quartiers périphériques. Dans ces cas, la majorité de la voirie est consacrée à la circulation et au stationnement des automobilistes, parfois sans trottoirs, ce qui correspond à la composition de la demande observée dans ces quartiers. C'est le cas des quartiers résidentiels de l'ouest de Rivière-des-Prairies et du centre d'Ahuntsic-Cartierville. À l'inverse, plusieurs rues locales et collectrices du centre-ville et des quartiers centraux reçoivent des scores relativement faibles, principalement en raison de la sous-représentation de l'offre piétonne et cycliste. C'est notamment le cas de la plupart des rues résidentielles des arrondissements du Plateau-Mont-Royal et de Mercier–Hochelaga-Maisonneuve ainsi que du quartier de Notre-Dame-de-Grâce.

En employant plutôt le profil de demande potentielle, la distribution des valeurs de l'indicateur $E_{a,d}$ se concentre autour de valeurs plus faibles, tel qu'illustré à la figure 7.10. La majorité des axes reçoivent ainsi un score compris entre 20 et 40. Au total, c'est 60,76 % de la superficie de voirie du territoire d'étude qui est inéquitablement allouée par rapport à la distribution de la demande potentielle au sein du territoire d'étude. Cela est dû à la structure du profil de demande potentielle, où plus de la moitié des déplacements automobiles sont transférés aux modes actifs et collectifs (voir figure 3.30). L'écart entre la superficie allouée à l'automobile – plus de 75 % de la voirie du territoire d'étude – et la part des PHP automobiles restants s'en voit donc largement agrandi.

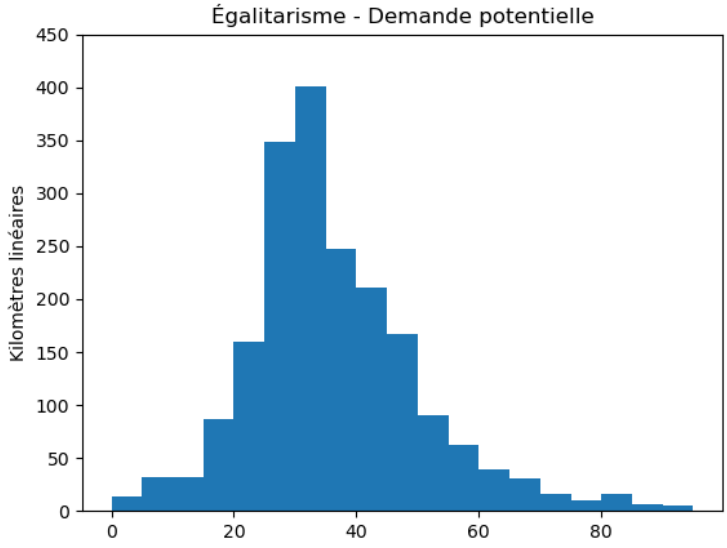


Figure 7.10 Distribution des kilomètres linéaires selon la valeur de l'indicateur égalitariste pour la demande **potentielle** en période de pointe du matin

La figure 7.11 montre que plusieurs types d'axes voient leur score baisser drastiquement en passant du profil de demande observée au profil de demande potentielle. Parmi les axes autoroutiers, qui conservent pour la plupart un score similaire puisqu'ils sont peu empruntés par les autobus, l'autoroute Métropolitaine (A-40) à la pointe est de l'île sort du lot puisqu'elle accueille un grand nombre de déplacements latents en transport collectif depuis les banlieues de la Rive-Nord. C'est également le cas des grands axes est-ouest de ce secteur. Plusieurs rues résidentielles du secteur de Rivière-des-Prairies, au nord-est de l'île, sont pour leur part caractérisés par un grand nombre de déplacements piétons et cyclistes latents qui sont actuellement effectués en automobile. Cela explique l'ampleur de l'écart entre les deux formulations de l'indicateur. Plusieurs des axes

collecteurs et artériels des quartiers centraux se voient également empruntés par de nombreux déplacements actifs latents, ce qui contribue à accentuer le déséquilibre entre offre et demande.

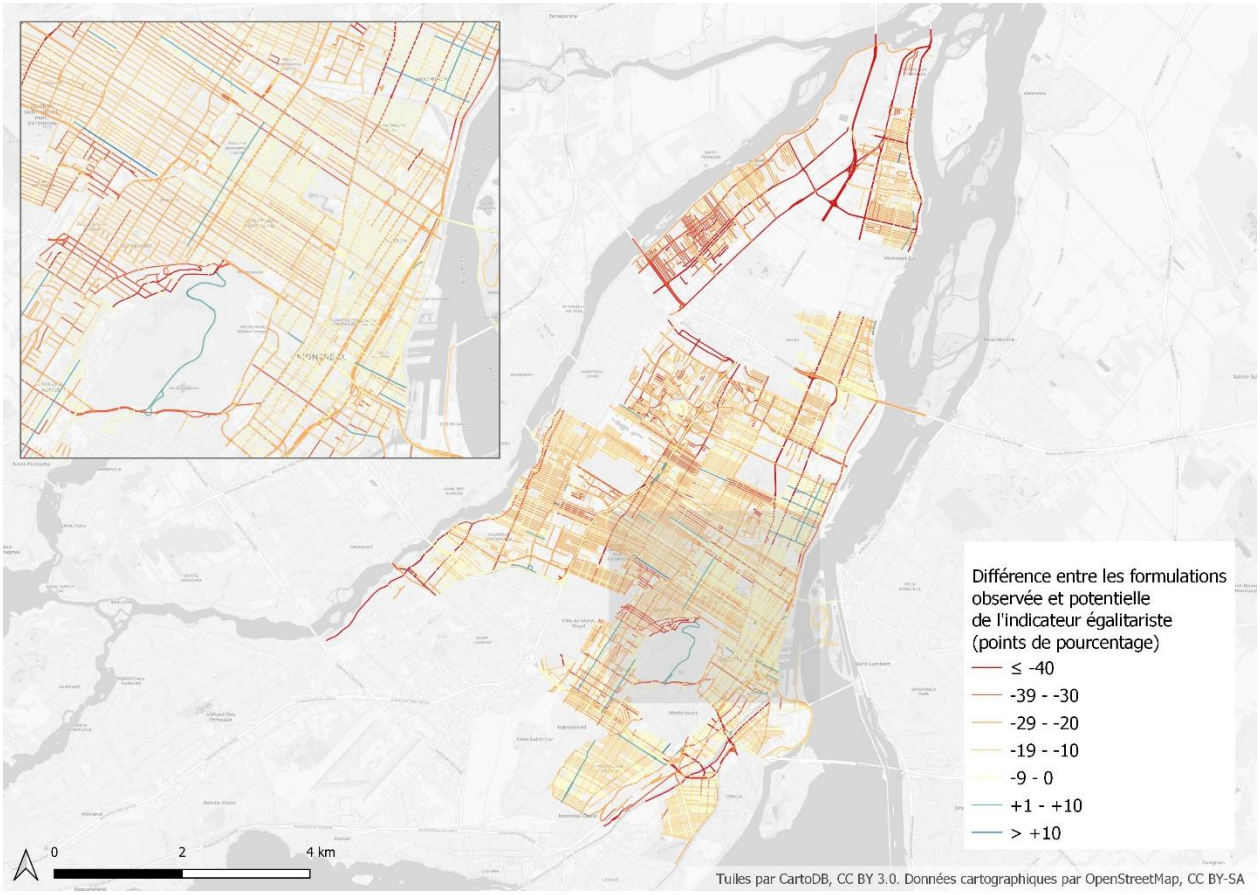


Figure 7.11 Différence entre les formulations observée et potentielle de l'indicateur égalitariste en période de pointe du matin

À l'inverse, certains axes voient leur score égalitariste augmenter avec l'utilisation du profil de demande potentielle. Dans la plupart des cas, il s'agit de rues où une infrastructure cyclable est présente mais où la part de la demande cyclable, mesurée à l'échelle du corridor, est inférieure à la part de l'espace occupée par les voies cyclables. On retrouve dans cette situation les rues Saint-Dominique (Rosemont–La Petite-Patrie) et La Fontaine (Mercier–Hochelaga-Maisonneuve), l'avenue Laurier (Le Plateau-Mont-Royal) et le boulevard Édouard-Montpetit (Côte-des-Neiges–Notre-Dame-de-Grâce). Les autres augmentations du score égalitariste lors du passage à la demande potentielle sont généralement faibles et s'expliquent vraisemblablement par la disparition des accès piétons au transport collectif lors du transfert d'une part importante de la demande depuis le transport collectif au vélo. L'espace piéton se retrouve alors considéré comme surestimé, ce qui

peut contribuer à augmenter l'iniquité perçue du partage de la voirie, comme dans le cas du chemin Camilien-Houde (Ville-Marie).

7.2 Analyse comparative des indicateurs de partage de la rue

Tel qu'illustré au tableau 7.1, la corrélation entre les différents indicateurs synthèses, mesurée à l'aide du coefficient de Pearson, est relativement faible. Cela confirme que les quatre indicateurs proposés dans la présente thèse – les trois indicateurs de partage de la dimension de lien proposés dans le présent chapitre ainsi que l'indice d'équilibre entre les trois dimensions de la rue proposé au chapitre 5 – mesurent des réalités différentes et qu'ils gagnent à être appliqués en complémentarité pour évaluer le partage de la rue dans le contexte du territoire d'étude.

Tableau 7.1 Matrice de corrélation (coefficient de Pearson) des différents indicateurs synthèses du partage de la rue

	Suffisantisme[63]	Utilitarisme	Égalitarisme[64]	Équilibre 3 dimensions
Suffisantisme[63]	1,00	0,20	-0,03	0,27
Utilitarisme	0,20	1,00	0,13	0,18
Égalitarisme[64]	-0,03	0,13	1,00	-0,08
Équilibre 3 dimensions	0,27	0,18	-0,08	1,00

Afin de simplifier la lecture des données et de classer aisément les tronçons de rues en fonction de la valeur de chaque indicateur, une typologie par quantiles est développée. Chaque indicateur est classé en cinq quantiles, à l'exception de l'indicateur suffisantiste, dont la distribution est trop concentrée pour fournir plus de trois quantiles. Le tableau 7.2 indique la distribution des quantiles. En vue de simplifier l'analyse, une seule formulation est retenue pour les indicateurs suffisantiste et égalitariste. La formulation partagée est choisie dans le premier cas puisqu'elle tient compte des

[63] Formulation partagée

[64] Profil de demande potentielle

surfaces où différents modes cohabitent, tandis que la formulation potentielle est retenue dans le deuxième cas puisqu'elle emploie un profil de demande qui est moins contraint par l'offre actuelle.

Tableau 7.2 Distribution des indicateurs de partage de la rue selon le quantile

Quantile	Suffisantisme	Utilitarisme	Égalitarisme	Équilibre 3 dimensions
5	s.o.	]2,65, 18,60]	]0,00, 26,75]	]0,00, 0,70]
4	ss.o.	]18,60, 23,15]	]26,75, 32,17]	]0,70, 0,89]
3	]0, 4]	]23,15, 26,88]	]32,17, 37,62]	]0,89, 0,96]
2	]4, 5]	]26,88, 31,14]	]37,62, 47,45]	]0,96, 0,99]
1	]5, 7]	]31,14, 100,00]	]47,45, 100,00]	]0,99, 100,00]

7.2.1 Illustration de différents types de rues

La classification des tronçons de rues par quantiles permet de dégager une série de profils de rues qui représentent les diverses manières dont les indicateurs synthèses se déploient à travers les rues du territoire d'étude. La présente section met en relief une sélection de catégories de rues offrant des valeurs extrêmes pour tous les indicateurs, ou encore des valeurs fortement contrastées selon l'indicateur.

7.2.1.1 Partage inéquitable de la dimension de lien selon les trois indicateurs

Un total de 975 tronçons (128 kilomètres linéaires) reçoit un score dans le dernier quantile pour les trois indicateurs de partage de la dimension de lien. Ces tronçons sont donc inéquitablement partagés, et ce, peu importe le principe de justice distributive employé. Il existe trois cas de figure principaux : les artères à fort potentiel de transport collectif, les rues résidentielles sans trottoir et les ruelles.

On retrouve dans la première catégorie des rues appartenant au réseau artériel, principalement dans l'arrondissement de Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles, avec notamment le boulevard Henri-Bourassa (illustré à la figure 7.12) et la rue Sherbrooke Est, ainsi que la section du boulevard Saint-Jean-Baptiste située entre ces deux axes. Il s'agit de rues où l'on compte des voies de circulation et des trottoirs ainsi que soit une voie de stationnement, soit une voie réservée au

transport collectif, mais où le niveau de confort cyclable[65] est insuffisant pour que la chaussée soit considérée comme étant partagée avec les cyclistes. D'un point de vue suffisantiste, cela contribue à classer ces tronçons dans le dernier quantile.



	Suffisantisme (formulation partagée)	**Utilitarisme**	**Égalitarisme (demande potentielle)**
Valeur	3	20,89	66,63
Quantile	3/3	5/5	5/5

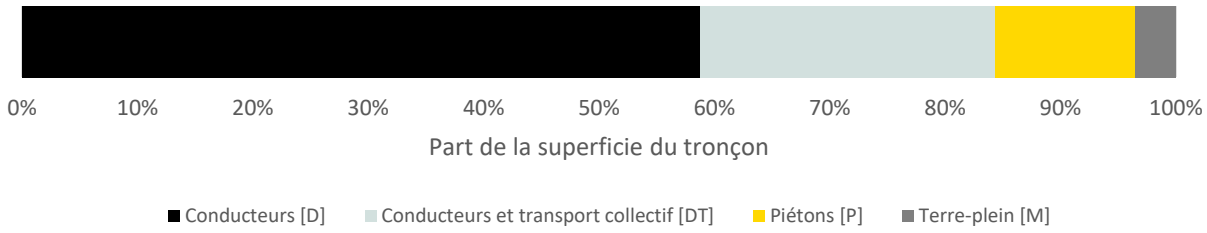


Figure 7.12 Boulevard Henri-Bourassa (côté nord) entre la 56e et la 57e avenue, arrondissement de Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles, 1er octobre 2018, période de pointe du matin

La capacité limitée des voies de circulation automobile par rapport aux autres types d'infrastructures et la faible part de la superficie attribuée aux piétons résultent pour leur part en une faible capacité effective par rapport à la capacité maximale théorique, donc à un partage inéquitable d'un point de vue utilitariste. Une forte concentration de déplacements potentiels en

[65] Se référer au tableau 3.6 de la section 3.2.5.1.3.5 pour un rappel des critères employés pour déterminer le niveau de confort cyclable

transport collectif dans l'est du territoire d'étude (près de 75 % des PHP dans le cas du corridor du boulevard Henri-Bourassa, par exemple) résulte en un fort écart entre l'offre et la demande, et donc en une rue inéquitablement partagée d'un point de vue égalitariste.

Ainsi, l'ajout d'une voie cyclable pour compenser le faible niveau de confort sur le boulevard Henri-Bourassa, par exemple, pourrait être envisagé d'un point de vue suffisantiste. Toutefois, en plus de faire face à un problème de cohabitation avec les véhicules lourds dans un tel secteur industriel, cette éventuelle voie cyclable ne résoudra pas l'écart entre l'offre et la demande, qui est surtout causé par une forte demande potentielle en transport collectif. Le scénario d'une voie réservée au transport collectif pourrait alors être envisagé, mais celle-ci devrait à tout le moins permettre la présence confortable et sécuritaire des cyclistes en l'absence d'une infrastructure dédiée. Dans les deux cas, la largeur de l'emprise disponible rend ces interventions plausibles.

La deuxième catégorie de rues regroupe des tronçons de rues de niveau local sans trottoirs, dont la figure 7.13 offre un exemple. Ce type de tronçon est principalement concentré dans l'arrondissement de Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles, dans des secteurs où le développement s'est effectué sur le modèle de la banlieue pavillonnaire. La voirie y est large et consacrée à l'automobile; les piétons et les cyclistes doivent donc se contenter de partager la chaussée avec les véhicules.

Comme dans le cas de la première catégorie, ces rues obtiennent des scores faibles selon les trois principes de justice en vertu de la faible diversité de surfaces et de l'absence de trottoirs. L'ajout d'au moins un trottoir pourrait être envisagé afin d'éviter que les piétons soient contraints de partager la chaussée avec les automobilistes dans une emprise étroite. Il est toutefois permis de penser qu'en raison des faibles débits piétons observés et potentiels dans ce type de milieu, une intervention du genre pourrait ne pas être considérée comme prioritaire par l'administration municipale.



	Suffisantisme (formulation partagée)	Utilitarisme	Égalitarisme (demande potentielle)
Valeur	4	8,07	18,17
Quantile	3/3	5/5	5/5

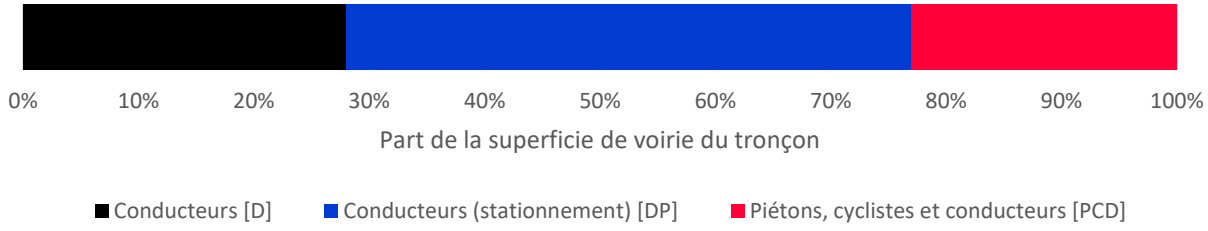


Figure 7.13 56e avenue entre le boulevard Perras et la 3e rue, arrondissement de Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles, 1er octobre 2018, période de pointe du matin

Dans le dernier cas, illustré à la figure 7.14, on parle plutôt de tronçons qui possèdent toutes les caractéristiques d'une ruelle mais qui sont répertoriées dans la géobase de la Ville puisqu'elles possèdent un toponyme et que l'on y retrouve des adresses résidentielles. L'espace y est classé comme chaussée automobile [D] avec une section partagée avec les piétons et les cyclistes [PCD], ce qui permet d'accueillir trois modes en circulation; l'indicateur suffisantiste reçoit donc une valeur de 3, ce qui le place dans le dernier quantile. L'indicateur utilitariste est également faible puisque la capacité piétonne et cycliste y est limitée par le partage de la chaussée avec l'automobile (voir tableau 6.2). Enfin, l'indicateur égalitariste reçoit également un faible score puisque seules les surfaces exclusives y sont comptées; aucune surface n'est donc considérée comme étant allouée aux piétons, ce qui crée un déséquilibre dès lors que des déplacements à pied sont comptabilisés sur le tronçon par le calculateur de chemin utilisé pour affecter la demande sur le réseau.



	Suffisantisme (formulation partagée)	Utilitarisme	Égalitarisme (demande potentielle)
Valeur	3	12,58	19,26
Quantile	3/3	5/5	5/5

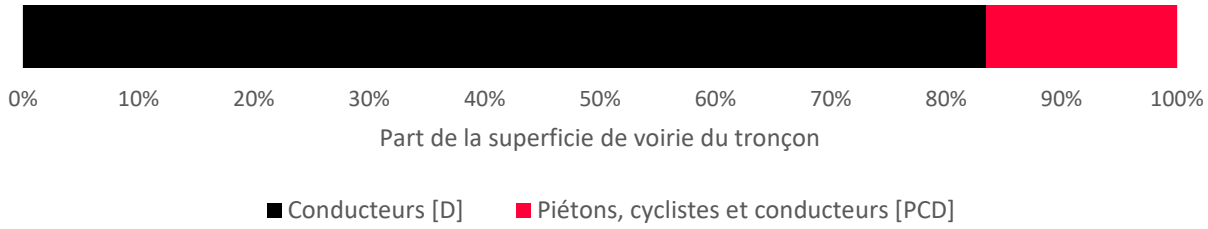


Figure 7.14 Avenue De Chateaubriand entre la rue Roy Est et l'avenue Duluth Est, arrondissement du Plateau-Mont-Royal, 1er octobre 2018, période de pointe du matin

7.2.1.2 Partage équitable d'un point de vue suffisantiste et utilitariste mais fort écart entre offre et demande

Certains tronçons rues (102 tronçons, 12,11 kilomètres linéaires) offrent un accès minimal à tous les modes et sont caractérisées par une forte capacité mais présentent quand même un écart important entre l'offre en espace de voirie et la demande potentielle pour certains modes.

La rue Fleury Est, illustrée à la figure 7.15, offre ainsi, sur certains tronçons, un accès à la circulation ou au stationnement pour chacun des modes, pour un score suffisantiste partagé de 7, ce qui constitue la valeur maximale. Les surfaces de voirie donnant accès aux cyclistes et aux usagers du transport collectif y sont toutefois partagées avec la circulation automobile. La capacité totale théorique du tronçon illustré atteint 34,68 % de la capacité maximale théorique, ce qui se

retrouve parmi les valeurs les plus élevées des rues non-piétonnes du territoire d'étude. Il est donc possible de conclure que ce tronçon de rue est équitablement partagé d'un point de vue suffisantiste et utilitariste.



	Suffisantisme (formulation partagée)	**Utilitarisme**	**Égalitarisme (demande potentielle)**
Valeur	7	34,68	31,86
Quantile	1/3	1/5	3/5

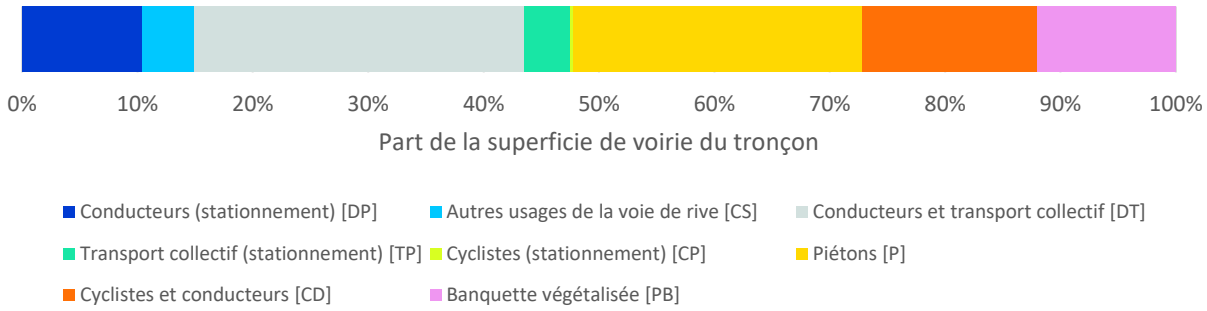


Figure 7.15 Rue Fleury Est entre les rues Chambord et De La Roche, arrondissement d'Ahuntsic-Cartierville, 1er octobre 2018, période de pointe du matin

Toutefois, l'écart entre l'offre et la demande y est marqué, avec un score plutôt faible de 31,86 pour l'indicateur égalitariste, ce qui correspond à un écart offre-demande cumulé de 68,14 points de pourcentage pour l'ensemble des modes. La majorité de cet écart est dû à la demande en transport collectif, qui représente, en période de pointe du matin, 53 % des PHP observés et 57 %

des PHP potentiels sur l'axe de la rue Fleury Est[66], tandis qu'on n'y retrouve aucune voie réservée au transport collectif. Les piétons constituent le deuxième mode en termes d'importance de l'écart offre-demande pour la demande observée (-11,16 points de pourcentage), tandis que les cyclistes arrivent en deuxième position lorsque l'on considère plutôt la demande potentielle (-17,07 p.p.). Puisqu'il s'agit d'une rue commerciale importante située au cœur d'un quartier densément peuplé, il n'est pas étonnant d'y constater une forte demande en transport actif et collectif.

Une intervention visant à améliorer le partage de la rue d'un point de vue égalitariste devrait donc considérer en priorité la performance du transport collectif afin de déterminer si une voie réservée est requise pour améliorer la qualité du service. Un élargissement des trottoirs ou la mise en place de voies cyclables pourraient ensuite être considérés, selon la volonté des pouvoirs publics de prioriser la demande piétonne actuelle ou le potentiel de demande cyclable. Toutefois, étant donné l'absence de surfaces dédiées exclusivement à la circulation cycliste, celles-ci devraient être priorisées d'un point de vue suffisantiste.

7.2.1.3 Aucun écart entre offre et demande mais partage inéquitable selon les autres principes de justice ainsi qu'entre les dimensions de la rue

À l'inverse de la catégorie précédente, certains tronçons du territoire d'étude (276 tronçons, 50,90 kilomètres linéaires) reçoivent un score faible en vertu des indicateurs suffisantiste et égalitariste ainsi qu'au niveau du partage entre les trois dimensions de la rue, mais l'écart entre offre et demande y est faible ou nul. Il s'agit, pour la plupart, d'axes autoroutiers (tel qu'illustré à la figure 7.16) ou de tronçons isolés réservés à l'automobile (comme le cas représenté à la figure 7.17).

[66] Dans le cas de l'axe Fleury Est dans l'arrondissement d'Ahuntsic-Cartierville, aucun autre axe n'offre une alternative équivalente. Le corridor de cet axe, à l'échelle duquel la demande est mesurée pour développer l'indicateur utilitariste, correspond donc seulement à l'axe lui-même.



	Suffisantisme (formulation partagée)	Utilitarisme	Égalitarisme (demande potentielle)
Valeur	1	17,37	100
Quantile	3/3	5/5	1/5

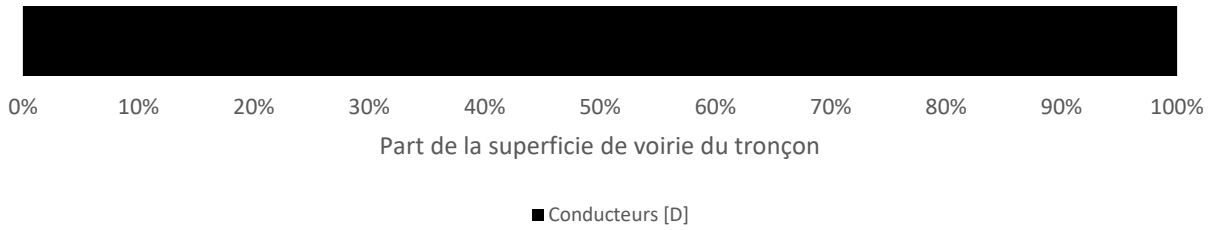


Figure 7.16 Autoroute Métropolitaine (côté nord) à la hauteur de l'avenue Henri-Julien, arrondissement d'Ahuntsic-Cartierville, 1er octobre 2018, période de pointe du matin (CMM, 2018; traitement par l'auteur)

Dans le cas des tronçons autoroutiers ou quasi-autoroutiers (comme l'avenue Souligny, dans l'arrondissement de Mercier–Hochelaga-Maisonneuve), le partage est faible d'un point de vue suffisantiste puisqu'on y retrouve seulement des surfaces dédiées à la circulation automobile. Dans certains cas, comme l'autoroute Métropolitaine, certains tronçons n'accueillent aucun service d'autobus et reçoivent donc le score le plus faible possible, c'est-à-dire 1. Puisque la capacité des voies automobiles est la plus faible d'entre tous les types de surfaces, l'indicateur utilitariste y est aussi parmi les plus faibles. De même, puisqu'il s'agit de tronçons entièrement dédiés à la circulation des véhicules, et ne comprenant donc par le fait même aucune surface dédiée aux dimensions de lieu ou d'environnement, l'indicateur d'équilibre entre les trois dimensions y obtient

une valeur de 0. Toutefois, puisque ce type de tronçon accueille seulement la circulation automobile, l'écart entre offre et demande y est également nul, ce qui suggère une voie partagée de manière totalement équitable d'un point de vue égalitariste puisqu'aucune demande utilisant un autre mode n'y est affectée, et ce, même pour le profil de demande potentielle. Cela souligne une des limites de l'approche par écart offre-demande, du moins tant que l'offre et la demande sont mesurées seulement à l'échelle des tronçons autoroutiers et n'incluent pas, par exemple, les voies de service avoisinantes où la demande est plus diversifiée.



	Suffisantisme (formulation partagée)	**Utilitarisme**	**Égalitarisme (demande potentielle)**
Valeur	2	10,10	54,44
Quantile	3/3	5/5	1/5

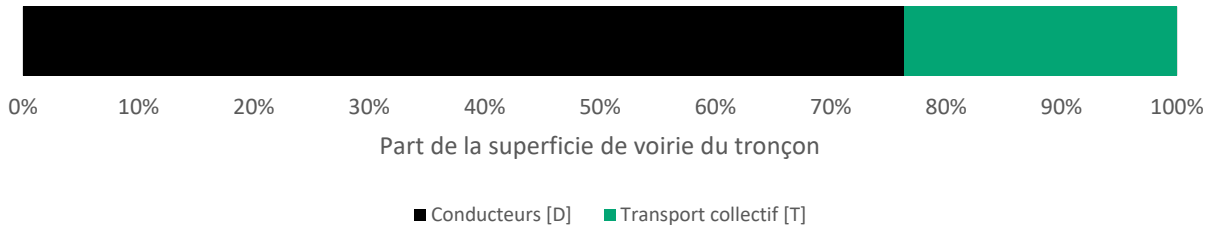


Figure 7.17 Chemin McDougall entre Le Boulevard et le chemin de la Côte-des-Neiges, arrondissement de Ville-Marie, 1er octobre 2018, période de pointe du matin

Pour sa part, le cas du chemin McDougall (voir figure 7.17) illustre les enjeux de partage de la rue engendrés par les infrastructures conçues à une époque où la fluidité automobile en milieu urbain était priorisée au détriment des autres modes. En effet, il s'agit d'une voie qui permet à la circulation sur le chemin de la Côte-des-Neiges en direction sud de contourner, à sens unique, un

complexe résidentiel. Cette voie reçoit un score relativement faible du point de vue suffisantiste (2 usages permis sur 7) et utilitariste (10,10 % de la capacité maximale théorique), mais se retrouve dans le quintile le plus élevé d'un point de vue égalitariste avec un score 54,55. Un tel score, même s'il se retrouve dans le meilleur quintile, représente toutefois un écart important entre offre et demande, avec un écart de 30,82 points de pourcentage entre l'espace alloué aux cyclistes et la demande cycliste potentielle.

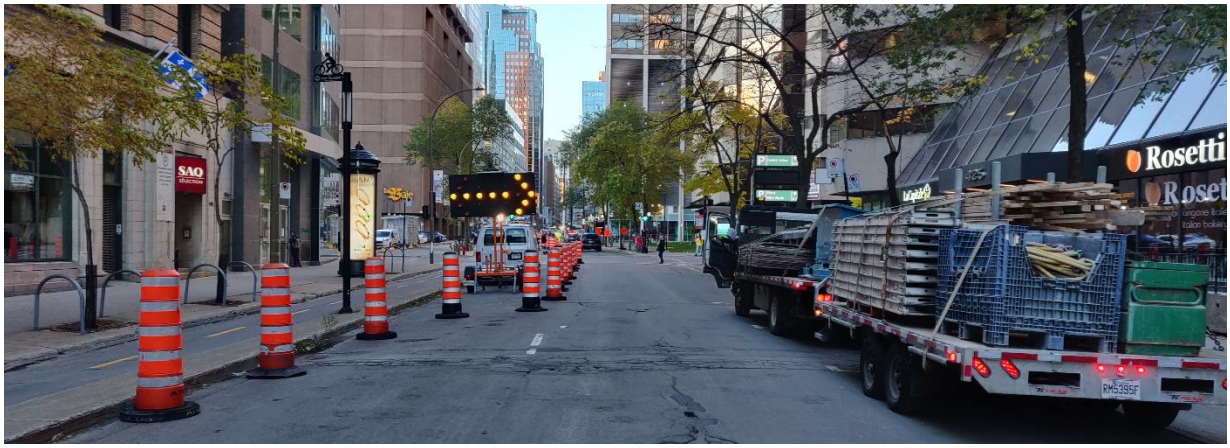
En d'autres mots, il s'agit d'une rue à laquelle peu de modes ont accès et qui est loin d'offrir une utilisation efficace de l'espace en termes de capacité effective. Toutefois, l'offre y est relativement similaire à la demande, ce qui place ce tronçon est en meilleure posture que la majorité des rues du territoire d'étude et n'apparaît donc vraisemblablement pas prioritaire pour un réaménagement éventuel.

7.2.1.4 Partage équitable de la dimension de lien mais inéquitable par rapport aux autres dimensions

Un petit nombre de tronçons de rues (104 tronçons, 10,29 kilomètres linéaires) sont caractérisés par un partage équitable selon les trois indicateurs liés à la dimension de lien, mais par un déséquilibre par rapport aux dimensions de lieu et d'environnement de la rue. Ces tronçons obtiennent un score situé dans le premier quantile pour les indicateurs suffisantiste, utilitariste et égalitariste, mais reçoivent un score situé dans les deux derniers quantiles en termes d'équilibre entre les trois dimensions. Il s'agit pour la plupart de tronçons appartenant à une rue artère commerciale, comme l'avenue du Mont-Royal (Le Plateau-Mont-Royal), la rue du Centre (Le Sud-Ouest) ou la rue Ontario Est (Mercier–Hochelaga-Maisonneuve), ou à un lien important du réseau cyclable, comme le boulevard De Maisonneuve (Ville-Marie) ou la rue Lajeunesse (Ahuntsic-Cartierville).

La plupart des tronçons du boulevard De Maisonneuve, dans la portion qui héberge la piste cyclable Claire-Morissette (voir figure 7.18), se classent dans le premier quantile selon les trois principes de justice distributive analysés. Il s'agit d'un axe qui offre un accès à chaque mode autant en circulation qu'en stationnement (à l'exception du stationnement automobile en période de pointe du matin) et dont la capacité théorique peut atteindre 50 % de la capacité maximale théorique, l'une des plus hautes valeurs du territoire d'étude pour les tronçons non piétonnisés. De même, l'écart entre offre et demande y est relativement faible, avec un écart maximal de -15,71 points de

pourcentage pour la demande piétonne observée et de -19,59 pour la demande cyclable potentielle. Cependant, la faible couverture végétale constatée sur plusieurs tronçons de l'axe et l'absence de marges entre le trottoir et les bâtiments capables d'accueillir des activités liées à la dimension de lieu contribuent à un déséquilibre du partage entre les trois principales dimensions de la rue au profit de la dimension de lien.



	Suffisantisme (formulation partagée)	**Utilitarisme**	**Égalitarisme (demande potentielle)**	**Équilibre entre les trois dimensions**
Valeur	6	40,68	68,12	0,64
Quantile	1/3	1/5	1/5	5/5

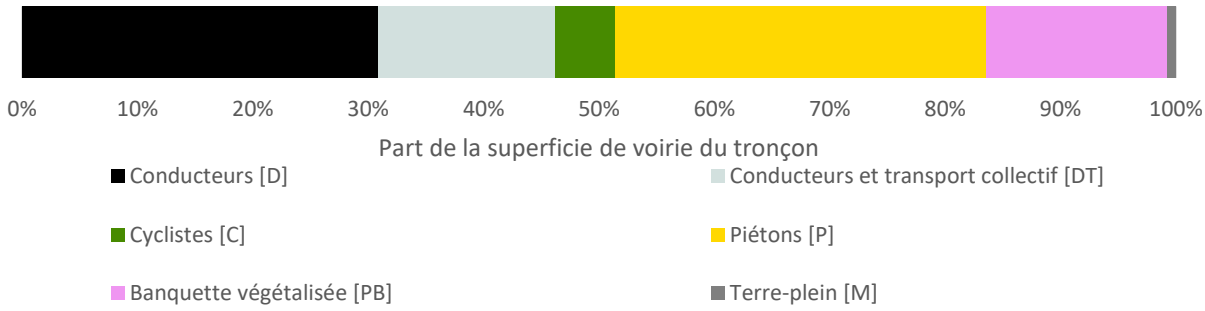


Figure 7.18 Boulevard De Maisonneuve Ouest entre les rues De Bleury et City Councillors, arrondissement de Ville-Marie, 1er octobre 2018, période de pointe du matin

Dans un tel contexte, une intervention visant à rééquilibrer le partage de la rue devrait vraisemblablement viser à donner davantage d'espace à la dimension environnementale de la rue, qui est la moins représentée sur l'axe. Toutefois, si ces interventions venaient à retirer des surfaces

de voirie allouées à la dimension de lien, un soin particulier devrait être apporté à leur choix afin de ne pas nuire à l'équilibre constaté au sein de cette dimension.

7.2.1.5 Rue équitablement partagée selon toutes les mesures

Seule une minorité de tronçons (56 tronçons, 6,62 kilomètres linéaires) obtient un score dans le premier quantile pour tous les indicateurs, ce qui indique une rue partagée équitablement selon l'ensemble des principes de justice employés pour la dimension de lien ainsi qu'entre les différentes dimensions de la rue. De ce nombre, on compte plusieurs tronçons isolés et deux axes principaux, à savoir la portion de la rue Rachel Est longeant le parc La Fontaine (Le Plateau-Mont-Royal) et la portion du boulevard Édouard-Montpetit longeant le campus de l'Université de Montréal (Côte-des-Neiges–Notre-Dame-de-Grâce).

Dans le cas de la rue Rachel (voir figure 7.19) comme dans celui du boulevard Édouard-Montpetit (voir figure 7.20), on note la présence de voies cyclables, d'arrêts d'autobus et de supports à vélo, en plus des trottoirs et des voies consacrées à la circulation et au stationnement automobile. Cela engendre un score suffisantiste de 6 ou 7. Ces multiples équipements contribuent également à une capacité supérieure à la moyenne, avec une capacité théorique d'entre 30 % et 55 % de la capacité maximale théorique.



	Suffisantisme (formulation partagée)	Utilitarisme	Égalitarisme (demande potentielle)	Équilibre entre les trois dimensions
Valeur	6	51,46	63,89	0,99
Quantile	1/3	1/5	1/5	1/5

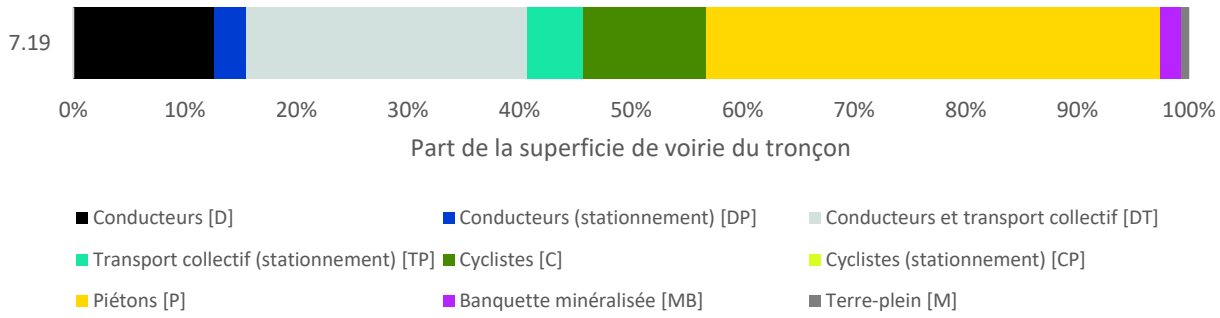
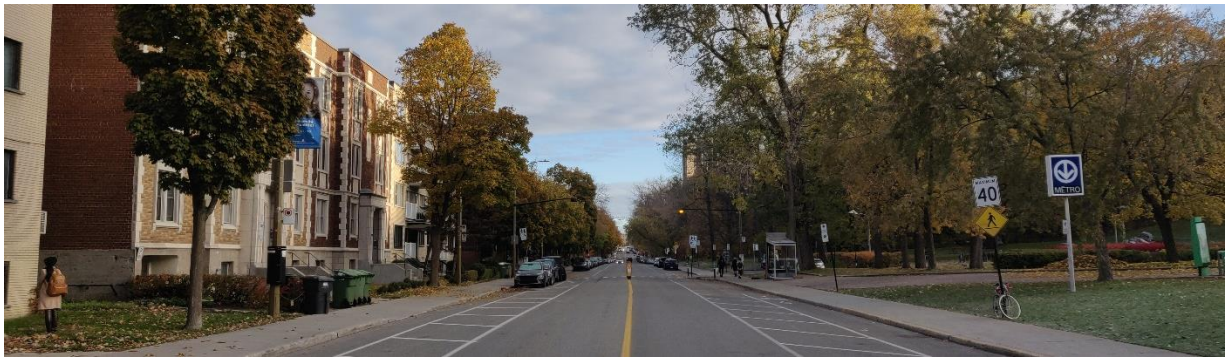


Figure 7.19 Distribution de l'espace de voirie sur la rue Rachel Est entre les rues De Lanaudière et Garnier, arrondissement du Plateau-Mont-Royal, 1er octobre 2018, période de pointe du matin

En plus d'être des rues spatialement efficaces et offrant un accès à tous les modes, ces tronçons sont également parmi les plus équilibrés d'un point de vue égalitariste; en effet, l'écart offre-demande y est réparti entre les modes alternatifs à l'automobile, avec une sous-représentation plus marquée dans le cas de la demande piétonne potentielle pour le boulevard Édouard-Montpetit (-35,77 points de pourcentage) et dans le cas de la demande cyclable potentielle pour la rue Rachel Est (-15,98 p.p.). De plus, les marges profondes et la présence d'un espace vert en rive de ces tronçons permet d'obtenir un score élevé en matière d'équilibre entre les trois dimensions de la rue.



	Suffisantisme (formulation partagée)	Utilitarisme	Égalitarisme (demande potentielle)	Équilibre entre les trois dimensions
Valeur	6	33,61	55,71	0,97
Quantile	1/3	1/5	1/5	1/5

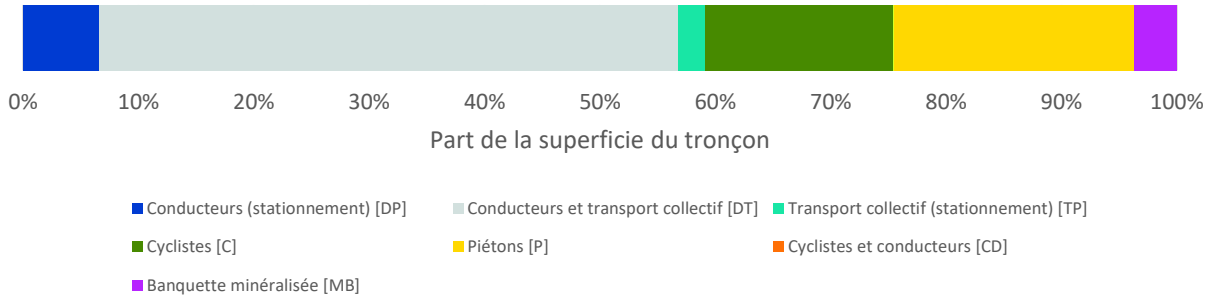


Figure 7.20 Distribution de l'espace de voirie sur le boulevard Édouard-Montpetit entre les avenues Louis-Colin et Woodbury, arrondissement de Côte-des-Neiges–Notre-Dame-de-Grâce, 1er octobre 2018, période de pointe du matin

À la lumière des indicateurs développés dans la présente thèse, il s'agit donc des rues les mieux partagées du territoire d'étude. Si la présence d'un espace vert ne peut évidemment pas être répliquée sur toutes les rues du territoire, d'autres stratégies (voies cyclables, supports à vélo et stations BIXI, trottoirs plus larges, espace dédié aux activités de lieu) peuvent servir d'inspiration lors d'interventions dans d'autres contextes.

7.3 Étude de cas : le bassin de desserte piétonne des écoles

En plus du diagnostic d'un tronçon ou d'un axe individuel, les indicateurs synthèses proposés permettent de caractériser le partage de la rue à l'échelle du bassin de desserte d'un générateur de déplacement. La présente section s'intéresse au partage de la rue dans le bassin de desserte piétonne

des écoles de niveau primaire et secondaire du territoire d'étude. Les établissements de niveau primaire et secondaire sont choisis puisque les enfants font partie des usagers vulnérables du réseau routier et que les préoccupations quant à la sécurité des trajets piétons des enfants d'âge scolaire ont un impact sur les choix de mobilité effectués par les parents (Lewis et Torres, 2010). Considérant que les enfants qui se déplacent à pied ont davantage de chances de poursuivre leurs déplacements à l'aide des modes actifs à l'âge adulte (Mjahed et al., 2015), il est important de s'attarder au partage de l'espace de voirie dans le bassin de desserte des écoles afin de maximiser le potentiel des modes actifs chez les générations à venir.

7.3.1 Construction du bassin de desserte piétonne des écoles du territoire d'étude

La localisation des écoles de niveau primaire et secondaire du territoire d'étude est extraite de la base de données *Localisation des établissements d'enseignement du réseau scolaire au Québec*, pour un total de 323 écoles primaires et 163 écoles secondaires. Le bassin de desserte de chaque école est calculé à partir de la géobase linéaire de la Ville de Montréal à l'aide de l'algorithme de plus court chemin *pgr_drivingDistance* de l'extension pgRouting 3.0.0 pour PostgreSQL 10.9. Une matrice de distance est construite entre chaque école et chaque tronçon de rue du territoire d'étude. Les tronçons de géobase situés à l'intérieur de la distance seuil fixée sont conservés afin de former le bassin de desserte piétonne de chaque école. La distance seuil choisie est le 80^{e} centile des distances parcourues à pied pour un motif scolaire par des enfants de 16 ans et moins sur l'île de Montréal dans l'Enquête OD 2013, c'est-à-dire une distance de 1,04 km. Un exemple de bassin de desserte piétonne est illustré à la figure 7.21.



Figure 7.21 Exemple d'un bassin de desserte piétonne : bassin de l'école primaire François-de-Laval, située dans l'arrondissement d'Ahuntsic-Cartierville

Les valeurs minimale, maximale et moyenne ainsi que l'écart-type pour chaque indicateur synthèse sont ensuite calculées pour les tronçons inclus dans chaque bassin de desserte. Il est à noter qu'étant donné la densité d'établissements scolaires du territoire d'étude, plusieurs bassins de desserte peuvent se chevaucher, ce qui peut mener un même tronçon à être comptabilisé dans plusieurs bassins différents.

7.3.2 Distribution des indicateurs de partage de la rue autour des écoles du territoire d'étude

La figure 7.22 permet de constater que la valeur moyenne de l'indicateur suffisantiste autour des écoles du territoire d'étude se situe entre 4 et 5, c'est-à-dire que les rues qui constituent le bassin de desserte piétonne de ces écoles donnent en moyenne accès à de 4 à 5 usages. Quelques écoles comptent des valeurs plus faibles, notamment dans les secteurs à l'est de l'arrondissement de

Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles ainsi que près de l'autoroute Métropolitaine (A-40) dans les arrondissements d'Ahuntsic-Cartierville, Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension et Saint-Léonard. Il s'agit de bassins de desserte où l'on retrouve proportionnellement davantage de grands axes routiers aménagés afin de favoriser la circulation automobile ainsi que, dans le cas de Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles, de quartiers résidentiels comprenant des rues locales sans trottoirs. La variabilité de l'indicateur est plus forte dans les quartiers centraux (La Petite-Patrie, Le Plateau-Mont-Royal, Notre-Dame-de-Grâce, Ahuntsic), ce qui indique que le choix d'emprunter un tronçon de rue plutôt qu'un autre peut y avoir une plus grande influence sur le niveau de partage de la rue constaté au cours d'un itinéraire. Ainsi, les enfants résidant sur certaines rues ou choisissant d'emprunter certains trajets plutôt que d'autres, par exemple, peuvent se retrouver sur des tronçons partagés de manière moins équitable que leurs camarades, et ce, même dans le cas d'un bassin où le partage est plus élevé que la moyenne.

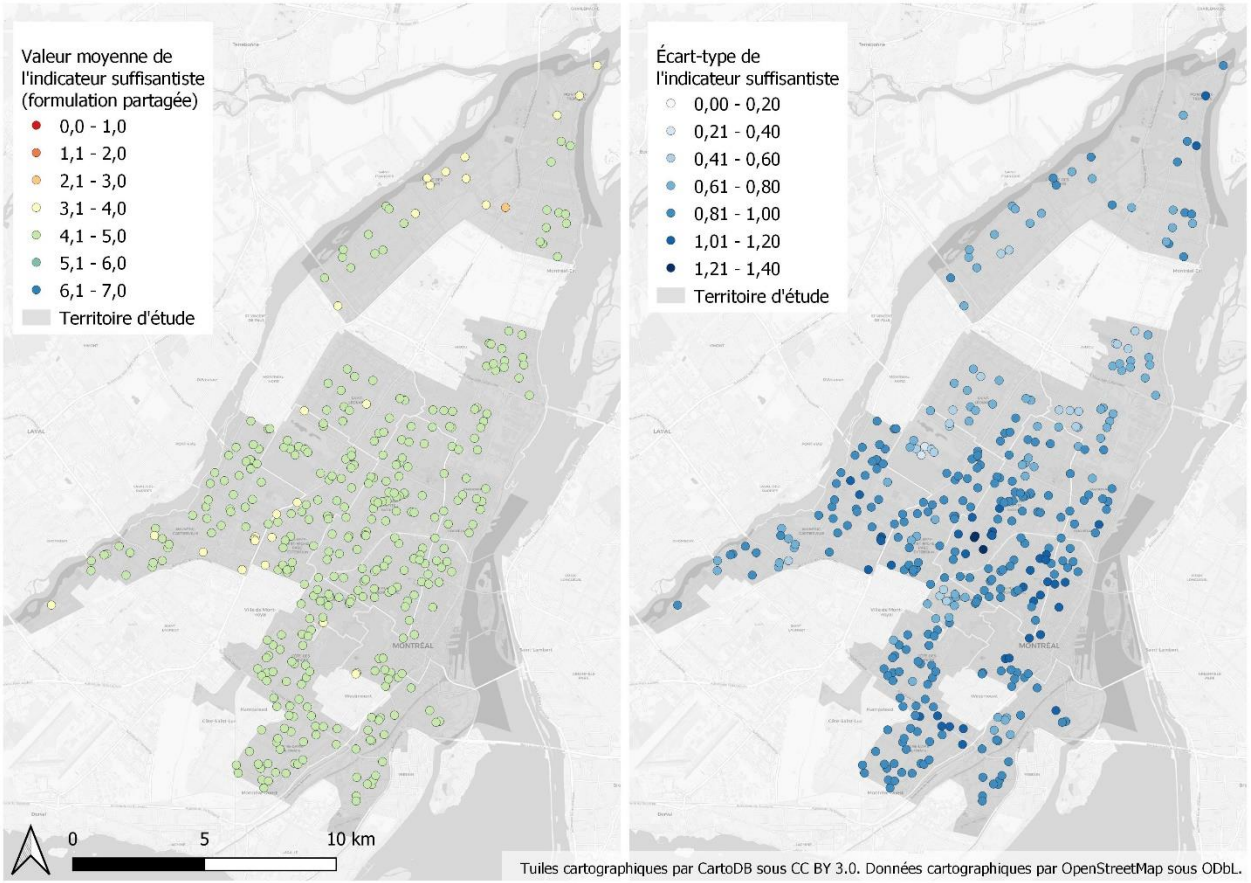


Figure 7.22 Valeur moyenne et écart-type de l'indicateur suffisantiste (formulation partagée) dans le bassin de desserte piétonne des écoles du territoire d'étude

La figure 7.23, qui exprime la part de la capacité maximale théorique atteinte par les rues du bassin de desserte, permet de constater que les rues menant aux écoles des quartiers centraux (La Petite-Patrie, Le Plateau-Mont-Royal, Ville-Marie) sont les plus équitablement partagée d'un point de vue utilitariste. L'indicateur semble décroître à mesure que s'accroît la distance au centre-ville, ce qui suggère que les rues situées autour des écoles dans les quartiers périphériques – surtout dans l'arrondissement de Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles – permettent de déplacer moins de passagers par heure que les rues des quartiers centraux. La variabilité de cet indicateur semble être la plus importante au centre-ville ainsi que, dans une moindre mesure, dans l'arrondissement d'Outremont et dans l'est de l'arrondissement d'Ahuntsic-Cartierville. Il est donc possible de constater que les bassins de desserte des écoles des quartiers centraux offrent un accès plus équitable d'un point de vue utilitariste puisqu'ils permettent à un plus grand nombre d'usagers de transiter par les rues qui s'y trouvent, peu importe le mode choisi.

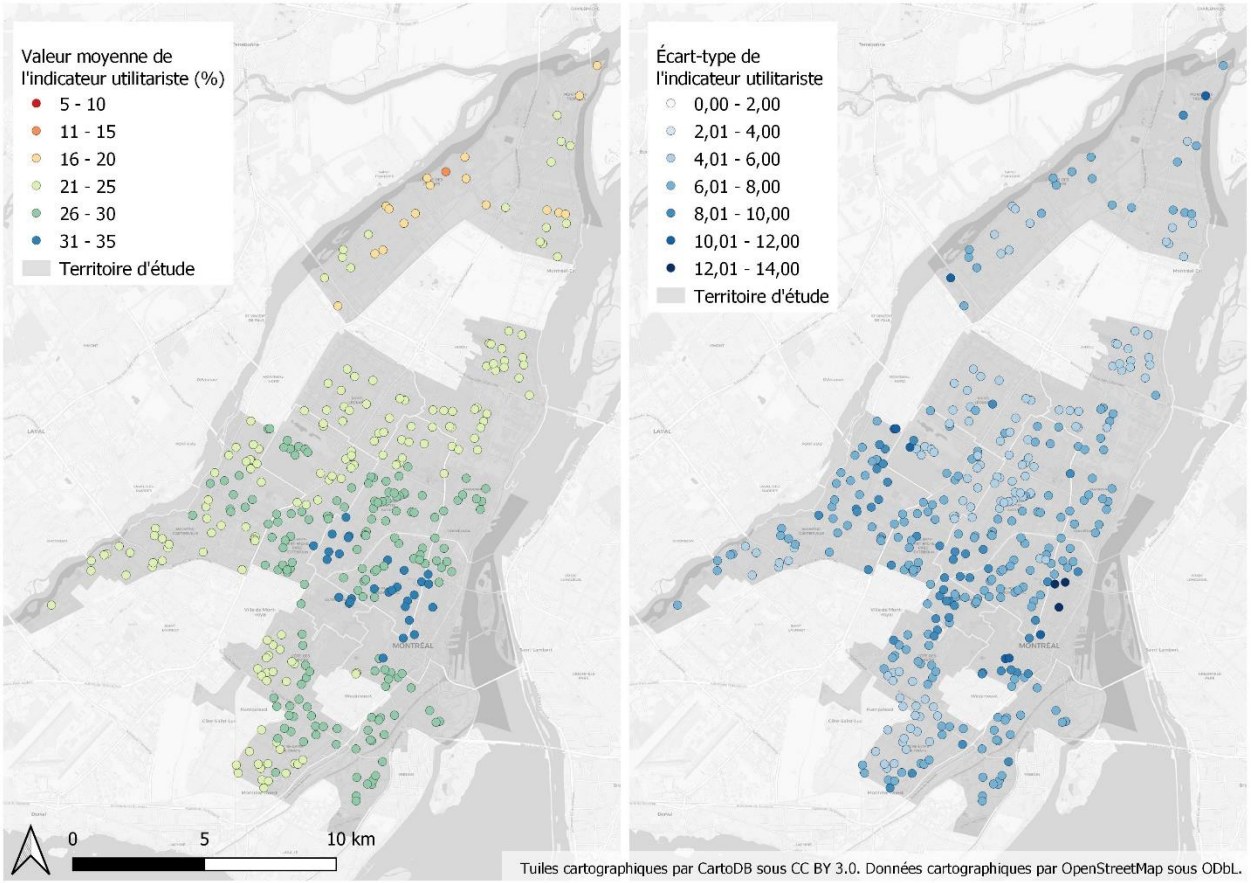


Figure 7.23 Valeur moyenne et écart-type de l'indicateur utilitariste dans le bassin de desserte piétonne des écoles du territoire d'étude

La figure 7.24 démontre que les rues menant aux écoles des quartiers du nord-ouest (Ahuntsic-Cartierville, Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension) et de l'est (Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles) du territoire d'étude sont les plus équitablement partagées d'un point de vue égalitariste lorsque l'on considère la demande observée dans l'Enquête OD 2013. En effet, entre 60 % et 80 % de l'espace de voirie y est alloué proportionnellement à la part modale des passagers-heures parcourus (PHP). Dans un contexte où la part modale des trajets effectués en automobile est élevée, comme dans l'est du territoire d'étude, cela peut toutefois signifier que peu d'espace est alloué aux modes actifs, ce qui n'est pas à même d'encourager le choix de ces modes par les élèves ou leurs parents.

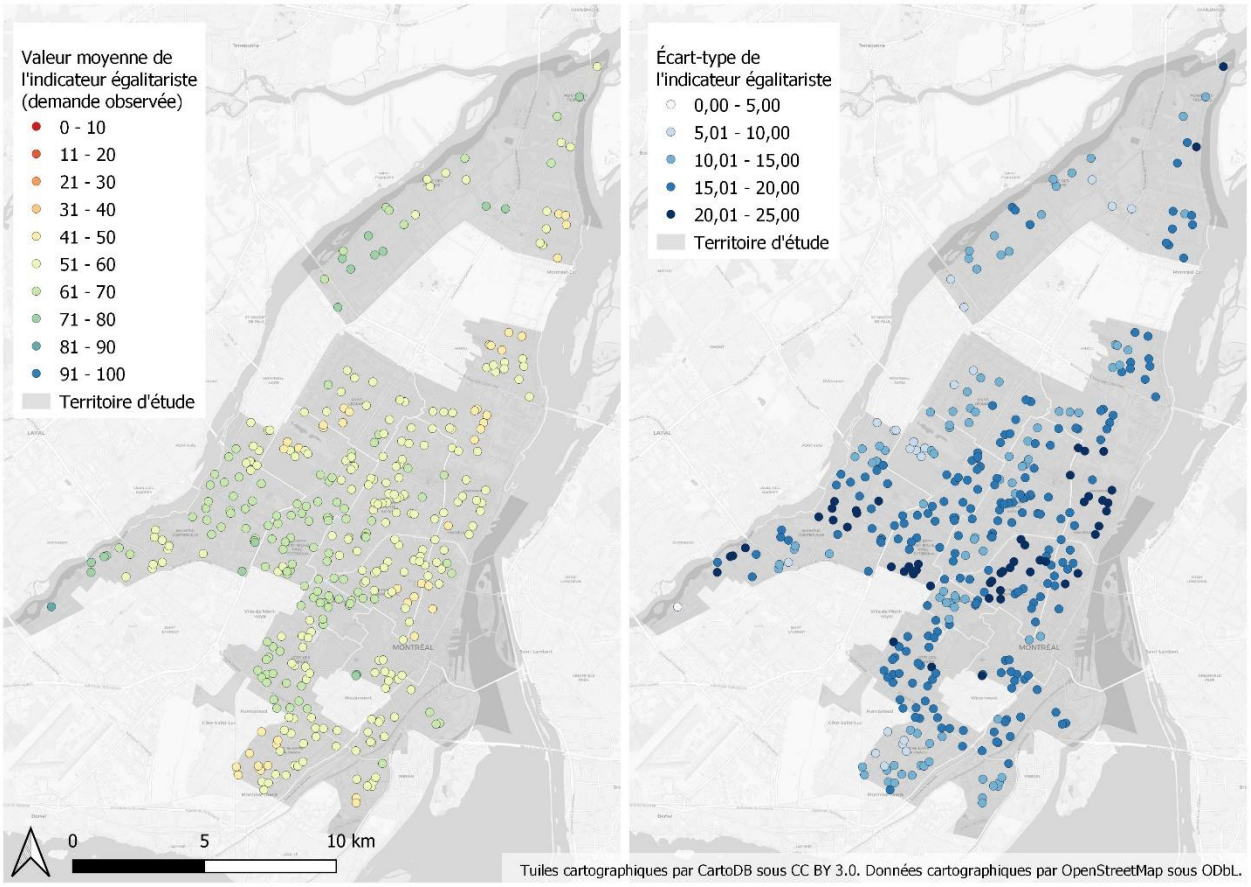


Figure 7.24 Valeur moyenne et écart-type de l'indicateur égalitariste (demande observée) dans le bassin de desserte piétonne des écoles du territoire d'étude

La figure 7.25 confirme ce déséquilibre dans le cas de l'arrondissement de Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles, puisque la valeur de l'indicateur égalitariste basé sur la demande potentielle montre que moins de 20 % de l'espace de voirie y est partagé de manière proportionnelle à la

distribution modale potentielle des PHP. En d'autres mots, on observe un écart important entre l'offre d'espace de voirie et la demande latente pour les modes actifs et collectifs, ce qui suggère que ces milieux pourraient constituer des lieux d'intervention prioritaires pour le rééquilibrage de l'espace public.

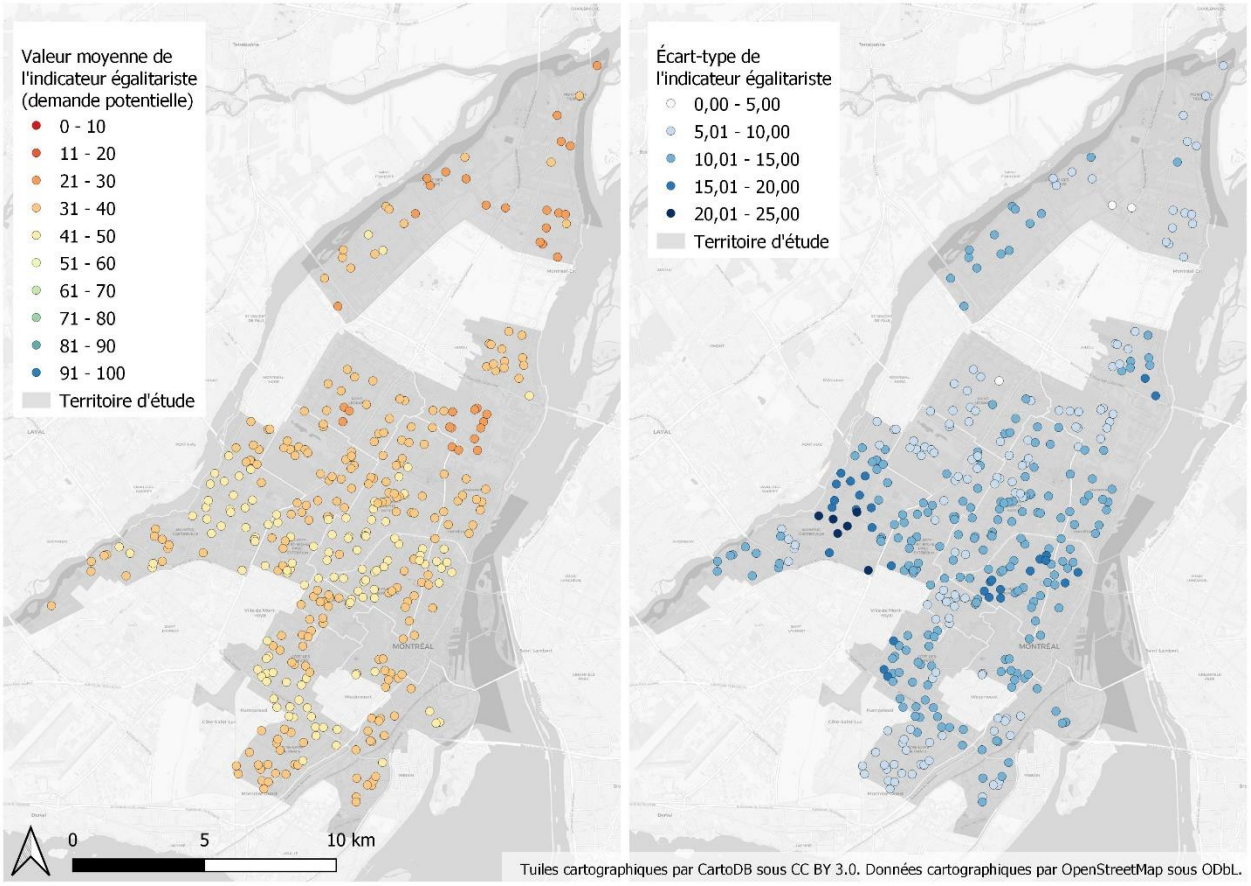


Figure 7.25 Valeur moyenne et écart-type de l'indicateur égalitariste (demande potentielle) dans le bassin de desserte piétonne des écoles du territoire d'étude

7.4 Synthèse

L'emploi d'un indicateur synthèse de partage de la rue selon différents principes de justice distributive permet de mettre en relief la diversité des constats qu'il est possible de tirer sur le partage d'une même rue ou d'un même bassin de desserte en fonction de la définition choisie d'un partage équitable. En effet, tel qu'illustré à la section 7.1, la localisation des rues considérées comme équitablement partagées varie selon le principe considéré. Les tronçons autoroutiers, par exemple, sont considérés comme étant équitablement partagés d'un point de vue égalitariste

puisque l'offre et la demande y sont entièrement automobiles, tandis qu'ils constituent les tronçons les moins équitablement partagés d'un point de vue suffisantiste parce qu'ils ne sont justement accessibles qu'à un seul mode. L'usage combiné des différents indicateurs est donc essentiel afin de saisir l'entièreté de la dynamique du partage d'une rue. Chaque approche a donc un rôle particulier à jouer, tel que démontré aux sections 7.2 et 7.3.

Le tableau 7.3 rappelle les indicateurs proposés dans le présent chapitre ainsi qu'au chapitre 5 et résume leur interprétation. Il est à noter que tous les indicateurs sont formulés de manière que la valeur minimale possible indique une situation inéquitable et la valeur maximale, une situation équitable.

Tableau 7.3 Synthèse des indicateurs de partage de la rue proposés

Indicateur	**Formulation**	**Valeurs possibles**	**Interprétation de l'indicateur**
Suffisantiste	Offre exclusive	0 à 7	Nombre d'usages auxquels le tronçon, l'axe ou le corridor offre un accès à l'aide d'une surface à usage **exclusif ou prioritaire**
	Offre partagée	0 à 7	Nombre d'usages auxquels le tronçon, l'axe ou le corridor offre un accès à l'aide d'une surface à usage **partagé**
Utilitariste	-	0 % à 100 %	Part de la capacité maximale théorique (piétonnisation totale) atteinte par l'allocation actuelle des surfaces de voirie
Égalitariste	Demande observée	0 % à 100 %	Part de la superficie de voirie du tronçon allouée de manière proportionnelle à la demande **observée** à l'échelle du corridor
	Demande potentielle	0 % à 100 %	Part de la superficie de voirie du tronçon allouée de manière proportionnelle à la demande **potentielle** à l'échelle du corridor
Équilibre entre les trois dimensions	-	0 à 1	Niveau d'égalité de la distribution de l'espace de la rue entre les trois dimensions (lien, lieu, environnement) selon l'indice d'entropie de Shannon

L'indicateur suffisantiste permet de s'assurer qu'un accès minimal est offert au plus grand nombre d'usagers possible en fonction du mode qu'ils choisissent – ou qu'ils sont contraints – d'utiliser. Cet indicateur permet de déterminer si un tronçon atteint un niveau d'offre « plancher », et ce, sans égard à la demande ou à l'espace réellement disponible pour accueillir l'ensemble des usages de la dimension de lien de la rue. Il s'agit de l'indicateur le plus facile à calculer puisqu'il ne nécessite

qu'une base de données recensant les différents usages au sein d'une rue, sans nécessairement se préoccuper de leur superficie ou de la demande qui leur est associée.

L'indicateur utilitariste offre la possibilité de choisir entre deux interventions afin de prioriser celle qui offre la meilleure capacité totale, tous modes confondus. Il est à noter que cette approche considère la piétonnisation complète comme la situation optimale, une configuration qui peut s'avérer invraisemblable dans la majorité des contextes géographiques. Afin d'être le plus précis possible, cet indicateur nécessite de déterminer, en plus de la présence des différentes surfaces sur un tronçon donné, leur largeur moyenne ou, dans le cas des espaces réservés au stationnement, leur nombre. Une version empirique – plutôt que théorique – de cet indicateur nécessiterait l'inclusion des facteurs traditionnellement inclus dans ce type de calcul, tels que le phasage des feux de circulation, les taux de virage, la part de véhicules lourds et de nombreuses autres variables.

L'approche égalitariste permet de cibler les tronçons de rues où une opération de rééquilibrage du partage de la rue est prioritaire, puisque l'indicateur égalitariste nous renseigne sur l'ampleur de l'écart entre l'offre de voirie et la répartition des passagers-heures parcourus (PHP) selon le mode. Cette approche ne pénalise pas les tronçons de rues dotés d'une faible capacité totale ou n'offrant pas un accès minimal à chacun des modes, pourvu que l'offre corresponde à la demande observée ou potentielle. Il s'agit sans doute de l'indicateur le plus complexe à calculer puisqu'il nécessite des données précises sur l'offre d'espace, sous forme de superficies par mode[67], ainsi que sur la demande, sous la forme de passagers-heures parcourus par mode. De plus, afin de développer la formulation de l'indicateur basée sur la demande potentielle, les données de demande doivent inclure des informations sur les individus ainsi que sur les caractéristiques de leurs déplacements.

Pour sa part, l'indicateur d'équilibre entre les trois dimensions de la rue permet d'identifier les tronçons de rues où davantage d'espace devrait être alloué aux dimensions de lieu et d'environnement. Une distribution rigoureusement égale de l'espace entre les trois dimensions constitue l'équilibre optimal selon la formulation de l'indicateur, une prémisse qui peut être inadaptée aux besoins de certains tronçons, notamment selon l'importance de leur rôle de lien.

---

[67] Il est à noter que ces données pourraient être approximées à partir des données sur la présence de chacune des surfaces à partir d'hypothèses sur la largeur moyenne de chaque type de surface.

Le chapitre qui suit illustre le potentiel de complémentarité des indicateurs proposés au présent chapitre pour effectuer le suivi d'interventions de rééquilibrage de l'espace de voirie à l'aide de scénarios appliqués à l'échelle d'un arrondissement du territoire d'étude.

CHAPITRE 8 ÉVALUATION DE SCÉNARIOS DE PARTAGE ALTERNATIF DE LA RUE

En plus de permettre l'évaluation du partage actuel des rues à l'échelle d'un territoire selon différents principes de justice distributive, la base de données constituée dans le cadre des présents travaux rend aussi possible l'évaluation de configurations alternatives de la voirie en vertu des mêmes principes. Le présent chapitre évalue l'effet d'une série de scénarios de partage alternatif des rues d'un arrondissement en vertu des principes de justice distributive présentés précédemment afin d'illustrer le potentiel de l'approche proposée pour appuyer la prise de décision en matière de réallocation de l'espace de voirie.

Trois scénarios de réallocation des rues de l'arrondissement de Ville-Marie, qui abrite le centre-ville de Montréal, sont proposés. Chacun de ces scénarios priorise l'amélioration des infrastructures dédiées à l'un des trois modes alternatifs à l'automobile traités dans la présente thèse, à savoir le transport collectif, le vélo et la marche. Le partage de la rue qui résulte de l'application de ces scénarios est ensuite évalué à l'aide des indicateurs synthèses de partage de la dimension de lien de la rue développés au chapitre précédent (voir tableau 7.3) afin de déterminer le scénario optimal selon différents principes de justice. L'effet de ces scénarios sur le partage de la rue est mesuré à l'échelle des tronçons de rues ainsi qu'à l'échelle des déplacements empruntant les rues de l'arrondissement en période de pointe du matin.

8.1 Scénarios de partage alternatif de la voirie

Trois scénarios distincts sont proposés dans le cadre du présent chapitre, chacun priorisant l'un des trois principaux modes alternatifs à l'automobile :

- Un scénario axé sur le transport collectif;
- Un scénario axé sur le vélo;
- Un scénario axé sur la marche.

Pour chaque scénario, une série de critères est développée afin de systématiser l'implantation de nouvelles infrastructures ou l'amélioration des infrastructures actuelles à l'échelle de l'ensemble de la zone d'application des scénarios. L'objectif de ces scénarios n'est pas d'offrir une proposition d'aménagement des rues ni même de représenter une intervention plausible sur le domaine public.

Il s'agit plutôt d'illustrer un scénario « plafond », c'est-à-dire de simuler une situation où les pouvoirs publics auraient systématiquement favorisé l'un des modes alternatifs à l'automobile dans l'aménagement des rues du centre-ville, et ce, sans égards à la faisabilité réelle de ces interventions dans le contexte actuel. Ces scénarios « plafond » permettent, d'une part, de prendre la mesure du potentiel de rééquilibrage des rues du centre-ville en en faveur des modes alternatifs à l'automobile et, d'autre part, d'illustrer le potentiel des indicateurs proposés dans la présente thèse pour effectuer le suivi d'interventions à l'échelle d'un territoire.

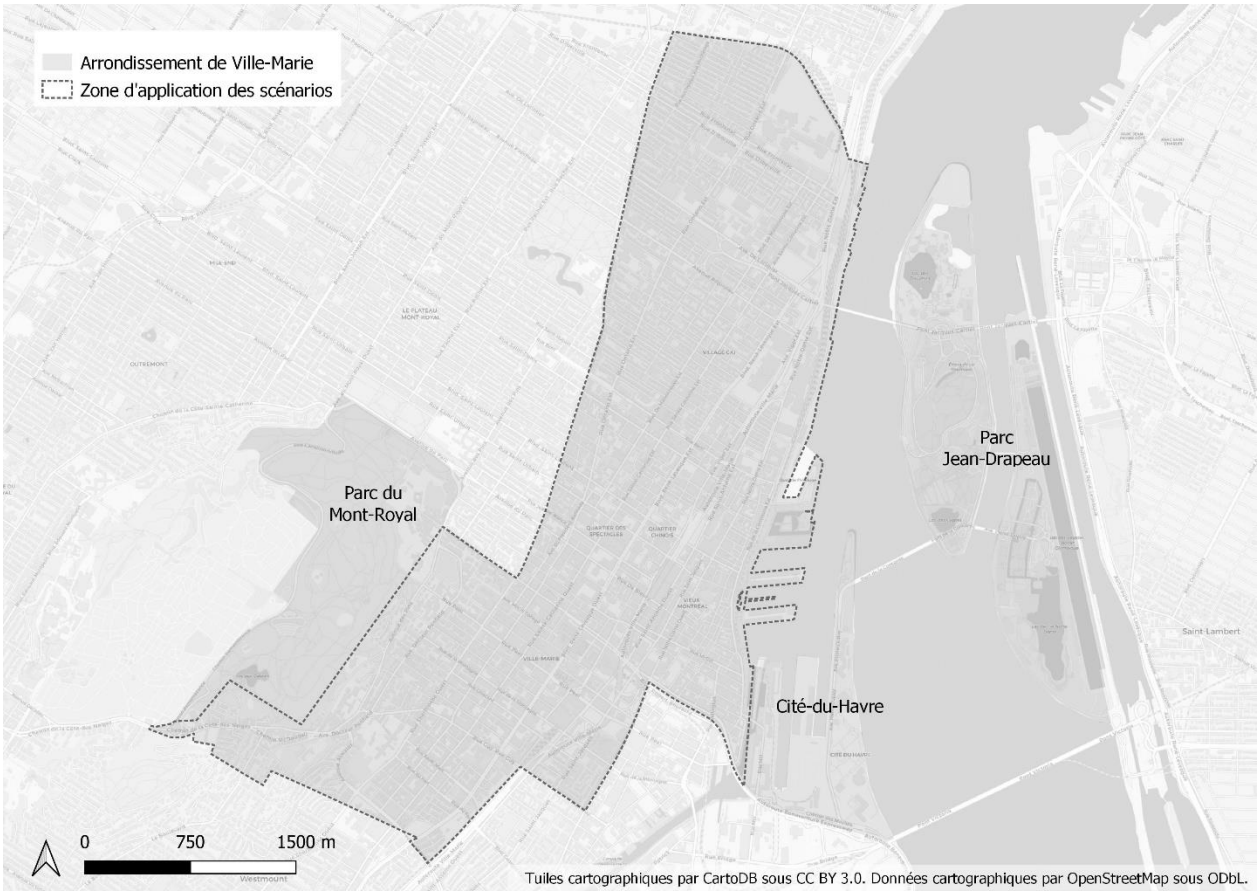


Figure 8.1 Zone d'application des scénarios de partage alternatif de la rue, arrondissement de Ville-Marie

Le territoire de l'arrondissement de Ville-Marie est retenu pour l'évaluation des scénarios en raison de la grande diversité de fonctions de la voirie qui s'y retrouvent. Les secteurs du parc du Mont-Royal, du parc Jean-Drapeau et de la Cité-du-Havre sont exclus de la zone d'application en raison de leurs caractéristiques particulières puisqu'il s'agit de secteurs qui ont peu de caractéristiques communes avec le reste de l'arrondissement. En effet, les rues de ces secteurs fonctionnent

davantage comme des corridors d'accès à de grands pôles récréotouristiques et ne sont pas bordées d'activités urbaines (logements, commerces, immeubles à bureaux, etc.) comme les autres rues de l'arrondissement. La comparaison avec le reste du territoire de Ville-Marie serait donc difficile dans un contexte d'évaluation des scénarios de partage alternatif de la voirie.

La zone d'application des scénarios est illustrée à la figure 8.1 et recouvre le centre-ville et les quartiers qui lui sont directement adjacents. Les scénarios sont élaborés pour la période de pointe du matin du 1er octobre 2018 afin de permettre l'utilisation des données de demande de l'Enquête OD 2013, qui représentent la demande pour une journée moyenne de semaine d'automne.

8.1.1 Scénario axé sur le transport collectif

Le scénario axé sur le transport collectif consiste en l'implantation d'une voie réservée sur chacun des tronçons du territoire d'étude où l'on retrouve actuellement un service de bus. Une voie réservée en direction sud, à savoir la direction des flux en période de pointe du matin, est ajoutée sur tous les axes d'orientation nord-sud, tandis qu'une voie réservée dans les deux directions est ajoutée sur les tronçons est-ouest. La figure 8.2 illustre la localisation des nouvelles voies réservées implantées dans le cadre de ce scénario. Des voies réservées sont implantées sur des tronçons de rues totalisant 54,77 km, ce qui s'ajoute aux 8,36 km existants, pour un total de 63,13 km linéaires de tronçons comptant des voies réservées au transport collectif en période de pointe du matin.

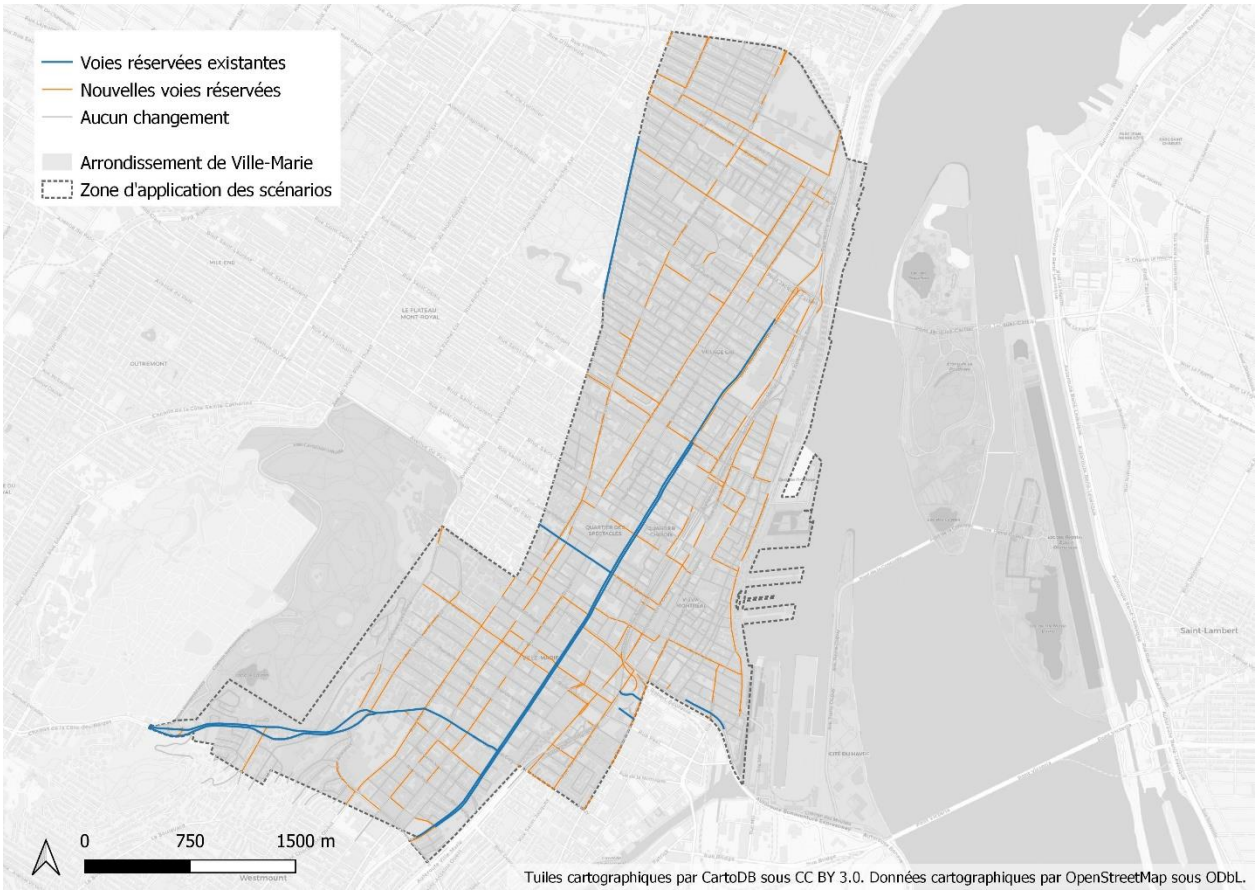


Figure 8.2 Tronçons de rues visés par le scénario axé sur le transport collectif

8.1.2 Scénario axé sur le vélo

Le scénario axé sur le vélo consiste en l'ajout d'une piste cyclable bidirectionnelle[68] sur chacun des axes de la zone d'application où l'on retrouve un tronçon de rue ne comptant aucune voie cyclable et n'atteignant pas le seuil de confort cyclable pour la circulation en voie partagée (se référer au tableau 3.6). En présence d'une voie réservée au transport collectif, le scénario suppose la mise en place d'interventions visant à sécuriser l'accès à la voie pour les cyclistes et à leur assurer

[68] Puisqu'il s'agit simplement d'un transfert d'espace vers la catégorie [C], cela peut correspondre, dans la majorité des cas, à l'ajout de deux pistes unidirectionnelles. La piste bidirectionnelle est choisie pour simplifier la codification des scénarios.

un niveau de confort minimal[69]. La figure 8.3 illustre la localisation des nouvelles voies cyclables implantées dans le cadre de ce scénario. Des voies cyclables sont ajoutées sur un total de 38,21 km, ce qui s'ajoute aux 11,75 km existants comptant des voies cyclables et aux 8,36 km de voies réservées, pour un total de 58,32 km de tronçons de rues comptant des voies cyclables ou des voies réservées ouvertes aux cyclistes à l'intérieur de la zone d'application des scénarios.

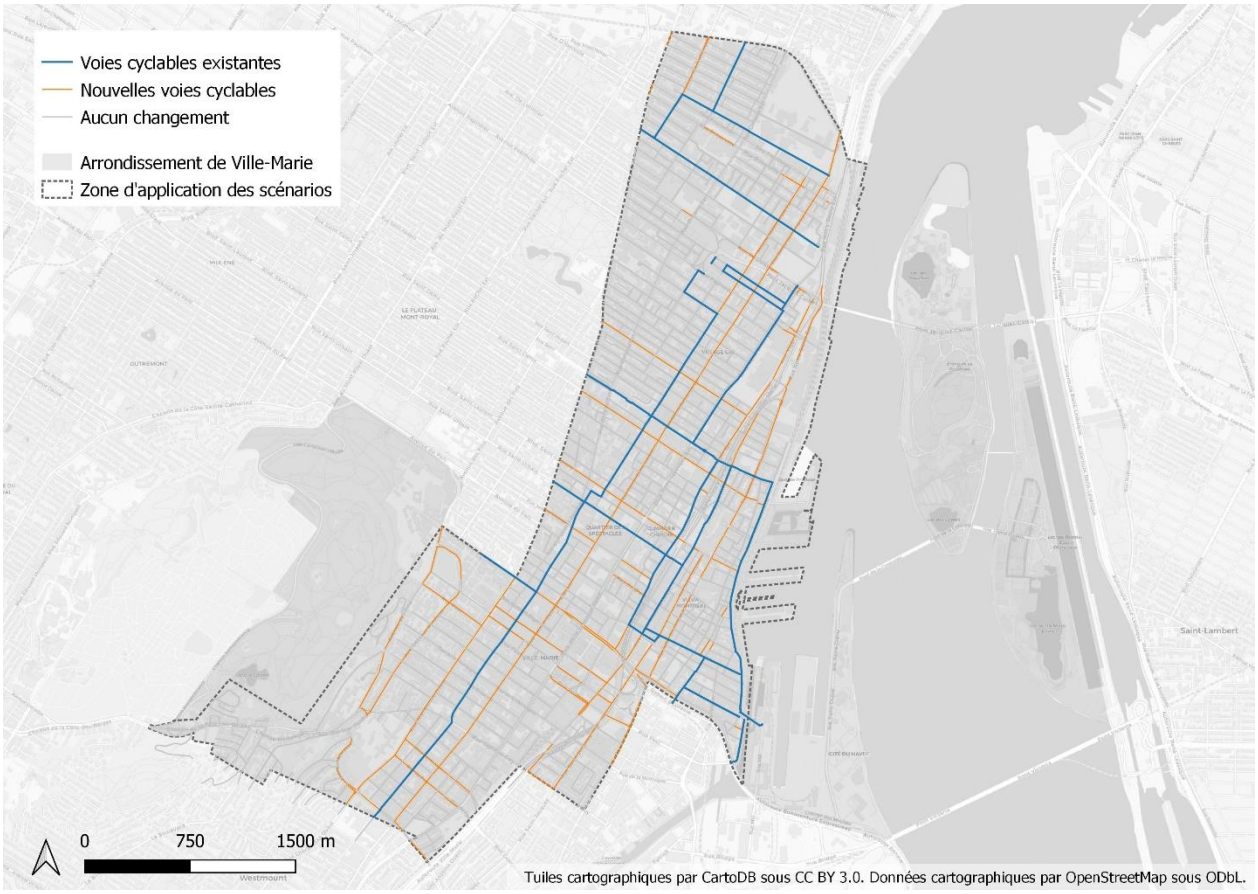


Figure 8.3 Tronçons de rues visés par le scénario axé sur le vélo

8.1.3 Scénario axé sur la marche

Le scénario axé sur la marche consiste en l'élargissement systématique des trottoirs sur les rues des réseaux artériel et collecteur. Sur chacun des tronçons visés, la largeur des voies de circulation

[69] Afin de simplifier les calculs, la dimension et la capacité des voies réservées ainsi traitées n'est pas revue à la baisse. La capacité d'une zone partagée entre véhicules et cyclistes (voir tableau 6.2) est ajoutée à celle de la voie réservée.

automobile est réduite à 3,25 mètres[70] et l'espace ainsi récupéré est alloué à l'élargissement des trottoirs. En l'absence d'un trottoir, l'espace retranché aux voies de circulation est converti en trottoir. La figure 8.3 illustre les tronçons de rues sur lesquels un trottoir est ajouté ou élargi dans le cadre de ce scénario, pour un total de 66,44 km linéaires.

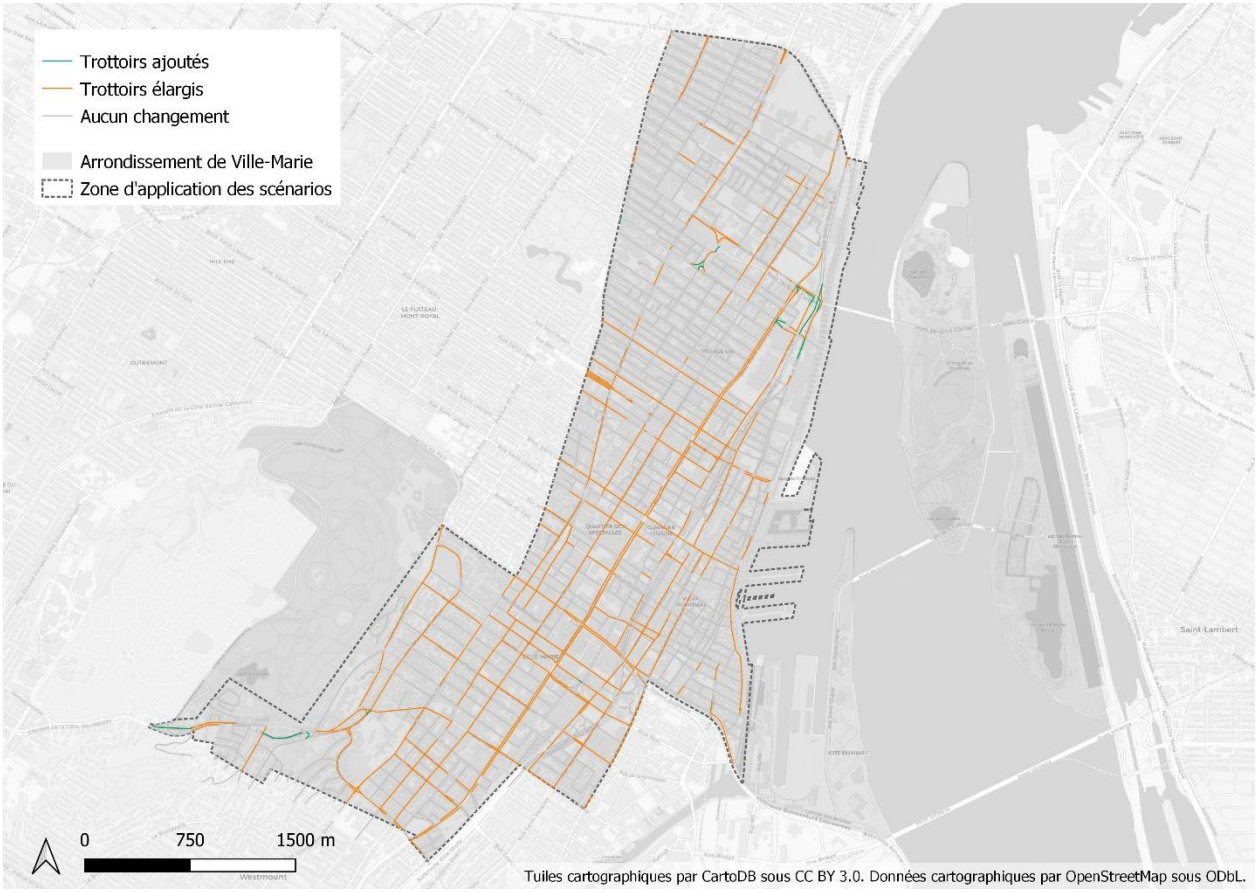
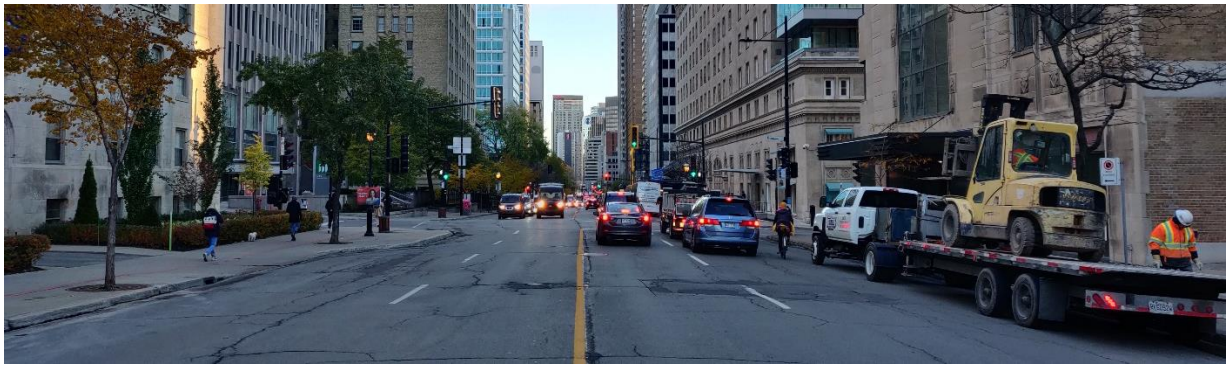


Figure 8.4 Tronçons de rues visés par le scénario axé sur la marche

[70] Cette valeur a été appliquée de manière uniforme à tous les axes afin de simplifier les calculs. Il est admis que cette largeur peut être insuffisante pour certains véhicules (poids lourds, véhicules d'urgence, etc.) et il s'agit d'une limite de la présente démarche. Il est important de garder en tête que ces scénarios ne sont pas des propositions d'aménagement mais bien des mises en situation visant principalement à démontrer le potentiel des indicateurs proposés.

8.2 Effet des scénarios sur le partage de la rue à l'échelle des tronçons de rues

Pour chacun des scénarios, les indicateurs synthèses proposés au chapitre 7 sont appliqués à l'allocation résultante de la voirie et la différence avec le scénario de référence, c'est-à-dire le partage de la rue tel que mesuré au chapitre 7, est calculée pour chaque tronçon. La présente section décrit l'ampleur de la variation dans les différents indicateurs de partage de la rue en fonction des scénarios évalués. Un exemple de l'effet de chaque scénario par rapport à la situation de référence est illustré à l'aide d'un tronçon de la rue Sherbrooke Ouest, dont les caractéristiques sont présentées à la figure 8.5. Ce tronçon a été choisi puisque le scénario de réallocation considéré comme étant le plus équitable y change selon le principe de justice appliqué (voir section 8.2.4) et qu'il offre donc une illustration intéressante de la complexité de la notion d'évaluation du partage de la rue. Le tronçon est bordé par des commerces de détail du côté sud et par un complexe résidentiel haut de gamme et un pavillon du Musée des Beaux-Arts de Montréal du côté nord. Il s'agit donc d'une rue qui attire une grande diversité d'usagers à pied, autant des touristes que des résidents aisés, mais aussi une grande quantité de déplacements de transit depuis et vers le centre-ville des affaires.



Score suffisantiste exclusif	Score suffisantiste partagé	Score utilitariste	Score égalitariste observé	Score égalitariste potentiel
3	4	36,92	57,59	30,77

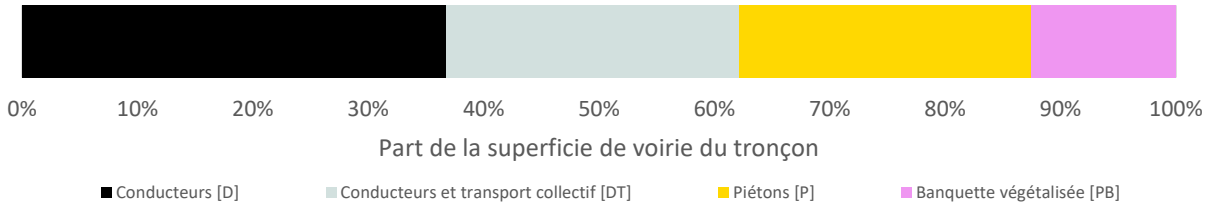


Figure 8.5 Rue Sherbrooke Ouest entre les rues de la Montagne et Crescent, arrondissement de Ville-Marie, scénario de référence, 1er octobre 2018, période de pointe du matin

Sur ce tronçon, on compte trois usages disposant d'une surface leur étant allouée exclusivement ou en priorité : des voies de circulation automobile (dont deux voies qui accueillent du stationnement en période hors-pointe), un arrêt d'autobus et des trottoirs. Le tronçon obtient ainsi un score de 3 pour l'indice suffisantiste dans sa formulation exclusive. Les autobus ont également accès aux voies de circulation de manière partagée avec la circulation automobile. Les cyclistes, pour leur part, ne sont pas considérés comme ayant accès au tronçon de manière partagée avec les automobilistes puisque le seuil de confort cyclable n'est pas atteint. On ne compte pas non plus de supports à vélo ou de stations BIXI dans la base de données. Le score de l'indice suffisantiste dans sa formulation partagée est donc de 4. La capacité totale théorique des voies en période de pointe du matin est de 17 770 passagers par heure, tous modes confondus, ce qui correspond à 36,92 % de la capacité maximale théorique – c'est-à-dire la capacité du tronçon s'il était à 100 % consacré à la circulation piétonne.

En évaluant le partage du tronçon en période de pointe du matin dans une perspective égalitariste, on compte 57,59 % de la superficie de voirie qui est allouée proportionnellement à la demande observée et 30,77 % proportionnellement à la demande potentielle. La part de l'espace consacré à l'automobile y est supérieure de 42,42 points de pourcentage (p.p.) à la part de la demande observée représentée par l'automobile, et de 67,00 p.p. par rapport à la part de ce mode dans la demande potentielle. Aucun espace n'est alloué exclusivement au transport collectif, mais la demande y est relativement faible pour ce mode (11,62 % des PHP observés et 4,45 % des PHP potentiels)[71], ce qui résulte en un écart offre-demande relativement faible à la fois pour le profil de demande observée (-11,63 p.p.) et potentielle[72] (-4,45 p.p.). Puisqu'on n'y compte aucune superficie allouée aux cyclistes mais que ceux-ci constituent une part importante de la demande, particulièrement dans le profil de demande potentielle, il s'agit du mode caractérisé par les écarts offre-demande les plus importants (-18,91 % pour la demande observée et -64,77 % pour la demande potentielle). La part de l'espace consacré aux piétons est sous-représentée (-11,87 p.p.) par rapport à la part des PHP observés constituée de piétons, mais elle est légèrement surreprésentée (+2,22 p.p.) par rapport à la demande piétonne potentielle. En d'autres mots, le profil de demande potentiel concentre davantage de déplacements à vélo dans le corridor de la rue Sherbrooke, ce qui vient réduire la part des déplacements à pied et en transport collectif dans le total des PHP qui l'empruntent, tandis que l'écart entre l'offre et la demande cycliste s'en voit agrandi.

Il s'agit donc d'un tronçon où la chaussée est entièrement dédiée à l'automobile et n'offre aucun accès exclusif aux autres usages, ce qui limite sa capacité théorique. On y observe une forte demande cycliste et piétonne selon l'Enquête OD 2013, en plus d'une forte demande cycliste potentielle.

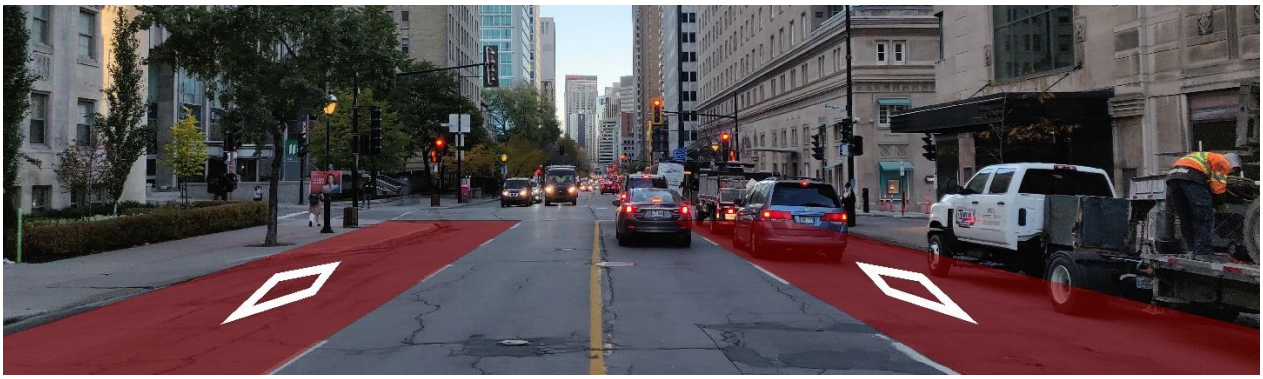
---

[71] Cela est vraisemblablement dû à la présence parallèle de la ligne verte du métro, qui concentre une grande partie des déplacements est-ouest en transport collectif dans le secteur.

[72] Il est à noter que le profil de demande potentielle, tel que discuté à la section 3.3.2.2, est construit à partir de l'offre actuelle de transport collectif. Toutefois, il est permis de penser qu'en doublant la fréquentation du transport collectif, tel que supposé par ce profil, le nombre, le parcours et la fréquence des lignes se verraient modifiés. Ces interventions, qui ne relèvent pas du partage de la voirie, pourraient modifier le parcours des usagers et, conséquemment, les constats sur l'équilibre offre-demande sur une rue donnée. Les constats présentés dans cette section sont donc limités par cet emploi de l'offre de service actuelle du transport collectif.

8.2.1 Scénario axé sur le transport collectif

La figure 8.6 illustre l'effet la mise en œuvre du scénario axé sur le transport collectif dans le cas du tronçon de la rue Sherbrooke Ouest. On y note l'apparition de deux voies réservées aux transport collectif en remplacement des voies de rive consacrées à la circulation automobile. Cela a pour effet d'augmenter la valeur de l'indicateur suffisantiste de 3 à 4 dans sa formulation exclusive, puisqu'on y retrouve maintenant une surface allouée exclusivement au transport collectif. Toutefois, puisque les autobus ont déjà accès aux voies de circulation automobile et que les interventions n'offrent un accès à aucun nouvel usage, la valeur de l'indicateur suffisantiste dans sa formulation partagée reste constante.



Scénario	Score suffisantiste exclusif	Score suffisantiste partagé	Score utilitariste	Score égalitariste observé	Score égalitariste potentiel
Référence	3	4	36,92	57,59	30,77
TC	4	4	39,00	69,22	35,23

Figure 8.6 Rue Sherbrooke Ouest entre les rues de la Montagne et Crescent, arrondissement de Ville-Marie, scénario axé sur le transport collectif

L'ajout de voies réservées en remplacement des voies de circulation automobile partagées avec les autobus a pour effet d'augmenter la capacité théorique du tronçon de 1 000 passagers-kilomètres par heure, ce qui constitue une augmentation de 5,6 % de sa capacité, qui atteint maintenant 39,00 % de la capacité maximale théorique.

D'un point de vue égalitariste, l'équité du partage de la voirie du tronçon étudié se voit améliorée par les interventions mises en place dans le cadre du scénario axé sur le transport collectif, et ce, surtout dans le cas du profil de demande observée. En effet, l'écart entre offre et demande pour l'automobile passe de +42,42 p.p. à +29,56 p.p. pour le profil de demande potentielle et de

+67,00 p.p. à +54,14 p.p. pour la demande potentielle, ce qui indique que l'espace de voirie est toujours disproportionnément alloué à l'automobile, mais dans une moindre mesure que dans la situation actuelle. Toutefois, la réallocation d'espace automobile aux usagers du transport collectif ne résout pas le déséquilibre avec la demande potentielle puisque c'est la demande cycliste qui constitue la majorité des PHP potentiels. Cela explique que l'indicateur égalitariste synthèse augmente moins dans le cas de la demande potentielle (+4,45) que dans le cas de la demande observée (+11,63).

La figure 8.7 illustre l'effet de l'ajout de voies réservées sur la valeur des cinq indicateurs de partage de la rue à travers l'ensemble des rues de la zone d'application des scénarios. Il est possible de constater que si ce scénario résulte en un partage de la rue plus équitable d'un point de vue suffisantiste pour un quart des kilomètres linéaires lorsque l'on considère seulement les surfaces exclusivement allouées au transport collectif, on n'observe toutefois aucune amélioration lorsque l'on considère plutôt la formulation partagée de l'indicateur. En d'autres mots, l'ajout d'une voie réservée offre un nouvel accès exclusif aux usagers du transport collectif [T], mais, puisque les voies de circulation peuvent déjà être empruntées par les autobus [DT], l'ajout d'une voie réservée n'offre pas un accès supplémentaire lorsque l'on tient compte des surfaces partagées entre les différents modes. D'un point de vue utilitariste, l'ajout de voies réservées, de manière intuitive, améliore systématiquement la capacité des tronçons sur lesquels elles sont implantées. Ainsi, on note des augmentations allant jusqu'à 10 points de pourcentage de l'indicateur utilitariste, qui représente la part de la capacité maximale théorique en passagers par heure atteinte par un tronçon donné.

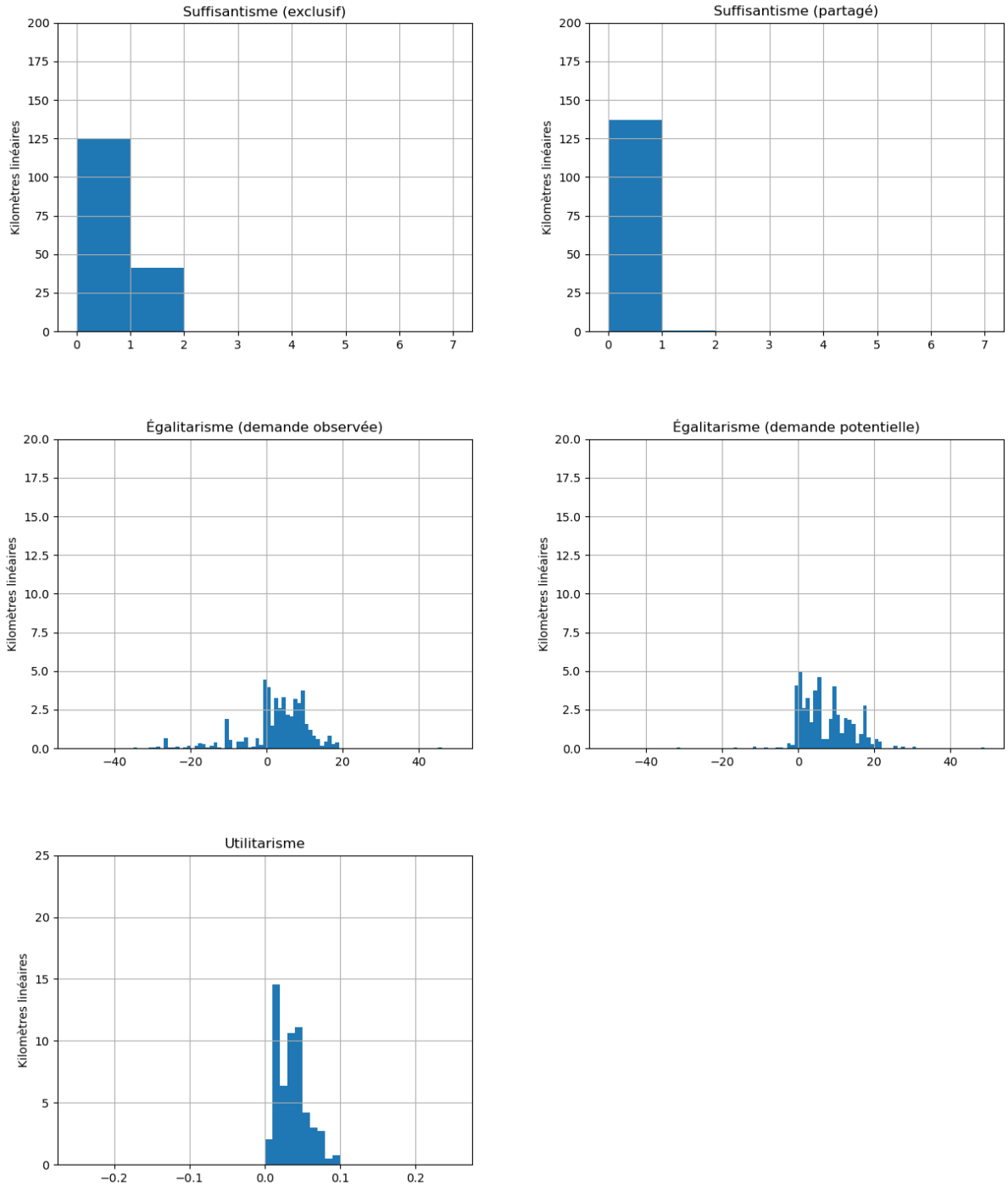
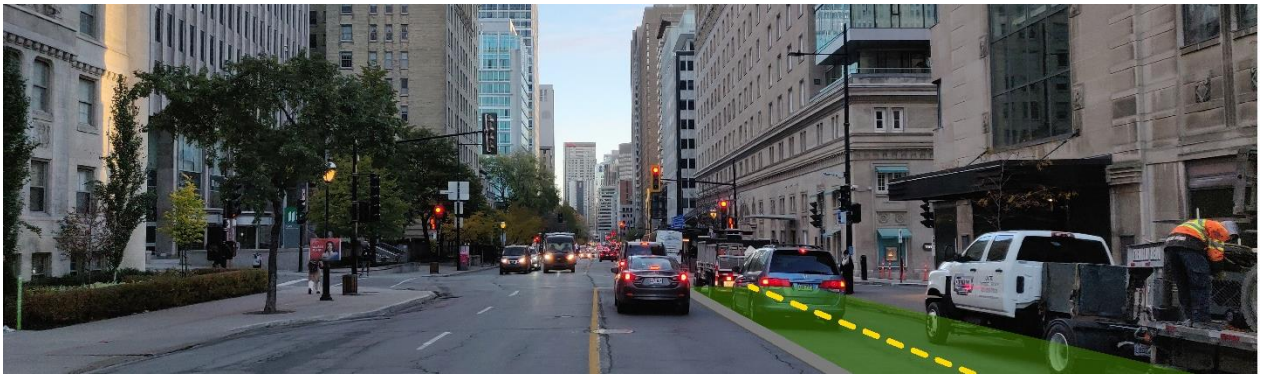


Figure 8.7 Distribution des kilomètres linéaires de voirie en fonction de la variation des indicateurs synthèses de partage de la rue par rapport au scénario de référence, scénario axé sur le transport collectif, période de pointe du matin, 1er octobre 2018

Dans la très grande majorité des cas, l'ajout d'une voie réservée dans la direction de la pointe sur un axe du centre-ville contribue à rétablir l'équilibre entre l'offre et la demande en transport, et ce, que l'on considère le profil de demande observée ou potentielle. En effet, l'indicateur égalitariste augmente dans les deux cas pour la quasi-totalité des kilomètres linéaires, quoique l'augmentation est plus marquée dans le cas de la demande potentielle puisqu'une plus grande part de la demande potentielle est constituée de déplacements en transport collectif. Les exceptions notables sont les axes Papineau, De Lorimier et Notre-Dame Est ainsi que l'autoroute Ville-Marie (route 136), où l'ajout de voies réservées a un effet à la baisse sur l'indicateur égalitariste basé sur la demande observée. En effet, la forte demande automobile observée sur ces axes, qui canalisent les importants flots de circulation automobile provenant du pont Jacques-Cartier et de l'est de la région en période de pointe du matin, fait en sorte que l'espace accordé à l'automobile se retrouve sous-représenté par rapport à la part de la demande automobile, ce qui tire l'indicateur synthèse à la baisse.

8.2.2 Scénario axé sur le vélo

La figure 8.8 illustre l'effet la mise en œuvre du scénario axé sur le vélo dans le cas du tronçon de la rue Sherbrooke Ouest. On y note l'apparition d'une piste cyclable bidirectionnelle en remplacement de l'une des voies de rive consacrées à la circulation automobile. Cela a pour effet d'augmenter la valeur de l'indicateur suffisantiste de 3 à 4 dans sa formulation exclusive, puisqu'on y retrouve nouvellement une surface allouée exclusivement au vélo. Puisque ce tronçon n'atteint pas actuellement le seuil de confort cyclable, les cyclistes sont considérés comme n'ayant pas accès au tronçon de manière confortable et sécuritaire dans le scénario de référence. L'ajout d'une voie cyclable protégée permet donc d'augmenter la valeur de l'indicateur suffisantiste dans sa formulation partagée à 5. Le remplacement d'une voie de circulation automobile par une voie cyclable bidirectionnelle a pour effet d'augmenter la capacité théorique du tronçon de 300 passagers-kilomètres par heure, ce qui constitue une augmentation de 1,63 % de sa capacité. Celle-ci atteint maintenant 37,52 % de la capacité maximale théorique. En outre, il s'agit du seul scénario qui permet d'éviter la baisse de la capacité cyclable observée en période de pointe (voir la figure 6.10 à la section 6.3.1.2) dans la mesure où une intervention visant à accueillir les cyclistes dans les voies de manière sécuritaire et confortable pour ces derniers est supposée.



Scénario	Score suffisantiste exclusif	Score suffisantiste partagé	Score utilitariste	Score égalitariste observé	Score égalitariste potentiel
Référence	3	4	36,92	57,59	30,77
Vélo	4	5	37,52	69,51	42,70

Figure 8.8 Rue Sherbrooke Ouest entre les rues de la Montagne et Crescent, arrondissement de Ville-Marie, scénario axé sur le vélo

D'un point de vue égalitariste, l'équité du partage de la voirie du tronçon étudié se voit améliorée par les interventions mises en place dans le cadre du scénario axé sur le vélo, et ce, pour les deux profils de demande. En effet, l'écart entre offre et demande pour l'automobile passe de +42,42 p.p. à +30,49 p.p. pour le profil de demande potentielle et de +67,00 p.p. à +55,07 p.p. pour la demande potentielle, ce qui indique que l'espace de voirie est toujours disproportionnément alloué à l'automobile, mais dans une moindre mesure que dans la situation actuelle. L'indicateur égalitariste augmente pour les deux profils de demande (+11,93), ce qui témoigne de l'impact positif de ce scénario sur l'équité du partage de la voirie pour ce tronçon.

La figure 8.9 illustre l'effet de l'ajout de voies cyclables bidirectionnelles sur la valeur des cinq indicateurs de partage de la rue à travers l'ensemble des rues de la zone d'application des scénarios. Il est possible de constater une amélioration du partage de la rue d'un point de vue suffisantiste pour 20,42 % des kilomètres linéaires lorsque l'on considère seulement les surfaces exclusivement allouées aux cyclistes et de 13,83 % des kilomètres linéaires lorsque l'on considère plutôt la formulation partagée de l'indicateur. En d'autres mots, l'ajout d'une voie cyclable offre un nouvel accès exclusif aux usagers du vélo [C] sur plusieurs tronçons, mais, puisque les voies de circulation sur certains de ces tronçons peuvent déjà être empruntées par les cyclistes lorsqu'ils satisfont les critères de confort cyclable [CD], l'ajout d'une voie cyclable n'offre pas un accès supplémentaire sur ces derniers lorsque l'on tient compte des surfaces partagées entre les différents modes. D'un

point de vue utilitariste, l'ajout d'une voie cyclable améliore généralement la capacité d'un tronçon. Ainsi, on note des augmentations allant jusqu'à 8 points de pourcentage de l'indicateur utilitariste dans la zone d'application du scénario.

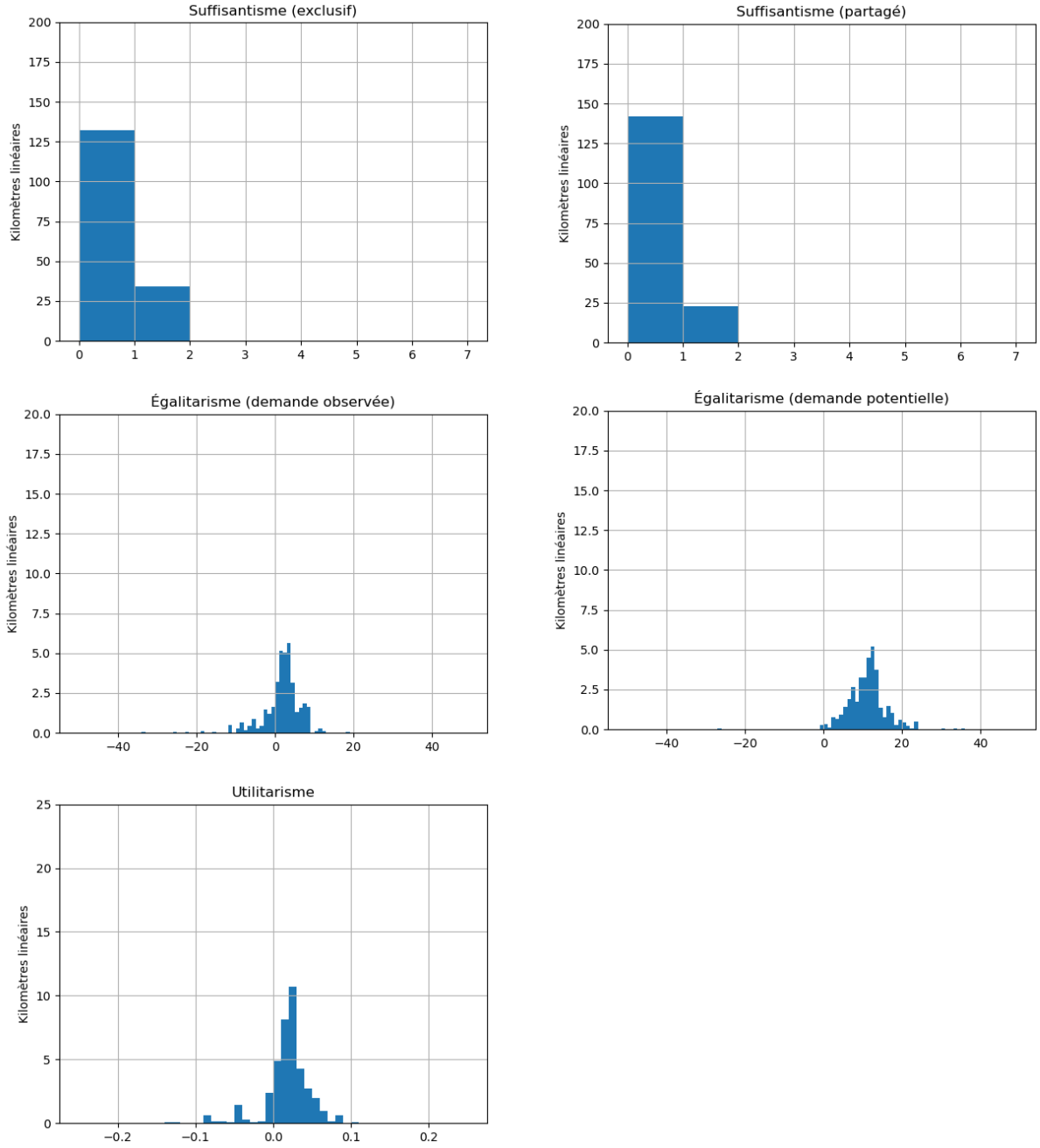


Figure 8.9 Distribution des kilomètres linéaires de voirie en fonction de la variation des indicateurs synthèses de partage de la rue par rapport au scénario de référence, scénario axé sur le vélo, période de pointe du matin, 1er octobre 2018

L'ajout systématique de voies cyclables protégées sur les axes du centre-ville n'offrant pas un accès confortable aux cyclistes a un effet différent d'un point de vue égalitariste selon que l'on compare l'offre de voirie à la demande cycliste observée ou potentielle. En effet, en comparant la figure 8.9 avec la figure 8.7, on constate que le scénario axé sur le vélo résulte en des augmentations moins importantes de l'indice égalitariste basé sur la demande observée que le scénario axé sur le transport collectif, tandis que le phénomène inverse se produit lorsque l'on emploie l'indicateur basé sur la demande potentielle. Cela s'explique par l'écart important entre les deux profils en termes de demande cycliste : on retrouve relativement peu de déplacements cyclistes dans le profil de demande observée[73], tandis que plusieurs déplacements sont transférés au vélo dans le profil de demande potentielle (voir figure 3.30 à la section 3.3.2.2). Ainsi, une intervention qui priorise la demande cycliste a un effet plus limité sur le rééquilibrage de l'écart entre offre et demande lorsque l'on ne considère que la demande observée, mais permet d'atteindre une situation plus équitable lorsque l'on considère tous les déplacements qui pourraient être effectués à vélo si, entre autres facteurs, l'allocation de la voirie le permettait.

8.2.3 Scénario axé sur la marche

Le tableau 8.1 détaille l'effet la mise en œuvre du scénario axé sur la marche dans le cas du tronçon de la rue Sherbrooke Ouest. L'élargissement des trottoirs y est minime (moins d'un mètre au total) puisque la largeur des voies automobiles est déjà minimale (environ 3,4 mètres). Puisqu'aucune surface ne change de fonction, on n'observe aucune variation des indicateurs suffisantistes. L'élargissement des trottoirs, tout minime qu'il soit, a pour effet d'augmenter la capacité théorique du tronçon de 127 passagers-kilomètres par heure, ce qui constitue une augmentation de 0,71 % de sa capacité. Celle-ci atteint maintenant 37,18 % de la capacité maximale théorique. D'un point de vue égalitariste, on note une très faible augmentation des indicateurs (de 57,59 à 57,88) pour la demande observée, ce qui indique que l'opération d'élargissement, toute minime qu'elle soit, conduit à un léger rééquilibrage de l'espace par rapport à la demande piétonne actuelle. L'indice reste toutefois stable pour le profil de demande potentielle (30,77). Cela s'explique par le fait que

[73] Il est à noter que les déplacements actifs, dont les déplacements cyclistes, sont généralement sous-représentés dans les enquêtes Origine-Destination, notamment à cause de la période d'enquête qui s'étend de septembre à décembre.

l'espace piéton se retrouve déjà surreprésenté (quoique légèrement) par rapport à la demande piétonne (+2,23 p.p.), tout comme l'espace consacré à l'automobile (+67,00 p.p.). Le transfert d'espace d'un mode surreprésenté à un autre ne conduit donc pas à une augmentation de l'équité du partage de la rue dans l'application de cet indicateur.

Tableau 8.1 Rue Sherbrooke Ouest entre les rues de la Montagne et Crescent, arrondissement de Ville-Marie, scénario axé sur la marche

Scénario	**Score suffisantiste exclusif**	**Score suffisantiste partagé**	**Score utilitariste**	**Score égalitariste observé**	**Score égalitariste potentiel**
Référence	3	4	36,92	57,59	30,77
Marche	3	4	37,18	57,88	30,77

La figure 8.10 illustre l'effet de l'élargissement systématique des trottoirs des rues collectrices et artérielles sur la valeur des cinq indicateurs de partage de la rue à travers la zone d'application des scénarios. Il est possible de constater une amélioration du partage de la rue d'un point de vue suffisantiste pour 0,84 % des kilomètres linéaires lorsque l'on considère seulement les surfaces exclusivement allouées aux piétons, tandis que le scénario n'a aucun effet lorsqu'on considère les surfaces partagées. Cela est dû à la nature même des interventions : l'élargissement d'un trottoir n'amène pas l'ouverture du tronçon à un nouveau mode. Les rares occurrences où l'indicateur augmente dans sa formulation exclusive se produisent sur les tronçons qui sont dépourvus d'un trottoir à la base et où l'application du scénario résulte en l'ajout d'une surface réservée aux piétons [P]. Puisque ces segments sont pour la plupart déjà accessibles d'une manière partagée avec la circulation automobile selon les critères de confort [PCD], l'effet est quasiment nul sur la formulation partagée de l'indicateur.

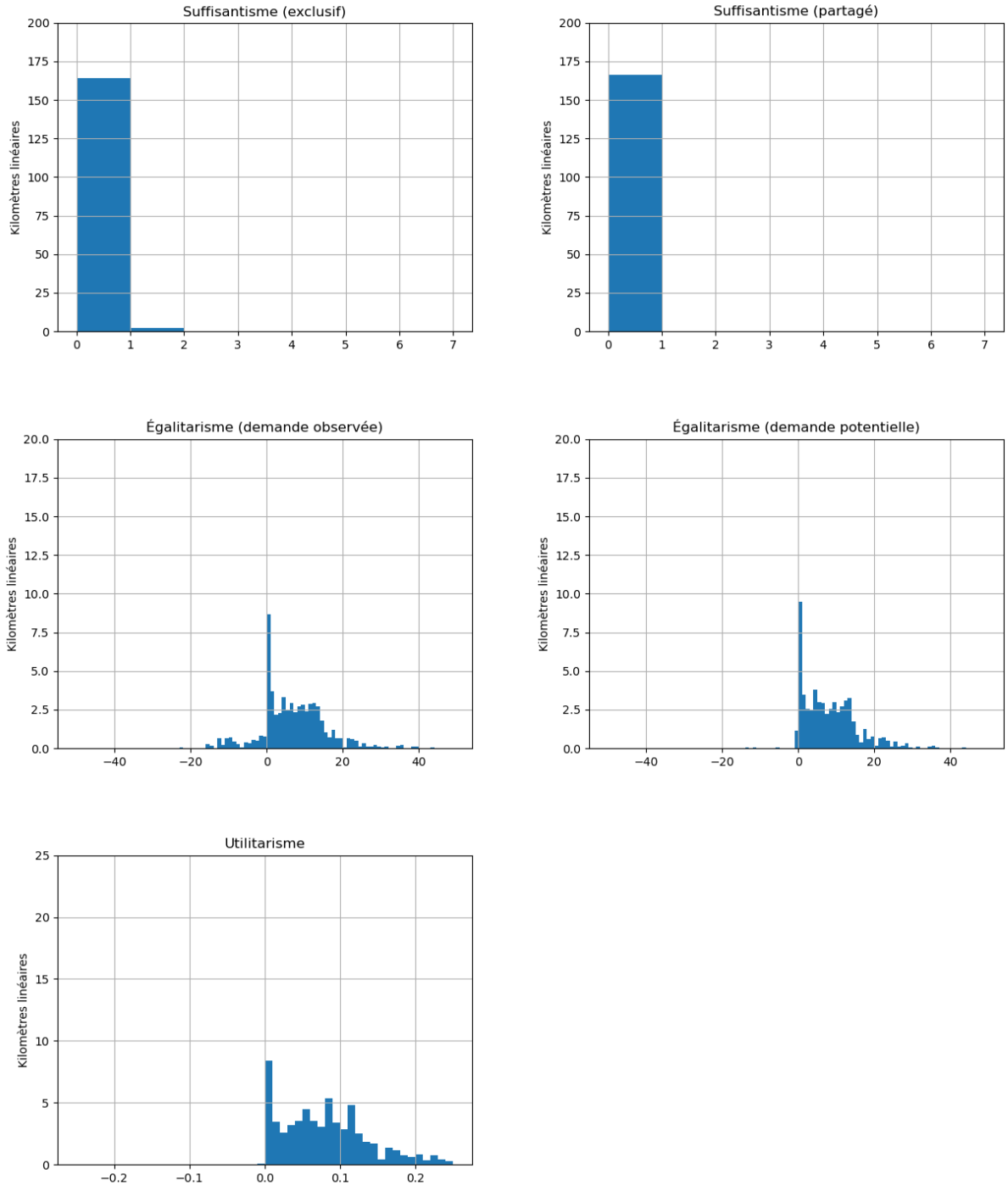


Figure 8.10 Distribution des kilomètres linéaires de voirie en fonction de la variation des indicateurs synthèses de partage de la rue par rapport au scénario de référence, scénario axé sur la marche, période de pointe du matin, 1er octobre 2018

D'un point de vue utilitariste, en revanche, l'effet du scénario est notable. En effet, l'élargissement systématique des trottoirs améliore de manière importante la capacité des tronçons puisqu'il s'agit du type de surface de voirie qui possède la plus grande capacité théorique (voir tableau 6.2). Ainsi, on note des augmentations dépassant 25 points de pourcentage de l'indicateur utilitariste dans la zone d'application du scénario. Parmi les trois scénarios, il s'agit de celui qui produit l'effet le plus important sur la capacité totale théorique des rues visées.

L'élargissement systématique des trottoirs sur les axes du centre-ville a un effet relativement similaire d'un point de vue égalitariste selon que l'on compare l'offre de voirie à la demande piétonne observée ou potentielle. En effet, la part de la demande piétonne varie peu entre les deux profils, tel qu'illustré à la figure 3.30. Globalement, le scénario axé sur la marche permet de rééquilibrer le partage de la rue sur la majorité des tronçons touchés, avec une augmentation moyenne respective de 3,16 p.p. et 3,54 p.p. pour les profils de demande observée et potentielle. On remarque surtout la disparition des valeurs négatives dans le cas de l'indicateur basé sur la demande potentielle, ce qui suggère que même les axes où la demande automobile est fortement représentée à l'heure actuelle détiennent un potentiel piéton suffisamment important pour justifier des interventions de ce type.

8.2.4 Scénario recommandé par tronçon selon les différents principes de justice

L'effet de chaque scénario sur le partage d'un tronçon dépend du principe de justice qui est employé pour évaluer la situation ainsi que des caractéristiques du tronçon, tel que démontré à la section précédente. En effet, une même intervention – l'ajout d'une voie réservée, par exemple – peut rééquilibrer l'offre d'un tronçon par rapport à la demande, tandis que l'ajout d'une voie cyclable sur le même tronçon offre plutôt un accès à de nouveaux usagers, alors que l'élargissement des trottoirs peut pour sa part offrir la plus grande augmentation de la capacité du tronçon. De plus, chaque tronçon possède ses caractéristiques propres en termes d'offre et de demande, ce qui implique que l'intervention qui maximise un indicateur donné sur un tronçon n'aura pas le même effet sur un autre tronçon dont la configuration de l'offre ou le profil de la demande sont différents. Afin d'illustrer ce phénomène, une comparaison des trois scénarios est effectuée afin de déterminer le scénario qui maximise chacun des cinq indicateurs de partage de la rue appliqués précédemment, et ce, pour chaque tronçon de rue du centre-ville.

La figure 8.11 permet de constater que le scénario axé sur le transport collectif est celui qui permet de maximiser l'indicateur suffisantiste exclusif pour le plus grand nombre de kilomètres linéaires au centre-ville. Dans 21,04 % des cas, l'effet du scénario axé sur le transport collectif est le même que celui du scénario axé sur le vélo, tandis que ce dernier obtient les meilleurs résultats dans 20,59 % des cas. En effet, dans le cas des indicateurs suffisantistes, deux scénarios peuvent produire un même score en offrant chacun un accès supplémentaire (exclusif ou partagé) à un mode différent. Le scénario axé sur la marche, quant à lui, est priorisé dans 16,80 % des cas et à égalité avec au moins l'un des autres scénarios dans 10,92 % des cas.

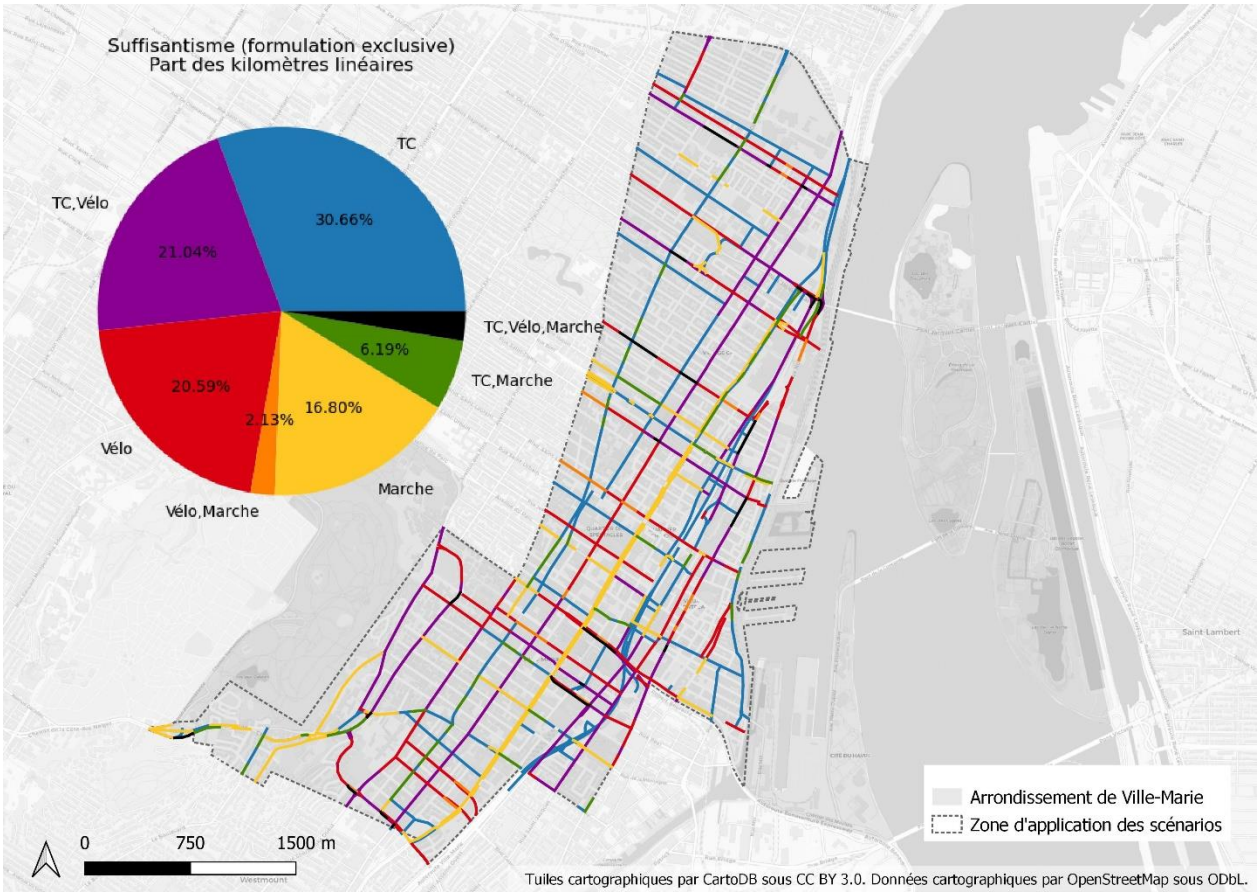


Figure 8.11 Scénario optimal selon l'indicateur suffisantiste (formulation exclusive)

D'un point de vue suffisantiste tenant compte seulement des accès exclusifs, il serait donc justifié d'implanter une voie cyclable bidirectionnelle sur les rues Sherbrooke Ouest et Sainte-Catherine, d'aménager des voies réservées pour le transport collectif sur le boulevard De Maisonneuve et d'élargir les trottoirs sur le boulevard René-Lévesque, par exemple. En ce qui concerne les axes

nord-sud, l'aménagement de voies cyclables semble à prioriser dans la plupart des cas afin d'offrir un accès exclusif à un mode supplémentaire.

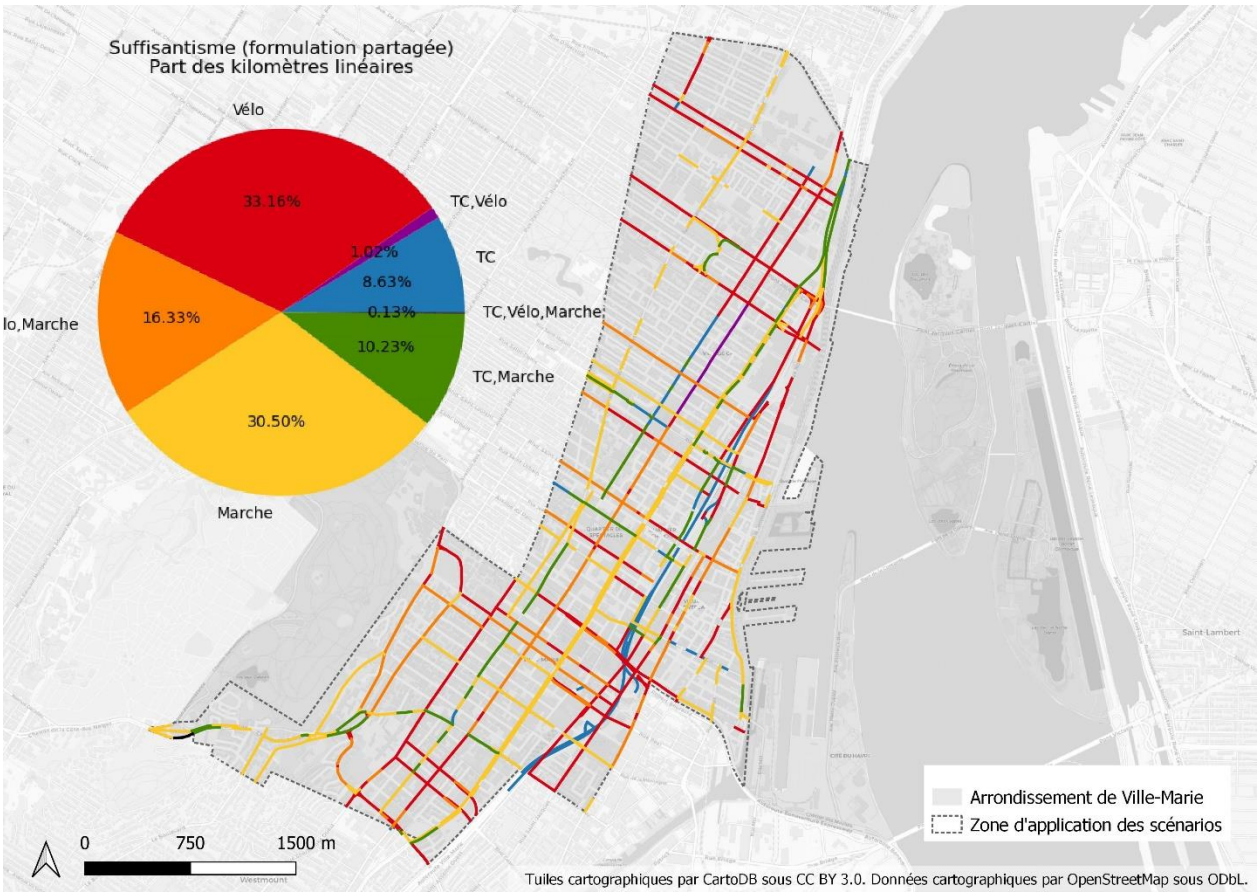


Figure 8.12 Scénario optimal selon l'indicateur suffisantiste (formulation partagée)

Lorsque l'on intègre les accès partagés à la voirie à la perspective suffisantiste, le scénario axé sur la marche se classe parmi les plus efficaces dans plus de 50 % des cas, tel qu'illustré à la figure 8.12. Cela est dû à la nature des scénarios axés sur le transport collectif et sur le vélo, où des voies de stationnement sont retirées pour faire place aux voies réservées ou cyclables. Cela a pour effet de retirer un usage, le stationnement automobile, ce qui fait baisser le score, tandis que l'ajout d'une voie réservée au transport collectif ou aux cyclistes sur une rue à laquelle ces modes ont déjà accès ne contribue pas à augmenter le score. Ainsi, les seuls tronçons où l'ajout d'une voie réservée maximise cet indicateur sont ceux où la voie est implantée en remplacement d'une voie de circulation, ce qui ne contribue pas à réduire le nombre d'usages ayant accès au tronçon, tandis que les tronçons où l'implantation d'une piste cyclable est recommandée sont ceux auxquels les cyclistes ne sont pas considérés comme ayant accès en période de pointe selon les critères de

confort cyclable. C'est d'ailleurs pourquoi l'implantation d'une piste cyclable bidirectionnelle est l'intervention qui offre le partage le plus équitable d'un point de vue suffisantiste en tenant compte de l'accès partagé aux surfaces dans le cas de la rue Sherbrooke Ouest illustré plus tôt.

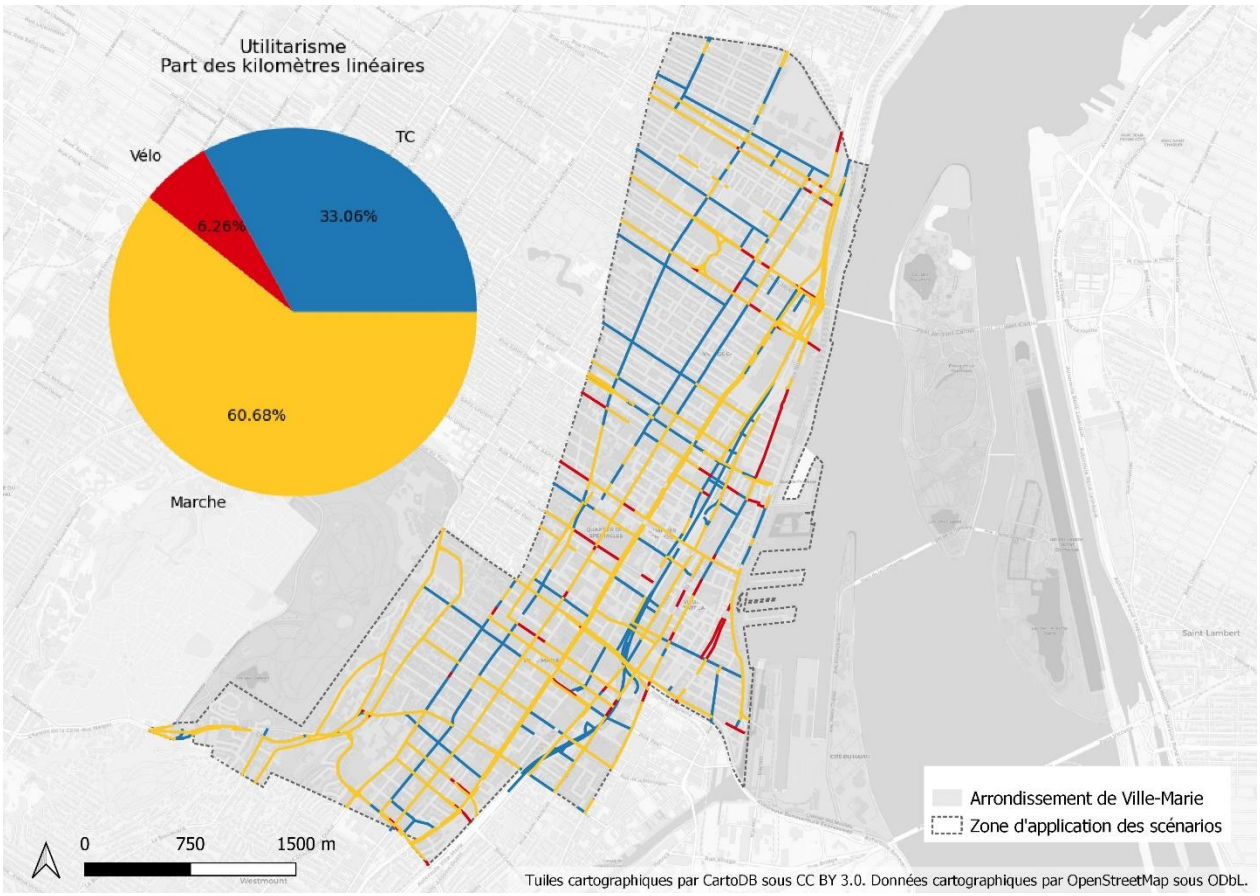


Figure 8.13 Scénario optimal selon l'indicateur utilitariste

On constate à la figure 8.13 que le scénario axé sur la marche offre les meilleurs résultats pour plus de 60 % des kilomètres linéaires lorsque les scénarios sont comparés sur une base utilitariste, c'est-à-dire en tenant compte de l'effet de l'implantation des mesures sur la capacité totale théorique (en passagers-kilomètres par heure) des tronçons. L'élargissement d'un trottoir d'une largeur d'un mètre augmente la capacité totale théorique d'un tronçon de 1 980 passagers par heure, tandis que l'implantation d'une voie réservée améliore la capacité totale du tronçon de 450 passagers par heure. L'ajout d'une piste cyclable bidirectionnelle en remplacement d'une voie de stationnement de 3 mètres de largeur, par exemple, a pour sa part pour effet d'augmenter la capacité totale du tronçon de 500 passagers par heure (se référer au tableau 6.2 à la section 6.2.1). Ainsi, d'un point de vue utilitariste, les seuls tronçons où le scénario axé sur le transport collectif est recommandé

sont ceux pour lesquels le scénario axé sur le vélo ne s'applique pas (parce que le tronçon compte déjà une voie cyclable ou que les cyclistes peuvent y circuler avec les automobilistes dans le respect du niveau de confort cyclable), puisque les voies cyclables offrent un plus grand gain de capacité théorique que les voies réservées au transport collectif. Dans le cas où l'élargissement des trottoirs est possible, c'est généralement cette intervention qui offre le meilleur gain de capacité totale.

Ainsi, sur le tronçon de la rue Sherbrooke Ouest illustré précédemment, c'est l'implantation de voies réservées qui est recommandée en raison de la faible largeur disponible pour l'élargissement des trottoirs. Cependant, cette dynamique s'inverse à l'ouest de l'avenue Atwater, là où les voies de circulation sont plus larges et génèrent donc davantage d'espace pouvant être alloué à l'élargissement des trottoirs.

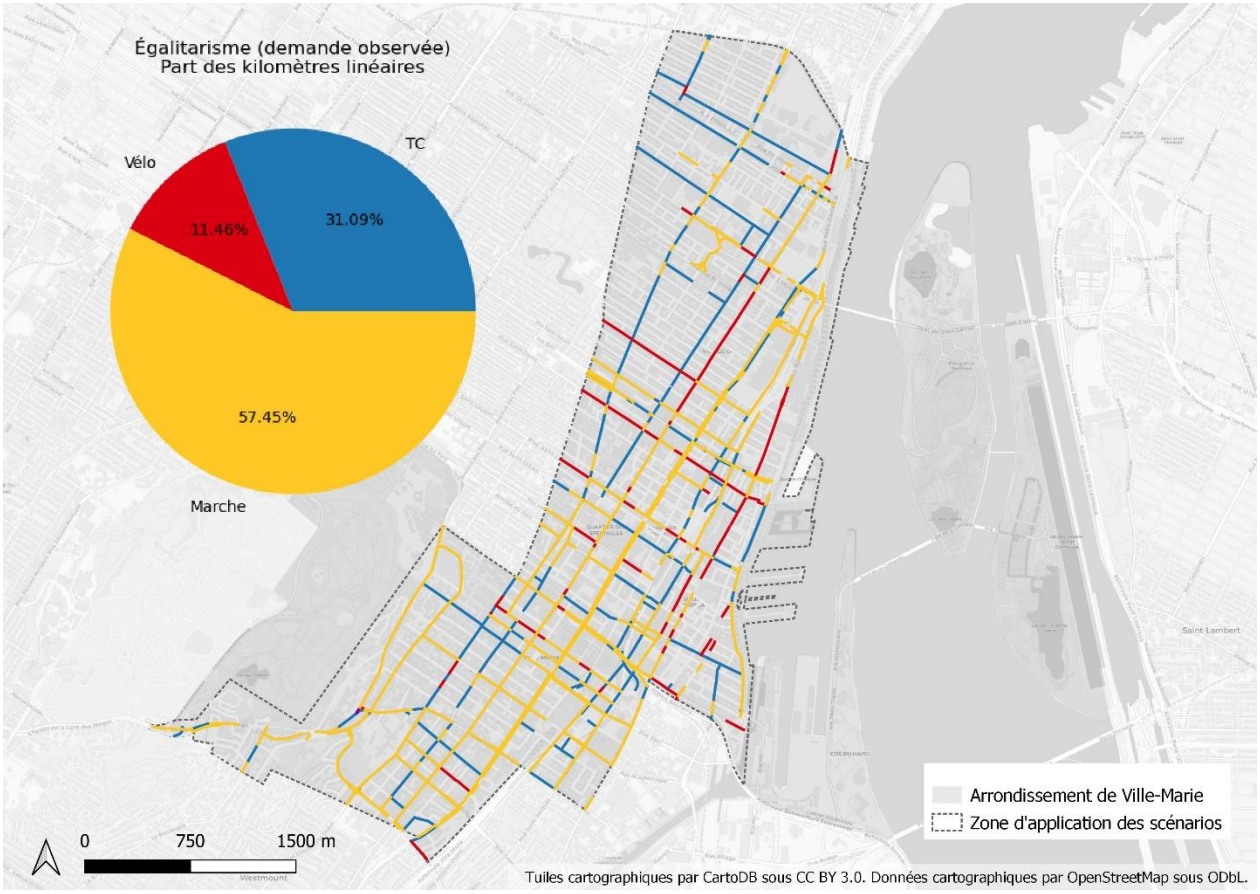


Figure 8.14 Scénario optimal selon l'indicateur égalitariste (demande observée)

Si l'on évalue les scénarios en fonction de l'équilibre entre l'offre et la demande observée, d'un point de vue égalitariste, on remarque à la figure 8.14 que le portrait est relativement similaire à l'évaluation utilitariste. En effet, le scénario axé sur la marche l'emporte pour 57,45 % des

kilomètres linéaires, tandis que le scénario axé sur le transport collectif offre le rééquilibrage le plus important entre offre et demande observée pour 31,09 % des kilomètres linéaires. L'élargissement des trottoirs est priorisé particulièrement dans l'ouest de la zone d'application, tandis que l'ajout de voies réservées est plutôt dominant dans l'est de la zone.

L'ajout d'une piste cyclable offre pour sa part le rééquilibrage le plus important sur les rues Atateken[74], Saint-Denis, Sainte-Catherine Est et Notre-Dame Est, ainsi que sur plusieurs tronçons isolés du centre-ville, pour un total de 11,46 % des kilomètres linéaires. Dans le cas du tronçon de la rue Sherbrooke Ouest illustré précédemment, c'est l'ajout d'une piste cyclable qui maximise l'indicateur, mais l'ajout d'une voie réservée l'emporte sur la majorité des tronçons de cette rue situés à l'est de l'avenue Atwater.

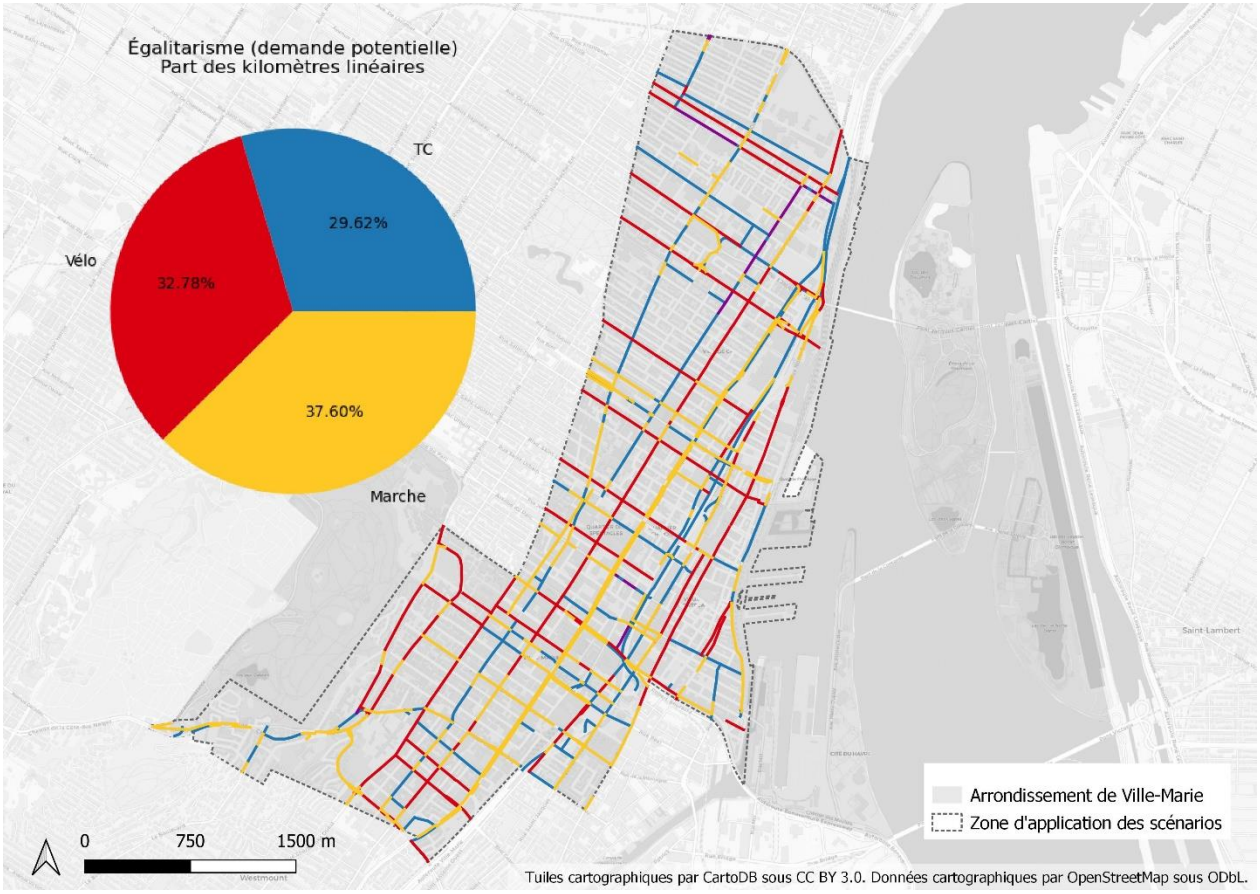


Figure 8.15 Scénario optimal selon l'indicateur égalitariste (demande potentielle)

[74] Anciennement nommée rue Amherst.

Lorsque l'on considère plutôt le profil de demande potentielle, où la part des passagers-heures parcourus (PHP) en transport collectif et à vélo est beaucoup plus importante que dans les déplacements observés, les scénarios axés sur le transport collectif et le vélo gagnent en importance. Ainsi, tel qu'illustré à la figure 8.15, chacun des scénarios maximise l'indicateur égalitariste basé sur la demande potentielle pour environ un tiers des kilomètres linéaires. L'implantation d'une piste cyclable bidirectionnelle est donc recommandée sur l'avenue Sherbrooke Ouest, mais aussi sur les rues Sainte-Catherine et Notre-Dame ainsi que sur plusieurs axes nord-sud.

La figure 8.16 illustre, pour chacun des scénarios, le nombre d'indicateurs pour lesquels ce scénario se classe au premier rang. Plusieurs axes y apparaissent comme favorisant l'un ou l'autre des scénarios. On remarque tout d'abord que le scénario axé sur le transport collectif obtient le meilleur score pour tous les indicateurs sur la majorité des tronçons du boulevard De Maisonneuve situés entre les rues Bishop et City Councillors ainsi qu'entre les rues Clark et Papineau. Ce scénario est aussi considéré comme offrant le partage le plus équitable de la rue selon quatre des cinq indicateurs sur plusieurs axes, dont les rues Parthenais et du Havre, dans le quartier Sainte-Marie, ainsi que la rue Ontario Est. Pour sa part, le scénario axé sur le vélo recueille la faveur de quatre ou cinq indicateurs sur la plupart des tronçons des rues Notre-Dame Est et Sainte-Catherine Est, dans l'axe est-ouest, et des rues Jeanne-Mance, Saint-Denis et Atateken dans l'axe nord-sud. Quant à lui, le scénario axé sur la marche obtient la meilleure valeur selon l'ensemble des indicateurs sur le boulevard René-Lévesque ainsi que les rues de la Montagne, de Bleury et Saint-Hubert, notamment.

Il est donc possible de suggérer que les interventions proposées par ces scénarios constitueraient respectivement le partage le plus équitable de ces rues, et ce, peu importe le principe de justice considéré. Dans les cas des autres axes du centre-ville, pour lesquels le scénario optimal varie selon le tronçon, une réflexion devrait être menée quant au principe qui doit être employé : veut-on prioriser l'accès à la rue à la plus grande variété d'usagers, augmenter la capacité totale de la rue, ou plutôt rééquilibrer l'offre en espace par rapport à la demande observée ou potentielle?

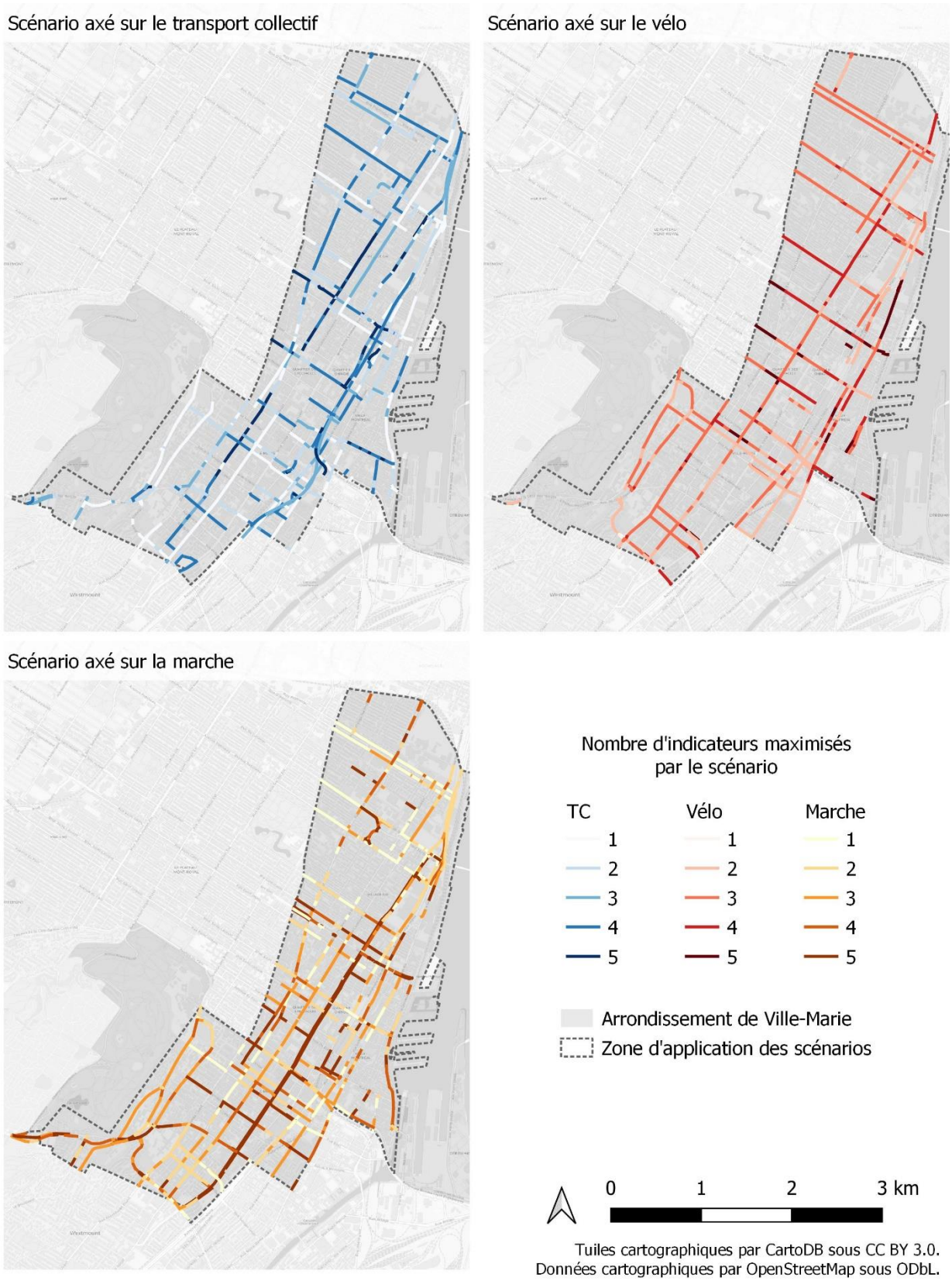


Figure 8.16 Nombre d'indicateurs de partage de la rue maximisés par chacun des scénarios évalués

Il est par ailleurs bien important de noter qu'une telle approche ne tient pas compte de la faisabilité technique des scénarios ni de la pertinence opérationnelle de l'implantation des infrastructures proposées. Ainsi, même si l'implantation de voies réservées au transport collectif constitue l'intervention la plus équitable sur le boulevard De Maisonneuve, par exemple, il se peut qu'une telle mesure ne soit pas requise d'un point de vue opérationnel. De même, l'élargissement des trottoirs sur une rue ne comptant aucune activité riveraine susceptible d'attirer les piétons ne serait probablement pas le choix judicieux. Ainsi, l'approche présentée dans la présente section doit être considérée comme un intrant dans une réflexion multifactorielle sur la conception de rues plus équitables, et non comme un outil de conception routière.

8.3 Effet des scénarios sur le partage de la voirie selon les attributs des déplacements

Si l'évaluation de différents scénarios à l'échelle des tronçons de rues du centre-ville permet de recommander des interventions en fonction des caractéristiques de la voirie, elle ne renseigne pas sur les différentes catégories de population à qui profitent ces interventions. Afin de mieux saisir la manière dont les différents scénarios affectent les personnes qui se déplacent dans les rues du centre-ville en période de pointe du matin, l'effet moyen de chaque scénario sur chaque indicateur synthèse est évalué pour diverses catégories de personnes à l'aide de l'affectation de l'Enquête OD 2013 sur le réseau effectuée précédemment (voir section 3.3).

Pour chaque déplacement, la valeur des indicateurs synthèses est calculée pour chacun des tronçons traversés par le trajet. Cette valeur est ensuite pondérée par la longueur du tronçon. Une valeur moyenne de l'indicateur est ensuite compilée pour différentes catégories de déplacements et d'individus. La présente section offre un portrait de l'effet de chaque scénario sur les différents indicateurs de partage de la rue en fonction de la provenance des déplacements prenant place dans l'arrondissement de Ville-Marie ainsi que de l'âge, du revenu et de la possession d'un permis de conduire des individus qui effectuent ces déplacements. Il est important de garder en tête que les itinéraires ont été calculés sur la base du chemin le plus court en fonction de la situation de référence; l'affectation de la demande reste donc constante à travers l'ensemble des scénarios, ce qui ne permet pas d'évaluer l'effet des scénarios sur la demande telle qu'elle pourrait être structurée par les interventions menées. Les résultats complets de ces analyses sont présentés à l'annexe D.

8.3.1 Effet des scénarios selon la provenance des déplacements

La majorité (près de 60 %) des déplacements observés dans l'arrondissement Ville-Marie en période de pointe du matin lors d'une journée moyenne de semaine d'automne selon l'Enquête OD 2013 sont des déplacements attirés, c'est-à-dire des déplacements dont la destination est Ville-Marie mais dont l'origine est à l'extérieur de l'arrondissement[75]. Cela est logique puisque Ville-Marie est l'arrondissement qui recouvre le centre-ville de Montréal, c'est-à-dire le plus important pôle d'emplois de la région métropolitaine (CMM, 2012, p. 66). Les déplacements de transit, c'est-à-dire les déplacements qui n'ont ni leur origine, ni leur destination au sein de l'arrondissement, constituent la deuxième catégorie en importance avec près de 25 % des déplacements. Ce sont ces derniers qui récoltent, en moyenne le plus faible score pour les indicateurs suffisantistes (formulations exclusive et partagée) et utilitariste. Les déplacements de transit se produisent donc sur des rues qui, en moyenne, offrent un accès à un moins grand nombre d'usages (2,90 sur 7 de manière exclusive et 3,95 de manière partagée) et dont l'espace est utilisé de manière moins efficace d'un point de vue de la capacité totale en passagers par heure (25,59 % de la capacité maximale). Cela s'explique en grande partie par le fait que plusieurs déplacements de transit s'effectuent sur le réseau autoroutier, notamment sur les autoroutes Bonaventure (A-10) et Ville-Marie (route 136), des axes entièrement consacrés à la circulation automobile. Tel que constaté précédemment, ces axes sont généralement caractérisés, par le fait même de leur accès restreint, par une forte valeur des indicateurs de partage de la voirie d'un point de vue égalitariste (près de 16 p.p. d'écart avec les déplacements internes observés) puisque l'écart entre l'offre – exclusivement automobile – et la demande – principalement automobile – y est faible ou nul.

Les différents scénarios proposés ont pour effet d'améliorer davantage l'équité du partage de la voirie pour les déplacements internes d'un point de vue suffisantiste et utilitariste, tandis qu'ils favorisent plutôt les déplacements produits et attirés d'un point de vue égalitariste. En d'autres mots, les personnes qui se déplacent au sein de l'arrondissement ont accès à davantage d'options et à des infrastructures plus efficaces lorsque l'on améliore les infrastructures dédiées au transport collectif, au vélo ou à la marche. Pour leur part, les usagers qui se déplacent depuis ou vers

[75] Pour les fins de la présente thèse, tel que décrit à la section 3.3.3, les déplacements attirés excluent les déplacements internes à l'arrondissement.

l'arrondissement ont accès, grâce à ces nouvelles configurations, à des rues qui reflètent davantage leur part modale.

8.3.2 Effet des scénarios selon l'âge des individus

On constate que ce sont les jeunes (15 à 25 ans) qui profitent des rues les plus équitablement partagées d'un point de vue suffisantiste dans la situation de référence. Ce sont en effet les individus de cette tranche d'âge qui bénéficient de l'accès moyen le plus diversifié aux rues de l'arrondissement de Ville-Marie (entre 3,4 et 3,5 usages sur 7 accessibles sur une base exclusive ou prioritaire et 4,5 sur une base partagée). Les jeunes de 20 à 24 ans fréquentent également les rues offrant la meilleure efficacité spatiale, avec une capacité totale atteignant jusqu'à 34,09 % de la capacité maximale, une différence d'entre 0,95 p.p. et 2,63 p.p. avec les autres tranches d'âge. En revanche, lorsque l'on adopte un point de vue égalitariste, on constate plutôt que ce sont les enfants (5 à 14 ans) et les personnes âgées (65 ans et plus) qui profitent des valeurs les plus élevées (plus de 56,13 % de la superficie de voirie allouée proportionnellement à la demande), tandis que les rues empruntées par les jeunes de 15 à 24 ans sont plutôt caractérisées par les plus faibles scores (moins de 54 %).

Les scénarios proposés n'ont pas d'effet notable sur la distribution des valeurs entre les différents groupes d'âge, à l'exception du scénario axé sur le transport collectif qui semble améliorer le partage de la voirie d'un point de vue égalitariste de manière plus égale à travers l'ensemble des groupes d'âge pour la demande observée. Lorsque l'on considère plutôt la demande potentielle, on remarque que le partage se voit amélioré notablement pour l'ensemble des individus dans les trois scénarios, mais l'effet est moins ressenti par les jeunes de 15 à 19 ans. Cela s'explique probablement par leur recours déjà élevé aux modes actifs et collectifs, ce qui minimise les écarts entre les profils de demande observée et potentielle pour ce groupe d'âge.

Il est à noter que les individus ayant entre 20 et 60 ans sont responsables de près de 90 % des déplacements. Les valeurs plus faibles au sein de ces tranches d'âge sont donc peut-être partiellement causées par le lissage dû au plus grand nombre d'observations à travers le territoire.

8.3.3 Effet des scénarios selon la possession d'un permis de conduire

De manière générale, le partage de la rue dans la situation de référence est plus équitable sur les rues empruntées par les individus ne possédant pas de permis de conduire, du moins d'un point de

vue suffisantiste et utilitariste. À l'inverse, l'écart entre offre et demande est plus important dans le cas des déplacements observés effectués par des individus sans permis de conduire. Cela s'explique sans doute par le grand nombre de déplacements en automobile effectués sur des axes autoroutiers, là où, tel que mentionné précédemment, l'écart offre-demande est réduit ou nul. Pourtant, l'intervention qui semble avoir l'effet le plus important d'un point de vue égalitariste pour les personnes disposant d'un permis est l'élargissement systématique des trottoirs sur les rues artérielles et collectrices. Cela indique que la demande piétonne est forte sur ces rues, même si elles sont empruntées par de nombreux usagers motorisés. Les personnes sans permis de conduire semblent emprunter des rues qui sont en moyenne plus efficaces d'un point de vue utilitariste, un écart qui est réduit avec le scénario axé sur la marche. D'un point de vue suffisantiste, les individus sans permis de conduire profitent principalement de l'ajout de voies cyclables ou de transport collectif, et ce, sans que l'écart avec les individus dotés d'un permis ne s'en voie affecté.

8.3.4 Effet des scénarios selon le revenu

Afin d'estimer le revenu des usagers des rues de l'arrondissement de Ville-Marie, le revenu médian des ménages du secteur de recensement du domicile des individus selon le Recensement de la population de 2016 est attribué à chaque déplacement qu'ils effectuent. Cela permet de constater que, dans la situation de référence, les personnes provenant de ménages à faible revenu empruntent, en moyenne, des rues mieux partagées d'un point de vue suffisantiste et utilitariste. En d'autres mots, elles ont un accès plus diversifié aux rues et celles-ci offrent par le fait même une plus grande capacité effective en passagers par heure. Les personnes appartenant à des ménages à revenu élevé, en revanche, empruntent des rues plus équitablement partagées d'un point de vue égalitariste, c'est-à-dire dont l'écart entre offre et demande est réduit. Comme pour les attributs précédents, cela s'explique par la prépondérance de déplacements en automobile, favorisés par les ménages plus aisés, sur les axes offrant plus d'espace à ce mode.

Tous les scénarios proposés améliorent le partage de la voirie pour les ménages à plus faible revenu d'un point de vue suffisantiste. Aucune tendance claire ne se démarque d'un point de vue utilitariste, mais on remarque que les ménages à plus fort revenu profitent moins de l'implantation de voies réservées au transport collectif ou aux cyclistes que les autres ménages. D'un point de vue égalitariste, tous les scénarios ont un effet moindre chez les individus appartenant à des ménages à

faible revenu, alors même que ce sont eux qui obtiennent les valeurs les plus faibles dans la situation de référence, et ce, peu importe le profil de demande employé.

8.4 Synthèse

L'emploi d'indicateurs synthèses du partage de la rue basés sur des principes de justice distributive permet non seulement d'évaluer le partage actuel des rues du territoire d'étude, mais également d'évaluer l'effet de différents scénarios de réallocation de la voirie sur le partage de la rue en fonction de différents principes. L'application des indices proposés précédemment à trois scénarios de réallocation privilégiant chacun un mode alternatif à la voiture permet de prendre la mesure de l'impact de chacun de ces scénarios. Le scénario axé sur le transport collectif contribue d'abord et avant tout à rééquilibrer l'offre d'espace en fonction de la demande observée. Le scénario axé sur le vélo permet pour sa part d'offrir un nouvel accès confortable et sécuritaire aux rues de l'arrondissement de Ville-Marie pour les cyclistes et de rééquilibrer l'offre d'espace en fonction de la demande potentielle. Le scénario axé sur la marche, quant à lui, permet principalement d'augmenter de manière importante la capacité totale des rues de l'arrondissement de Ville-Marie. L'intervention la plus équitable selon les différents principes de justice varie aussi selon le tronçon étudié ainsi que selon la manière d'envisager la demande (accès exclusif ou partagé, demande observée ou potentielle).

Il est également possible de constater que les scénarios étudiés, à demande constante, n'ont pas le même effet pour tous les usagers des rues de Ville-Marie : les trois scénarios profitent davantage aux jeunes et aux personnes âgées, mais le scénario axé sur le vélo semble profiter davantage aux personnes aisées tandis que le scénario axé sur le transport collectif semble davantage bénéficier aux personnes à faible revenu. Les différentes interventions favorisent également soit les déplacements de transit ou les déplacements internes, tout dépendant du principe de justice considéré.

L'approche proposée dans ce chapitre montre le potentiel d'application d'un indicateur synthèse du partage de la rue basé sur un principe de justice distributive afin d'évaluer de manière systématisée un ensemble d'interventions de réallocation de l'espace de voirie. Il est ainsi possible de déterminer l'intervention la plus prometteuse selon la définition du partage de la rue choisie par la collectivité. On peut donc conclure si l'intervention proposée offre, d'un point de vue

suffisantiste, un accès à davantage d'individus aux rues ciblées, si elle améliore, d'un point de vue utilitariste, la capacité totale des rues, ou encore si elle contribue, d'un point de vue égalitariste, à rééquilibrer l'allocation de l'espace de voirie en fonction de la demande en transport.

À terme, il serait fortement pertinent de développer une approche du même type pour les deux autres dimensions principales de la rue, à savoir le lieu et l'environnement, et de les combiner afin de mener une évaluation globale du partage de la rue résultant d'une intervention donnée. Les différents principes de justices utilisés dans le présent chapitre et les précédents pourraient aussi être appliqués à l'évaluation de l'équilibre entre les trois dimensions afin d'enrichir la méthode proposée au chapitre 5.

CHAPITRE 9 CONCLUSION

La présente thèse a permis de développer une méthodologie d'évaluation systématique du partage de la rue à l'aide d'outils automatisés en se basant sur des principes formels de justice distributive et d'en démontrer les usages possibles dans l'évaluation d'interventions de rééquilibrage du partage de la rue au profit des modes alternatifs à l'automobile. Le présent chapitre offre tout d'abord une synthèse des travaux effectués et des relations entre les différents éléments traités dans chacun des chapitres. Les contributions au domaine de la planification des transports, autant sur le plan analytique que méthodologique, sont ensuite abordées. Les limites des différentes méthodes mises en œuvre dans le cadre de la présente thèse sont ensuite détaillées. Le chapitre se conclut sur une exploration des perspectives de recherches liées à l'évaluation du partage de la rue.

9.1 Synthèse

Une revue de la littérature scientifique et technique a tout d'abord permis de retenir une définition de la rue, soit un espace linéaire délimité par des bâtiments et occupant plusieurs rôles, dont ceux de lien, de lieu et d'environnement. Une définition du partage de la rue comme objet multidimensionnel dans une perspective d'équité a ensuite été proposée, soit la distribution d'une certaine quantité d'espace à chacune des dimensions de la rue puis, au sein de chacune de ces dimensions, à différents usagers ou catégories d'usagers. L'étude des méthodes de mesure de l'espace de la rue a permis de constater que la majorité des efforts recensés se basent soit sur des approches de collecte manuelle, exhaustives mais difficiles à généraliser, soit sur des méthodes automatisées, qui offrent un faible niveau de précision dans la caractérisation des surfaces de rues. L'analyse des approches d'évaluation du partage de la rue a pour sa part révélé que les efforts précédents, à l'exception de ceux de Creutzig et al. (2020), s'appuient implicitement sur des principes de justice distributive mais ne les mobilisent pas de manière explicite ni sur une base comparative.

Les objectifs du projet de recherche ont donc été définis en s'appuyant sur cette revue de la littérature. Une méthode automatisée et généralisable de mesure de l'espace de la rue à partir de grands ensembles de données a tout d'abord été développée. La base de données ainsi construite a ensuite permis de caractériser la variation spatiale et temporelle de l'allocation d'espace dans les rues du territoire d'étude. En mobilisant les outils du champ de l'équité appliquée au transport, un

cadre de l'évaluation du partage de la rue – voirie et marges – a été proposé et appliqué à deux niveaux : entre ses trois dimensions principales ainsi qu'entre les modes de transport associés à sa dimension de lien. Finalement, la construction de scénarios alternatifs de partage de la rue a permis de mettre en lumière le potentiel de ce cadre d'évaluation et des indicateurs développés.

Afin d'atteindre ces objectifs de recherche, une série de jeux de données ouvertes et gouvernementales a été fusionnée afin d'obtenir une représentation de la fonction des diverses surfaces de la rue – à la fois en marge et dans la voirie – à l'échelle d'un territoire d'étude composé de 11 arrondissements montréalais, et ce, pour chaque période d'une demi-heure de l'année 2018.

9.1.1 Variation spatiale et temporelle de l'offre d'espace

L'analyse de l'allocation des marges au sein du territoire d'étude a permis de constater une forte variation spatiale dans la fonction de cet espace principalement dédié à la dimension de lieu de la rue. Dans plusieurs arrondissements du territoire d'étude, les marges comptent pour plus des deux tiers de la superficie des rues. Les marges sont également responsables d'une offre de stationnement équivalente à près de la moitié des places situées sur la voirie. Cela souligne l'importance de tenir compte de ces espaces lors de l'évaluation du partage de la rue. L'allocation de la voirie s'avère également assez variée en fonction de l'arrondissement, de l'importance des rôles de lien et de lieu de la rue, ou encore de la densité résidentielle environnante. En effet, l'allocation de l'espace de voirie aux modes actifs et collectifs, par exemple, semble être plus importante dans les milieux plus denses et sur les rues jouant un faible rôle de lien mais un fort rôle de lieu. À l'échelle du territoire d'étude, les espaces consacrés à l'automobile comptent pour plus de 75 % de la voirie, contre près de 20 % pour les piétons et moins de 2 % chacun pour les cyclistes et les usagers transport collectif.

En plus de sa variation spatiale, la variation temporelle de l'allocation des surfaces de la rue a également été observée et synthétisée à l'aide d'indicateurs. Il est ainsi possible de constater que la flexibilité de l'allocation de la voirie est limitée, puisque moins de 1 % de l'espace de voirie à l'échelle du territoire d'étude est à même d'être réalloué à un autre usage à tout moment de l'année de référence, tandis que plus de la moitié des tronçons de rues ne fait l'objet d'aucune réallocation au cours de l'année de référence. Les variations observées ont souvent pour objectif d'améliorer la fluidité de la circulation motorisée, principalement au profit de l'automobile plutôt que du transport collectif. La flexibilité spatiale de l'espace de voirie semble également répondre à un besoin de

mitigation des conflits entre les différents rôles de lien et de lieu des rues en période de pointe. Plusieurs rues commerciales du centre-ville, par exemple, voient l'une de leurs voies de stationnement être convertie en voie de circulation seulement lors de la période du matin, priorisant ainsi leur rôle de lien lors d'une période de faible achalandage des commerces.

9.1.2 Évaluation du partage de la rue

La distribution de la superficie des rues du territoire d'étude entre les trois dimensions principales de la rue – le lien, le lieu et l'environnement – a été calculée en attribuant à chaque type de surface un rôle dans une ou plusieurs de ces dimensions. Un indicateur d'équilibre entre les trois dimensions a été ensuite été proposé et appliqué au territoire d'étude. Cela a permis de mettre en relief un déséquilibre important au profit de la dimension de lien de la rue non seulement dans les corridors autoroutiers et les zones industrielles, mais également sur plusieurs tronçons de rues du centre-ville et des quartiers plus anciens.

Puisque la dimension de lien de la rue est celle qui est caractérisée par la plus grande offre de données, elle a par la suite fait l'objet d'un développement de la méthode d'évaluation du partage de la rue à partir de trois indicateurs formels de justice distributive : le suffisantisme, l'utilitarisme et l'égalitarisme. L'application d'une approche suffisantiste, qui évalue le partage de la rue en fonction de la présence ou l'absence d'une surface allouée – de manière exclusive ou partagée – à la circulation et au stationnement de chacun des quatre modes traités (automobile, transport collectif, vélo et marche), a permis de démontrer le déséquilibre important dans l'accès aux tronçons de rues du territoire d'étude entre les automobilistes et les autres usagers de la rue. L'application de l'approche à des unités spatiales supérieures, l'axe et le corridor, a ensuite permis de constater que ce déséquilibre est renforcé en ce qui concerne la circulation des modes actifs lorsque l'on considère plusieurs tronçons en continu.

L'approche utilitariste, qui évalue le partage de la rue en fonction de la part de la capacité maximale théorique d'un tronçon de rue qui est atteinte par sa configuration actuelle, a pour sa part permis de démontrer la faible efficacité de l'utilisation de l'espace dans les rues du territoire d'étude. Cette approche a également permis de constater l'importante contribution des surfaces dédiées aux modes collectifs dans l'amélioration de la capacité totale des rues du territoire d'étude lors des périodes de pointe, contribution qui se fait toutefois au détriment de la capacité cyclable du réseau durant la même période.

En appliquant une approche égalitariste, qui vise à illustrer l'écart entre l'offre d'espace allouée à un certain mode et la part de ce mode dans la demande, il a été possible de constater que le déséquilibre précédemment identifié dans l'offre d'espace en faveur de l'automobile n'est pas en adéquation avec la répartition de la demande. En effet, dans la majorité des cas, la part de l'espace alloué à l'automobile dans les rues du territoire d'étude est notablement supérieure à la part des passagers-heures parcourus par les automobilistes. À l'inverse, les modes actifs et collectifs sont, dans la majorité des cas, sous-représentés dans l'offre d'espace par rapport à leur poids dans la demande observée. Ce constat est renforcé lorsque l'on fait abstraction des déplacements de transit, ou encore lorsque l'on utilise un profil de demande potentielle qui représente la demande telle qu'elle serait si chaque déplacement au sein du territoire d'étude était accompli à l'aide du mode le plus durable qui soit plausible.

9.1.3 Application du cadre d'évaluation du partage de la rue

À partir des trois méthodes d'analyse du partage de la dimension de lien de la rue en fonction de principes formels de justice distributive, des indicateurs synthèses ont été proposés afin de permettre l'évaluation du partage de la rue à l'échelle d'un bassin de desserte ainsi que le suivi du partage de la rue après une intervention visant à instaurer un équilibre alternatif entre les différents modes dans l'espace public. L'application des indicateurs synthèses proposés a permis de comprendre que les différentes conceptions du partage de la rue, à travers différents principes de justice, mènent à des évaluations différentes de l'équilibre entre les modes pour un même tronçon, ou encore pour un même bassin de desserte autour d'un générateur de déplacements.

À l'aide de trois scénarios de partage alternatif de la voirie de l'arrondissement Ville-Marie, chacun visant à améliorer l'offre d'espace pour un des modes alternatifs à l'automobile, il a été possible de démontrer le potentiel des indicateurs synthèses de partage de la rue pour effectuer le suivi des interventions dans l'espace public. Il est ainsi possible d'identifier l'amélioration apportée par une intervention donnée à l'équité du partage de la rue, mais également d'identifier, entre plusieurs scénarios, celui qui offre le plus grand avantage en termes d'équité entre les modes. Néanmoins, le choix du principe de justice considéré dans la définition d'un partage équitable s'avère encore crucial, puisqu'un même scénario peut avoir des impacts différents en fonction du principe choisi, et ce, à la fois au niveau du tronçon de rue et au niveau des segments de la population touchés par le réaménagement.

9.2 Contributions

La présente thèse a permis de combler un manque constaté dans la littérature en développant une méthodologie permettant de mesurer de manière généralisable la distribution de l'espace dans un réseau de rues urbaines. Les présents travaux ont aussi permis de poser un diagnostic sur le partage de cet espace à partir de principes formels d'équité à différents moments dans le temps et selon différents profils de demande. Les contributions apportées se déclinent sur les plans analytique et méthodologique et ont fait l'objet de plusieurs communications scientifiques révisées par les pairs ainsi que de communications destinées au milieu professionnel et au grand public.

9.2.1 Contributions analytiques

Sur le plan analytique, la présente thèse offre une première application du « problème d'allocation de l'emprise » tel que défini par Rodriguez-Valencia (2014) en proposant une méthode d'évaluation du partage de la rue entre ses trois dimensions principales, à savoir le lien, le lieu et l'environnement. Il s'agit également de la première démarche qui étend la définition de la rue aux marges, c'est-à-dire aux surfaces situées entre la voirie et les bâtiments qui bordent la rue. Les présents travaux ont aussi permis de formaliser une typologie des usagers de la dimension de lien de la rue en fonction des principaux modes présents dans les rues d'une ville nord-américaine, et ce, en tenant compte explicitement de l'utilisation partagés de certains espaces par les usagers de différents modes. Il s'agit par ailleurs d'une première application du cadre de l'équité à la question du partage de la rue, esquissé par Creutzig et al. (2020), dans une perspective d'évaluation et de suivi et à l'échelle d'un territoire urbain.

9.2.2 Contributions méthodologiques

Sur le plan méthodologique, les présents travaux ont permis le développement d'une méthode de calcul automatisée et systématique de l'allocation de la voirie pour une année complète à l'aide de bases de données ouvertes et gouvernementales. Une série d'indicateurs a été proposée afin de permettre aux professionnels, aux élus et aux diverses parties prenantes dans le contexte de l'aménagement et du réaménagement des rues de caractériser la variation du partage de la voirie à travers une année, d'évaluer l'équilibre entre les trois dimensions d'une rue et d'évaluer l'équité de l'allocation de l'espace de la rue en fonction de trois principes de justice distributive, et ce, à différentes échelles spatiales : l'infrastructure (tronçon, axe, corridor), le bassin de desserte et le

déplacement. Le potentiel des indicateurs développés a été démontré à l'aide de différents scénarios alternatifs de partage de la rue.

9.2.3 Diffusion des travaux de recherche

Les travaux de recherche à l'origine de la présente thèse ont fait l'objet de plusieurs communications scientifiques depuis leur genèse. Certaines des méthodes et des analyses présentées dans ce document ont été publiées dans des revues scientifiques du domaine de la planification des transports :

- Lefebvre-Ropars, G., Morency, C. et Negron-Poblete, P. (2021). A needs-gap analysis of street space allocation. *Journal of Transport and Land Use*, *14*(1), 151-170. https://doi.org/10.5198/jtlu.2021.1808
- Lefebvre-Ropars, G., Morency, C. et Negron-Poblete, P. (2021). Toward A Framework for Assessing the Fair Distribution of Space in Urban Streets. *Transportation Research Record*, 2675(7), 259-274. https://doi.org/10.1177/0361198121995196

Des communications scientifiques ayant fait l'objet d'une révision par les pairs ont également été effectuées dans les congrès du Transportation Research Board (Washington, DC, 2019, 2020 et 2021), de l'Air & Waste Management Association (Québec, 2019) et du Canadian Transportation Research Forum (en ligne, 2020) ainsi que lors des Rencontres Francophones Transport Mobilité (Lyon, 2018; Montréal, 2019; en ligne, 2021). Une conférence tenue à la Maison du développement durable en décembre 2019, à l'invitation du Conseil régional de l'environnement de Montréal, a par ailleurs permis de diffuser certains résultats au grand public.

Les présents travaux ont reçu le prix Hervé-Aubin de l'Association des ingénieurs municipaux du Québec, remis à un projet axé sur « l'amélioration de technologies existantes dans le domaine du génie municipal » (AIMQ, 2021). Un article présentant une partie des résultats du projet a par ailleurs été publié dans *Génial*, la revue de l'AIMQ :

- Lefebvre-Ropars, G., Morency, C. et Negron-Poblete, P. (2021). Méthodologie d'évaluation du partage spatiotemporel de la rue. *Génial, La revue*, (118), 22-25. https://www.aimq.net/wp-content/uploads/filebase/publications/contact_plus/Genial_LaRevue_118_WEB.PDF

De plus, certains résultats issus des présents travaux ont été mobilisés par la Ville de Montréal dans le cadre de l'élaboration du *Projet de ville* (Ville de Montréal, 2021a, p. 48), le document d'orientation préalable à l'élaboration du plan d'urbanisme et de mobilité (PUM) de la Ville. Il s'agit en effet de la première démarche documentée permettant de produire des statistiques précises sur l'allocation de la voirie aux différents modes de transport en territoire montréalais.

9.3 Limites

Les travaux de recherche menés dans la présente thèse comportent plusieurs limites qu'il est important de conserver en tête lors de leur interprétation et de leur éventuelle utilisation dans un contexte académique ou professionnel. La présente section détaille les limites en ce qui concerne la portée des travaux, les données utilisées, la définition des unités spatiale d'analyse, le choix des modes de transport considérés, l'estimation de la demande dans les rues, la mesure de la variabilité de l'offre d'espace et les différentes approches d'évaluation du partage de la rue.

9.3.1 Portée des travaux

Il importe tout d'abord de rappeler que la méthodologie développée ne prétend pas être un outil de design ou de conception de rues. En effet, la conception ou le réaménagement d'une rue est un processus qui implique de nombreux facteurs (techniques, économiques, politiques, etc.) et qui affecte un grand nombre de parties prenantes. Ainsi, on ne saurait recommander une intervention sur la seule base de sa capacité à améliorer le partage de la rue tel que mesuré par un indicateur de suivi. De plus, les présents travaux ne considèrent que l'équité des résultats, c'est-à-dire la manière dont une ressource ou un bénéfice sont distribués entre les différents groupes d'une population, et non l'équité procédurale de cette distribution, c'est-à-dire la manière dont le processus menant à la répartition des ressources accorde un juste poids aux préoccupations et à la participation des différents groupes de la population. Les méthodes et indicateurs proposés dans la présente thèse visent plutôt à offrir un outil supplémentaire aux décideurs, aux professionnels et aux parties prenantes pour baser leur réflexion et leurs travaux sur des données concrètes et sur des principes de justice distributive clairement formalisés, et ce, idéalement, dans un processus juste du point de vue de l'équité procédurale. Cela offre le potentiel d'aborder les discussions sur le partage de la rue sur des bases communes, facilitant ainsi le dialogue entre les professionnels de différents

horizons – ingénieurs, urbanistes, gestionnaires d'infrastructures, etc. – et avec les membres de la société civile.

9.3.2 Disponibilité, exhaustivité et précision des données

L'approche proposée dans la présente thèse fait appel à un nombre important de jeux de données issus de diverses sources des milieux municipal, paramunicipal et gouvernemental ainsi que de la communauté de la cartographie collaborative. Ces ensembles de données comportent chacun leurs limites et leurs particularités qui ont été documentées, là où nécessaire, au fil du présent document. Il apparaît toutefois important de rappeler les limites qui ont le plus grand impact sur les résultats présentés. Tout d'abord, l'année de référence des données employées dans le cadre des présents travaux varie selon les données utilisées. Lorsque possible, les données ont été sélectionnés pour correspondre à la période de référence du jeu de données qui a servi de base à la procédure de fusion de données, à savoir l'inventaire des actifs de voirie de la Ville de Montréal, c'est-à-dire l'année 2018. Toutefois, certains ensembles de données font l'objet de mises à jour irrégulières, ou encore sont des agrégations de sous-ensembles de données mis à jour de manière irrégulière[76]. Certains ensembles de données sont également parcellaires[77], mais le choix a été fait de les conserver afin de démontrer le potentiel de leur intégration dans un cadre de développement méthodologique. Cela ramène d'ailleurs à l'avant-plan un enjeu fondamental lié à l'appropriation, à l'usage et à la valorisation des données ouvertes, à savoir l'importance de leur mise à jour par les organismes producteurs de données. Il est donc important de garder en tête que les résultats contenus dans la présente thèse ne prétendent pas offrir un portrait complet et exhaustif du partage de la rue au sein du territoire d'étude, mais visent plutôt à proposer une méthode et des outils

[76] C'est le cas de plusieurs jeux de données de la Ville de Montréal qui en fait une compilation de données recueillies par chacun des arrondissements selon leurs propres besoins et agendas de collecte. La base de données de signalisation (SIGNALEC) est particulièrement touchée par ce phénomène.

[77] C'est le cas notamment de l'inventaire des supports à vélo de la Ville de Montréal, qui a été mis à jour pour la dernière fois en 2016 et qui, même à ce moment, n'offrait pas une couverture exhaustive des équipements. L'inventaire des rues piétonnes et partagées de la Ville, pour sa part, ne répertorie que certains types de piétonnisations et ne contient pas, par exemple, les piétonnisations ponctuelles sur les rues commerciales. Quant aux cafés-terrasses, il n'existe tout simplement aucune base de données centralisée les répertoriant.

d'évaluation et à en démontrer le potentiel à l'aide d'une application basée sur des données à grande échelle.

La dépendance à plusieurs ensembles de données, chacun disposant de son propre calendrier de mise à jour, de ses propres standards de qualité et de ses propres conditions d'accès (données ouvertes, données disponibles à la communauté professionnelle, données réservées à la communauté académique), constitue certainement un frein à la réplicabilité aisée des présents travaux. Toutefois, la documentation de la méthodologie de fusion des données a été rédigée et illustrée dans le but de permettre une adaptation des méthodes appliquées dans un contexte différent en termes de disponibilité des données. De plus, des plateformes comme OpenStreetMap (OpenStreetMap, s. d.) et SharedStreets (SharedStreets, 2020) font l'objet d'un développement constant et permettront sans doute, à terme, de disposer de données standardisées et uniformisées sur l'allocation des surfaces dans les rues, réduisant le besoin de recourir à un grand nombre de données.

9.3.3 Définition des unités spatiales d'analyse

L'unité de mesure à la base des présents travaux est le tronçon de rue, une unité spatiale dérivée de la structure des données de la géobase de la Ville de Montréal. Ainsi, plusieurs tronçons qui auraient pu être inclus dans les présents travaux ont été ignorés parce qu'ils étaient absents de cette base de données[78].

La disponibilité restreinte de certains ensembles de données, notamment l'inventaire de la signalisation de stationnement et la localisation des arbres publics, a contribué au choix d'un territoire d'étude restreint comprenant certains secteurs non contigus, ce qui rend plus difficile l'interprétation de certaines données et qui limite également la diversité des situations évaluées. Il est également à noter que la méthode proposée ne traite que la section de la voirie située entre les intersections et ignore totalement les intersections elles-mêmes.

Certaines unités spatiales d'analyse sont définies à l'aide de limites qui peuvent paraître arbitraire : les axes, par exemple, sont découpés en fonction des arrondissements et de la vitesse permise, deux

[78] C'est le cas notamment de certains courts tronçons piétons ainsi que de la majorité des ruelles du territoire d'étude.

facteurs qui ne correspondent pas nécessairement au fonctionnement réel d'un axe – une rue commerciale peut fonctionner de manière homogène et être perçue comme telle même si elle chevauche deux arrondissements, par exemple. Le rayon de recherche employé pour délimiter la largeur d'un corridor ou la taille d'un bassin de desserte peut également ne pas correspondre aux limites perçues par les usagers, même si les valeurs ont été fondées sur des temps de marche considérés comme raisonnables.

Il est aussi à noter que la présence des autoroutes dans la base de données et leur traitement isolé des tronçons environnants peut avoir un impact sur certains indicateurs. Une approche du partage de la rue par corridor pourrait atténuer les valeurs extrêmes générées par ces tronçons particuliers.

9.3.4 Choix des modes considérés

Seuls quatre modes de transport sont considérés dans les présents travaux : l'automobile, le transport collectif, le vélo et la marche. À l'ère de la multiplication des formes de mobilité, particulièrement depuis l'avènement de la micromobilité[79] et des modes partagés, cela implique que les modes ignorés sont assimilés à l'un des modes principaux alors que leurs besoins en matière d'espace peuvent être différents. Il en va de même du transport des marchandises, qui est combiné dans les présents travaux à la demande automobile mais qui pourrait, de manière tout aussi légitime, être traité comme un mode à part, ce qui conduirait certainement à un constat de déséquilibre marqué en sa défaveur. Il pourrait être à propos de développer une pondération particulière des camions en fonction de critères qui leurs sont propres tels que la valeur de la marchandise transportée. Cela permettrait de tenir compte de leur importance dans les déplacements sur le territoire, qui dépasse celle du seul chauffeur.

9.3.5 Estimation de la demande

Les données de demande utilisées dans le cadre de l'approche égalitariste d'évaluation du partage de la rue proviennent de l'Enquête OD 2013. Étant donné que l'année de référence des données d'offre est 2018, cela implique qu'il existe un décalage de cinq ans entre l'offre et la demande qui sont comparées dans le cadre du développement des indicateurs égalitaristes. Si ce choix a été fait

[79] Trottinettes, gyropodes, monoroues, *hoverboards*, etc.

en raison de l'indisponibilité des données de l'Enquête OD 2018 au moment d'amorcer les présents travaux, il en résulte néanmoins sans doute une imprécision dans les constats tirés.

Par ailleurs, les déplacements recensés dans l'Enquête OD 2013 ont été affectés sur le réseau dans une procédure d'affectation tout-ou-rien à l'aide d'algorithmes de plus court chemin, et ce, à l'aide des observations pondérées par un facteur d'expansion. Cela introduit une imprécision en ce qui a trait aux itinéraires puisque ceux-ci sont moins diversifiés – un déplacement observé représentant une vingtaine de déplacements réels – et ne respectent pas nécessairement les contraintes d'un réseau sous congestion. Les analyses incluant la demande ont donc dû être limitées à un niveau d'agrégation plus grand que les autres analyses, ce qui limite la comparabilité des résultats entre les différentes approches.

9.3.6 Variabilité de l'offre

Puisque les indicateurs de variabilité de l'offre d'espace en fonction des différents usages de la voirie sont basés sur le changement d'allocation d'une catégorie d'usages à une autre, la définition des catégories d'usages en question peut exercer une influence importante sur les résultats de l'analyse de variabilité. En effet, la combinaison de deux catégories d'usages – le stationnement automobile [DP] et les autres usages de la voie de rive [CS], par exemple – pourrait avoir un effet sur l'ampleur de la variation mesurée pour une même situation.

La disponibilité des données discutée précédemment a également un effet sur la lecture faite de la variabilité dans l'allocation de l'espace dans les rues du territoire d'étude. L'absence de données sur les piétonnisations ponctuelles, les cafés-terrasses ou encore les mesures temporaires dans le cadre des chantiers, par exemple, conduit à une sous-estimation de la variabilité réelle de l'allocation de l'espace des rues étudiées. Pour sa part, l'absence de données sur les heures d'activités des différents espaces situés en marges, qui accueillent la majorité des activités liées à la dimension de lieu de la rue, a pour effet de limiter les analyses à la seule dimension de lien de la rue, ignorant par le fait même une partie de la variabilité des espaces de la rue dans son ensemble.

9.3.7 Évaluation du partage de la rue

L'évaluation du partage de la rue entre ses trois dimensions principales – le lien, le lieu et l'environnement – tient pour acquis que la situation la plus équitable est celle de l'égalité absolue entre les trois dimensions. Cela constitue une conception sommaire de l'équité, mais l'application

d'autres principes de justice distributive est complexifiée par l'absence de données sur la demande pour les fonctions de lieu de la rue (fréquentation des marges commerciales, utilisations des marges résidentielles par les résidents, occupation des stationnements hors voirie, etc.) et sur l'état tout au plus embryonnaire des réflexions sur la capacité des différents espaces de la dimension de lieu et de lien.

Les approches ciblant la dimension de lien comptent également plusieurs limites. Les constats tirés dans le cadre de l'approche suffisantiste du partage de la rue sont notamment dépendants de l'unité spatiale d'analyse employée, des seuils minimaux d'accès aux tronçons par un mode donné, des catégories modales considérées et des critères de confort déterminant l'admissibilité d'un tronçon pour les cyclistes. Par ailleurs, l'absence de critères de performance du service de transport collectif dans les rues du territoire d'étude contribue à surestimer la part des rues qui sont partagées de manière efficace entre les automobiles et les autobus.

L'approche utilitariste, pour sa part, est dépendante des hypothèses de capacité employées pour chacun des types de surfaces. De plus, les capacités estimées à l'aide de ces hypothèses restent théoriques puisqu'elles ne tiennent pas compte de l'ensemble des facteurs empiriques qui peuvent affecter la capacité d'un tronçon de rue, particulièrement en situation de fort débit de circulation. Finalement, l'approche égalitariste, en plus d'être limitée par les contraintes liées aux données employées dans l'estimation de la demande (voir section 9.3.5), est également susceptible d'être affectée par différentes hypothèses. À titre d'exemple, les indicateurs égalitaristes ne considèrent que les surfaces exclusives dans le calcul de l'offre pour les modes actifs et collectifs, tandis que la pondération employée pour estimer les passagers-heures parcourus se base sur des vitesses moyennes plutôt que sur les attributs réels des trajets.

9.4 Perspectives

Bien qu'elle comporte plusieurs limites, la méthodologie proposée dans la présente thèse laisse entrevoir plusieurs avenues de recherche qui permettraient d'approfondir la réflexion sur les méthodes de mesure ainsi que les cadres d'évaluation du partage de la rue.

9.4.1 Méthodes de mesure et traitement des données

D'une part, des méthodes simplifiées de mesure de l'offre, applicables à l'aide d'un nombre réduit de jeux de données, permettraient d'appliquer une grande partie des indicateurs proposés à un territoire plus étendu, ou encore à différents territoires urbains. Ainsi, il serait possible de replacer le territoire d'étude dans son contexte et de le comparer à différentes régions métropolitaines dans une démarche d'étalonnage, ou encore d'appliquer le cadre d'évaluation proposé à des villes de taille moyenne disposant de moins de ressources en termes de données. Cela permettrait également d'évaluer la transférabilité de la méthode proposée et sa flexibilité en fonction des différents contextes urbains. Tel que mentionné plus tôt, des ensembles de données standardisés – OpenStreetMap, Shared Streets – pourraient, à terme, permettre la généralisation de la méthode à plusieurs régions avec un travail d'adaptation minimal.

D'autre part, des données plus précises, particulièrement en ce qui concerne la demande – désagrégation spatiale des observations, affectation à l'équilibre, déplacements des non-résidents et des véhicules de transport de marchandises – permettraient de raffiner les constats et d'effectuer des analyses à une échelle plus fine. Des analyses de sensibilité des différents paramètres et hypothèses entrant dans l'estimation de la demande – vitesse des modes, ratios de transfert vers les modes actifs et collectifs, fusion des données issues du MOTREM – permettraient également de valider les constats tirés.

9.4.2 Évaluation du partage de la rue

Le cadre d'évaluation du partage de la rue qui fait l'objet de la présente thèse pourrait tout d'abord être étendu en appliquant aux trois dimensions de la rue les approches proposées pour la dimension de lien au chapitre 6 et dans les chapitres suivants afin d'achever l'application du problème d'application de l'emprise défini par Rodriguez-Valencia (2014). Dans l'optique d'une approche qui s'applique aux trois dimensions de la rue, il serait important de concevoir des méthodes qui permettent d'estimer les données nécessaires – la capacité de chaque type de surface ainsi que la demande, par exemple – non seulement pour la dimension de lien, mais aussi pour les dimensions de lieu et d'environnement sur un tronçon de rue donné. Celles-ci pourraient par exemple être estimées à l'aide de taux de génération de déplacements basés sur l'utilisation du sol ou de données de géolocalisation provenant de téléphones cellulaires, dans le cas de la dimension de lieu, et

d'hypothèses sur l'absorption des polluants et la diminution des îlots de chaleur, dans le cas de la dimension environnementale.

En ce qui concerne les indicateurs portant spécifiquement sur la dimension de lien, il serait intéressant de combiner plusieurs des approches afin de développer des indicateurs s'appuyant sur plusieurs principes de justice. À titre d'exemple, les approches suffisantiste et utilitariste pourraient être combinées, la seconde prenant le relais une fois le seuil de suffisance fixé par la première atteint. L'étude du partage de la rue à l'échelle des corridors ou des bassins de desserte, ou encore des différentes alternatives de trajet pour une même paire origine-destination, pourrait par ailleurs être enrichie par l'évaluation de la complémentarité et de la compétition entre les différents modes et usages au sein d'une même unité spatiale.

Finalement, l'ajout de la composante d'allocation dynamique du temps dans les rues, à travers les feux de signalisation et autres dispositifs de régulation des flux, permettrait d'évaluer le partage du temps dans les rues du territoire d'étude. Il serait par exemple possible d'évaluer l'équilibre entre les durées de traversée aux intersections accordées aux différents modes, de calculer la capacité effective des tronçons de rues à l'aide des données sur la programmation des feux de circulation, ou encore de mesurer l'équilibre entre le délai cumulé en raison de la synchronisation des feux au cours d'un trajet selon le mode emprunté. Ces analyses pourraient par la suite être intégrées au cadre d'évaluation proposé en ces pages afin de passer d'un portrait de l'allocation de l'espace dans le temps à un réel portrait de l'espace dans les rues.

RÉFÉRENCES

Agentur für clevere Städte. (2014, 5 août). *Wem gehört die Stadt? Der Flächen-Gerechtigkeits-Report. Mobilität und Flächengerechtigkeit: Eine Vermessung Berliner Straßen*. Agentur für clevere Städte. https://www.clevere-staedte.de/files/tao/img/blog-news/dokumente/2014-08-05_Flaechen-Gerechtigkeits-Report.pdf

AIMQ. (2021). *Bourse Hervé-Aubin*. Association des ingénieurs municipaux du Québec (AIMQ). https://www.aimq.net/bourse-herve-aubin/

Alsnih, R. et Stopher, P. R. (2003). Environmental Justice Applications in Transport: The International Perspective. Dans *Handbook of Transport and the Environment* (vol. 4, p. 565-584). Emerald Group Publishing Limited.

Association des transports du Canada. (2015). *Rues complètes: politiques et pratiques au Canada* ([Dossier d'information]). Association des transports du Canada. http://tac-atc.ca/sites/tac-atc.ca/files/site/briefing-final-f-jan2015.pdf

Behbahani, H., Nazari, S., Jafari Kang, M. et Litman, T. (2018). A conceptual framework to formulate transportation network design problem considering social equity criteria. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.04.005

Berlin's Senate Department for Urban Development and the Environment. (2014). *Urban Transportation Development Plan 2025 - Sustainable Mobility*. City of Berlin. https://www.researchgate.net/publication/265342163_Berlins_Urban_Transportation_Development_Plan_2025_-_Sustainable_Mobility

Billiard, I. (1988). *Espaces publics*. La Documentation française.

Black, J., Hashimzade, N. et Myles, G. (2013). Common access resource. Dans *A Dictionary of Economics*. Oxford University Press. http://www.oxfordreference.com/view/10.1093/acref/9780199696321.001.0001/acref-9780199696321-e-3511

Bonnafous, A. et Masson, S. (2003). Évaluation des politiques de transports et équité spatiale. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, *octobre*(4), 547-572. https://doi.org/10.3917/reru.034.0547

Bonnel, P. (2002). *Prévision de la demande en transport* [Université Lumière - Lyon II]. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00268919

Bourbonnais, P.-L. (2019). *kaligrafy/trRouting* [C++]. https://github.com/kaligrafy/trRouting

Bourdeau, J.-S. (2014). *Méthodologie d'analyse automatisée des stationnements* [mémoire de maîtrise]. Polytechnique Montréal.

Bowman, S. (2013). *Les régimes routiers : des voies publiques plus minces et favorables à la santé* (nº 1843). Centre de collaboration nationale sur les politiques publiques et la santé. https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1843_Regimes_Routiers.pdf

Brès, A. (2006). De la voirie à la rue : riveraineté et attrition. Des stratégies d'inscription territoriale des mobilités périurbaines. *Flux*, *66-67*, 87-95.

Bruneau, J.-F. et Morency, C. (2016). *Évaluation du potentiel d'application d'une démarche « Code de la rue » pour le Québec et identification des enjeux et stratégies liés à sa mise en œuvre* (nº R703.1). Chaire Mobilité, Polytechnique Montréal.

Brunnquell, É. (2015). *La consommation d'espace par les transports. Quels enjeux d'une optimisation de l'espace viaire autour des gares du Grand Paris Express ?* [mémoire de maîtrise, Université Paris-Est Créteil, École des Ponts]. https://issuu.com/emileb4/docs/m__moire_de_recherche

Bruun, E. C. et Vuchic, V. R. (1995). Time-Area Concept: Development, Meaning and Applications. *Transportation Research Record*, (1499). https://trid.trb.org/view/452722

Cabinet Jean Beauvais. (1982). *Consommation d'espace des différents modes de transport urbain. Phase 1. Recherche méthodologique.* Service de l'Analyse Économique et du Plan, Ministère des Transports. http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/document.html?id=Temis-0003734

Cabinet Jean Beauvais. (1983). *Consommation d'espace des différents modes de transport urbain. Phase 2. Application numérique.* Service de l'Analyse Économique et du Plan, Ministère des Transports. http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/document.html?id=Temis-0003734

Cao, S., Seyfried, A., Zhang, J., Holl, S. et Song, W. (2017). Fundamental diagrams for multidirectional pedestrian flows. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, *2017*(3), 033404. https://doi.org/10.1088/1742-5468/aa620d

Carrier, M., Apparicio, P., Séguin, A.-M. et Crouse, D. (2014). The application of three methods to measure the statistical association between different social groups and the concentration of air pollutants in Montreal: A case of environmental equity. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *30*, 38-52. https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.05.001

CERTU. (2007). *Quelle est la consommation d'espace par les transports et par l'urbanisation ? Rapport de synthèse et d'expérimentation* ([Rapport de synthèse et d'expérimentation] n° 13023-12). Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques. http://lara.inist.fr/bitstream/handle/2332/1277/CERTU-RE_07-13t1.pdf?sequence=2

Cervero, R., Guerra, E. et Al, S. (2017). Road Contraction. Dans R. Cervero, E. Guerra et S. Al (dir.), *Beyond Mobility: Planning Cities for People and Places* (p. 143-164). Island Press/Center for Resource Economics. https://doi.org/10.5822/978-1-61091-835-0_8

Chapman, L. (2007). Transport and climate change: a review. *Journal of Transport Geography*, *15*(5), 354-367. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.11.008

CMM. (2012, avril). Un Grand Montréal attractif, compétitif et durable: Plan métropolitain d'aménagement et de développement. Communauté métropolitaine de Montréal. https://cmm.qc.ca/wp-content/uploads/2019/03/pmad_plan_metropolitain_amenagement_developpement.pdf

CMM. (2017). Indice canopée métropolitain - Méthodologie. http://observatoire.cmm.qc.ca/fileadmin/user_upload/geomatique/IndiceCanopee/2015/CMM_indiceCanopee_2015_methodologie.pdf

Colville-Andersen, M. (2017). The Arrogance of Space - Copenhagen - Hans Christian Andersen Boulevard. *The Blog by Copenhagenize Design Co.* http://www.copenhagenize.com/2017/05/arrogance-of-space-copenhagen-hans.html

Colville-Andersen, M. (2018). *Copenhagenize: the definitive guide to global bicycle urbanism*. Island Press.

Conseil national des transports. (2004). *Sécurité et cohabitation sur la voie publique au-delà des conflits d'usages - Tome 2: Exemples et Annexes au rapport du groupe de réflexion*. Conseil national des transports.

Cornut, B. (2018, 5 juin). *Le Peak Car en Ile-de-France: étude de l'évolution de la place de l'automobile et de ses déterminants chez les franciliens depuis les années 1970* [thèse de doctorat, Université Paris-Est]. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01807668

Creutzig, F., Javaid, A., Soomauroo, Z., Lohrey, S., Milojevic-Dupont, N., Ramakrishnan, A., Sethi, M., Liu, L., Niamir, L., d'Amour, C. B., Weddige, U., Lenzi, D., Kowarsch, M., Arndt, L., Baumann, L., Betzien, J., Fonkwa, L., Huber, B., Mendez, E., … Zausch, J. M. (2020). Fair street space allocation: ethical principles and empirical insights. *Transport Reviews*, *0*(0), 1-23. https://doi.org/10.1080/01441647.2020.1762795

Damant-Sirois, G., Grimsrud, M. et El-Geneidy, A. M. (2014). What's your type: a multidimensional cyclist typology. *Transportation*, *41*(6), 1153-1169. https://doi.org/10.1007/s11116-014-9523-8

Di Ciommo, F. et Shiftan, Y. (2017). Transport Equity Analysis. *Transport Reviews*, *37*, 139-151. https://doi.org/10.1080/01441647.2017.1278647

Dill, J. et Carr, T. (2003). Bicycle Commuting and Facilities in Major U.S. Cities: If You Build Them, Commuters Will Use Them. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *1828*, 116-123. https://doi.org/10.3141/1828-14

Donovan, G. H. et Butry, D. T. (2010). Trees in the city: Valuing street trees in Portland, Oregon. *Landscape and Urban Planning*, *94*(2), 77-83. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.07.019

Dupriez, V. et Verhoeven, M. (2006). Débat sur l'égalité à l'école. *Les Temps Modernes*, *n° 637-638-639*(3), 479-501. https://www.cairn.info/revue-les-temps-modernes-2006-3-page-479.htm

Eichner, R. B. et Tobey, H. (1987). Beyond Zoning. Dans A. V. Moudon (dir.), *Public streets for public use* (p. 280). Van Nostrand Reinhold.

Ellis, William C. (1978). The Spatial Structure of Streets. Dans S. Anderson (dir.), *On Streets* (p. 115-132). The MIT Press.

Federal Highway Administration. (2010). *Manual on uniform traffic control devices : for streets and highways.* United States Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Feitelson, E. (2013). Environmental Equity: Is It a Viable City Planning Goal? Dans N. Carmon et S. S. Fainstein (dir.), *Policy, planning, and people : promoting justice in urban development* (1st ed.., p. 54-74). University of Pennsylvania Press.

Fleury, A. (2004). La rue : un objet géographique ? *Tracés. Revue de Sciences humaines*, (5), 33-44. https://doi.org/10.4000/traces.3133

Frick, J. et Mpondo-Dika, E. (2018). *Prioritarisme*. Dictionnaire de théorie politique. https://scholar.princeton.edu/sites/default/files/jfrick/files/prioritarisme_penultimate_draft_0.pdf

Furth, P. G., Mekuria, M. C. et Nixon, H. (2016). Network Connectivity for Low-Stress Bicycling. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2587*(1), 41-49. https://doi.org/10.3141/2587-06

Gehl, J. (2012). *Pour des villes à échelle humaine* (traduit par N. Calvé). Éditions Écosociété. https://ecosociete.org/livres/pour-des-villes-a-echelle-humaine

Geller, R. (2006). *Four Types of Cyclists*. Portland Bureau of Transportation. https://www.portlandoregon.gov/transportation/article/264746

Gosseries, A. (2000). Le labyrinthe des égalitarismes. *Le Banquet*, *15*, 57. https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal:126120

Gosseries, A. (2011). Qu'est-ce que le suffisantisme ? *Philosophiques*, *38*(2), 465-491. https://doi.org/10.7202/1007460ar

Gössling, S., Schröder, M., Späth, P. et Freytag, T. (2016). Urban Space Distribution and Sustainable Transport. *Transport Reviews*, *36*, 659-679. https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1147101

Gouvernement du Québec. Code de la sécurité routière. http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cs/C-24.2

Guzman, L. A., Oviedo, D., Arellana, J. et Cantillo-García, V. (2021). Buying a car and the street: Transport justice and urban space distribution. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *95*, 102860. https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102860

Hampton, S. (2013). Measuring Oklahoma Main Streets. *Institute for Quality Communities Blog*. http://iqc.ou.edu/2013/08/19/mainstreets/

Harvey, C., Aultman-Hall, L., Troy, A. et Hurley, S. E. (2017). Streetscape skeleton measurement and classification. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, *44*(4), 668-692. https://doi.org/10.1177/0265813515624688

Hay, A. M. (1995). Concepts of Equity, Fairness and Justice in Geographical Studies. *Transactions of the Institute of British Geographers*, *20*(4), 500-508. https://doi.org/10.2307/622979

Hebbert, M. (2005). Engineering, Urbanism and the Struggle for Street Design. *Journal of Urban Design*, *10*, 39-59. http://dx.doi.org/10.1080/13574800500062361

Héran, F. (2013). La consommation d'espace-temps des transports en milieu urbain. Dans *Ville et mobilité : nouveaux regards* (p. 177-191). Economica. https://www.economica.fr/livre-ville-et-mobilite-brun-gerard-sld,fr,4,9782717866278.cfm

Héran, F. et Ravalet, E. (2008). *La consommation d'espace-temps des divers modes de déplacement en milieu urbain: Application au cas de l'Ile de France* ([Rapport final] nº Lettre de commande 06 MT E012). CLERSE-IFRESI, LET. http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/DEFAULT/doc/IFD/IFD_REFDOC_TEMIS_0063282/la-consommation-d-espace-temps-des-divers-modes-de-deplacement-en-milieu-urbain-a-application-au-cas

Héran, F. et Ravalet, E. (2011). *La consommation d'espace-temps des divers modes de déplacement en milieu urbain: Recherche complémentaire* ([Rapport final] nº Lettre de commande 09 MT SU 16). CLERSE-IFRESI, LET. http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/DEFAULT/doc/IFD/IFD_REFDOC_TEMIS_0063282/la-consommation-d-espace-temps-des-divers-modes-de-deplacement-en-milieu-urbain-a-application-au-cas

Hirshhorn, R. (2002). *Estimation des coûts de l'usure des routes et du capital routier - Étude réalisée pour Transports Canada*. Transports Canada. https://www.cubiq.ribg.gouv.qc.ca/notice?id=p%3A%3Ausmarcdef_0000965765&locale=fr

Hui, N., Saxe, S., Roorda, M., Hess, P. et Miller, E. J. (2018). Measuring the completeness of complete streets. *Transport Reviews*, *38*, 73-95. https://dx.doi.org/10.1080/01441647.2017.1299815

Île-de-France Mobilités. (2014). *Plan de déplacements urbains* ([Plan de déplacements urbains]). http://www.pduif.fr/IMG/pdf/pduif_2014.pdf

Jian, I. Y., Luo, J. et Chan, E. H. W. (2020). Spatial justice in public open space planning: Accessibility and inclusivity. *Habitat International*, *97*, 102122. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2020.102122

Jolicoeur, M. (2016, 12 octobre). *Aménagement et entretien hivernal en faveur des piétons et des cyclistes* [présentation]. Présentation communication présentée au 10e Congrès sur la viabilité hivernale - La ville, le citoyen et l'hiver. en plus de la chaussée générale et des trottoirs

Jones, P., Boujenko, N. et Marshall, S. (2007). *Link & place: a guide to street planning and design*. Local Transport Today Ltd.

Jones, P., Marshall, S. et Boujenko, N. (2008). Creating more people-friendly urban streets through « Link and Place » street planning and design. *IATSS Research*, *32*, 14-25. https://dx.doi.org/10.1016/S0386-1112(14)60196-5

Jones, P., Marshall, S. et Boujenko, N. (2009). « Link » and « Place »: A New Approach to Street Planning and Design. *Road and Transport Research: A Journal of Australian and New Zealand Research and Practice*, *18*.

Kaufmann, V. (2005). Mobilités et réversibilités : vers des sociétés plus fluides ?, SUMMARY. *Cahiers internationaux de sociologie*, (118), 119-135. https://doi.org/10.3917/cis.118.0119

Kim, M. (2016). *A Transit Route Network Design Considering Equity* [thèse de doctorat, Seoul National University]. https://hdl.handle.net/10371/118735

Le Devoir. (2015, 30 mai). Une voie cyclable sur Saint-Denis. *Le Devoir*. https://www.ledevoir.com/politique/montreal/441463/une-voie-cyclable-sur-saint-denis

Lee, R. J., Sener, I. N. et Jones, S. N. (2017). Understanding the role of equity in active transportation planning in the United States. *Transport Reviews*, *37*(2), 211-226. https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1239660

Lefebvre-Ropars, G., Morency, C. et Negron-Poblete, P. (2021a). A needs-gap analysis of street space allocation. *Journal of Transport and Land Use*, *14*(1), 151-170. https://doi.org/10.5198/jtlu.2021.1808

Lefebvre-Ropars, G., Morency, C. et Negron-Poblete, P. (2021b). Toward A Framework for Assessing the Fair Distribution of Space in Urban Streets: *Transportation Research Record*, *2675*(7), 259-274. https://doi.org/10.1177/0361198121995196

Lefèvre, S., Tuia, D., Wegner, J. D., Produit, T. et Nassar, A. S. (2017). Toward Seamless Multiview Scene Analysis From Satellite to Street Level. *Proceedings of the IEEE*, *105*(10), 1884-1899. https://doi.org/10.1109/JPROC.2017.2684300

Levinson, D., Marshall, W. et Axhausen, K. (2017). *Elements of Access. Transport Planning for Engineers, Transport Engineering for Planners.* Network Design Lab. http://www.blurb.com/b/8469315-elements-of-access

Lewis, P. et Torres, J. (2010). Les parents et les déplacements entre la maison et l'école primaire : quelle place pour l'enfant dans la ville? *Enfances, Familles, Générations*, (12), 44-64. https://doi.org/10.7202/044392ar

Litman, T. (1999). *Evaluating traffic calming benefits, costs and equity impacts*. Victoria Transport Policy Institute. https://trid.trb.org/view/496983

Litman, T. (2015). *Evaluating Complete Streets: The Value of Designing Roads For Diverse Modes, Users and Activities*. Victoria Transport Policy Institute. http://www.vtpi.org/compstr.pdf

Litman, T. (2018). *Evaluating Transportation Equity. Guidance For Incorporating Distributional Impacts in Transportation Planning*. Victoria Transport Policy Institute. http://www.vtpi.org/equity.pdf

Lloyd, C. D. (2014). The modifiable areal unit problem. Dans *Exploring Spatial Scale in Geography*. John Wiley & Sons, Ltd.

Lucas, K., van Wee, B. et Maat, K. (2016). A method to evaluate equitable accessibility: combining ethical theories and accessibility-based approaches. *Transportation*, *43*(3), 473-490. https://doi.org/10.1007/s11116-015-9585-2

Luxen, D. et Vetter, C. (2011). *Real-time Routing with OpenStreetMap Data*. New York, NY, USA (p. 513-516). https://doi.org/10.1145/2093973.2094062

Magrinya, F. (1996). Les propositions urbanistiques de Cerdà pour Barcelone: Une pensée de l'urbanisme des réseaux. *Flux*, 5-20. http://dx.doi.org/10.3406/flux.1996.1177

Marleau Donais, F., Abi-Zeid, I., Waygood, E. O. D. et Lavoie, R. (2019). Assessing and ranking the potential of a street to be redesigned as a Complete Street: A multi-criteria decision aiding approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *124*, 1-19. https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.02.006

Marshall, S. (2002). *A first theoretical approach to classification of arterial streets* ([Research Report] n° D1.1). http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.454.4703&rep=rep1&type=pdf

Marshall, S. (2003). The Street: Integrating Transport and Urban Environment. Dans David A. Hensher et Kenneth J. Button (dir.), *Handbook of Transport and the Environment* (vol. 4, p. 771-786). Emerald Group Publishing Limited.

Martens, K. (2016). *Transport justice: Designing fair transportation systems*. Routledge.

Martin, T. (2016, avril). *Exploration de données spatiales pour l'analyse des victimes routières et du partage de la rue* [mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. https://publications.polymtl.ca/2132/

Mayor of London. (2018). *Mayor's Transport Strategy*. Greater London Authority. https://www.london.gov.uk/sites/default/files/mayors-transport-strategy-2018.pdf

Mehta, V. (2013). *The Street : A Quintessential Social Public Space* (1st Edition). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203067635

Michaud, C. (2019). *Méthode de diagnostic du niveau d'équité d'un réseau de transport collectif* [mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal]. https://publications.polymtl.ca/3990/

Ministère des Transports du Québec. (2010a). *Conception routière* (11e éd., vol. I). Les Publications du Québec. http://www3.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/produits/ouvrage_routier/normes/norme8.fr.html

Ministère des Transports du Québec. (2010b). *Signalisation routière* (11e éd., vol. V). Les Publications du Québec. http://www3.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/produits/ouvrage_routier/normes/norme8.fr.html

Ministère des Transports du Québec. (2019, février). Documentation sur le modèle de transport de la région de Montréal - MOTREM13. Ministère des Transports du Québec.

Mjahed, L. B., Frei, C. et Mahmassani, H. S. (2015). Walking Behavior. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2495*, 94-100. https://doi.org/10.3141/2495-10

Morency, C. (2019, 25 avril). Constats aberrants sur l'usage des véhicules et des routes. *Association québécoise des transports*. https://aqtr.com/association/actualites/constats-aberrants-lusage-vehicules-routes

Morency, C., Alizadeh, H., Beaulieu, L.-D., Bouchard, É., Fabre, L., Jeudy, Y., Laviolette, J., Strauss, J. et Wielinski, G. (2018). *Smart Cities and Integrated Mobility* ([White Paper]). Polytechnique Montréal. https://static1.squarespace.com/static/596fb16003596e0fa70a232f/t/5b2a66c1f950b7e54549e35a/1529505474136/Smart-City-and-Integrated-Mobility-White-Paper-June-2018.pdf

Morency, C., Verreault, H. et Frappier, A. (2020). Estimating latent cycling and walking trips in Montreal. *International Journal of Sustainable Transportation*, *14*(5), 349-360. https://doi.org/10.1080/15568318.2018.1558467

Mullen, C., Tight, M., Whiteing, A. et Jopson, A. (2014). Knowing their place on the roads: What would equality mean for walking and cycling? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *61*, 238-248. https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.01.009

NACTO. (2013). *Urban street design guide*. Island Press. https://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/

NACTO. (2016, 14 novembre). *Multimodal Streets Serve More People* [page web]. Global Designing Cities Initiative. https://globaldesigningcities.org/publication/global-street-design-guide/defining-streets/multimodal-streets-serve-people/

Nello-Deakin, S. (2019). Is there such a thing as a 'fair' distribution of road space? *Journal of Urban Design*, *24*(5), 698-714. https://doi.org/10.1080/13574809.2019.1592664

Norton, P. D. (2007). Street Rivals: Jaywalking and the Invention of the Motor Age Street. *Technology and Culture*, *48*, 331-359. https://doi.org/10.1353/tech.2007.0085

NYCDOT. (2016). *Strategic Plan 2016: Safe, Green, Smart, Equitable*. New York City Department of Transportation. http://www.nycdotplan.nyc/PDF/Strategic-plan-2016.pdf

OpenStreetMap. (s. d.). *OpenStreetMap*. OpenStreetMap. https://www.openstreetmap.org/

OQLF. (2012a). *Îlot - Fiche terminologique - Route*. Grand dictionnaire terminologique. http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=17568846

OQLF. (2012b). *Îlot - Fiche terminologique - Urbanisme*. Grand dictionnaire terminologique. http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=17094270

Organisation mondiale de la Santé. (2000). *Obésité : prévention et prise en charge de l'épidémie mondiale* ([Série de Rapports techniques OMS] nº 894). Organisation mondiale de la Santé. http://www.who.int/nutrition/publications/obesity/WHO_TRS_894/fr/

Pandit, R., Polyakov, M., Tapsuwan, S. et Moran, T. (2013). The effect of street trees on property value in Perth, Western Australia. *Landscape and Urban Planning*, *110*, 134-142. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.11.001

Paquot, T. (2004). L'art de marcher dans la ville. *Esprit (1940-)*, (303 (3/4)), 201-214. https://www.jstor.org/stable/24249411

Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M. et Duchesnay, É. (2011). Scikit-learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, *12*(85), 2825-2830. http://jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html

Pelletier-Grenier, P. (2018, mars). *Modélisation de l'impact de la performance des modes actifs et collectifs sur le choix modal* [masters, École Polytechnique de Montréal]. https://publications.polymtl.ca/3047/

Pereira, R. H. M., Schwanen, T. et Banister, D. (2016). Distributive justice and equity in transportation. *Transport Reviews*, *37*, 170-191. https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1257660

Poitras, C. (2014). *La ville en mouvement. Les formes urbaines et architecturales du système automobile, 1900-1960*. CIEQ. https://depot.erudit.org/id/004026dd

Pooley, C. G., Horton, D., Scheldeman, G., Mullen, C., Jones, T. et Tight, M. (2014). 'You feel unusual walking': The invisible presence of walking in four English cities. *Journal of Transport & Health*, *1*, 260-266. https://doi.org/10.1016/j.jth.2014.07.003

Prytherch, D. (2018). *Law, Engineering, and the American Right-of-Way: Imagining a More Just Street*. Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75705-6

Rapoport, A. (1987). Pedestrian street use: culture and perception. Dans A. V. Moudon (dir.), *Public streets for public use* (p. 81). Van Nostrand Reinhold.

Raux, C. et Souche, S. (2001). L'acceptabilité des changements tarifaires dans le secteur des transports : comment concilier efficacité et équité ? *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, *octobre*(4), 539-558. https://doi.org/10.3917/reru.014.0539

Rodriguez-Valencia, A. (2014). *The Urban Right-of-way Allocation Problem: Considering All Demands*. Transportation Research Board 93rd Annual Meeting, Washington, DC, United States (p. 18). https://trid.trb.org/view/1288973

Rodriguez-Valencia, A. (2015). *The Emergence of Green Street Programs in the U.S.: A Study of Three Cities* [thèse de doctorat, University of California, Davis]. https://search.proquest.com/docview/1736054057

Sánchez, J. Á. (2017, 13 novembre). *Repenser la responsabilité lors de la mondialisation : vers une conception de la méta-responsabilité* [thèse de doctorat, Université Sorbonne Paris Cité]. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02277487

scikit-learn. (s. d.). *Post pruning decision trees with cost complexity pruning — scikit-learn 0.24.1 documentation*. scikit-learn. https://scikit-learn.org/stable/auto_examples/tree/plot_cost_complexity_pruning.html

Seriani, S., Fernandez, R. et Hermosilla, E. (2015). Experimental Study for Estimating Capacity of Cycle Lanes. *Transportation Research Procedia*, *8*, 192-203. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.06.054

Shapard, J. et Cole, M. (2013). Do Complete Streets Cost More than Incomplete Streets? *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2393*(1), 134-138. https://doi.org/10.3141/2393-15

SharedStreets. (2020). *SharedStreets*. SharedStreets. https://sharedstreets.io/https:/sharedstreets.io/

Shin, Y. E. (1997). *Analysis of city/transportation system relationship via land consumption* [ph.d., University of Pennsylvania]. https://search.proquest.com/docview/304369980/abstract/6B4A4DD99ECB4711PQ/1

Shin, Y. E., Vuchic, V. R. et Bruun, E. C. (2009). Land Consumption Impacts of a Transportation System on a City: An Analysis. *Transportation Research Record*, *2110*(1), 69-77. https://doi.org/10.3141/2110-09

Strauss, J., Miranda-Moreno, L. F. et Morency, P. (2014). Multimodal injury risk analysis of road users at signalized and non-signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, *71*, 201-209. https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.05.015

Szell, M. (2018). Crowdsourced Quantification and Visualization of Urban Mobility Space Inequality. *Urban Planning*, *3*(1), 1-20. http://dx.doi.org/10.17645/up.v3i1.1209

Talen, E. (1998). Visualizing Fairness: Equity Maps for Planners. *Journal of the American Planning Association*, *64*, 22-38. https://dx.doi.org/10.1080/01944369808975954

The City of Stockholm Traffic Administration. (2012). *Urban Mobility Strategy*. City of Stockholm. https://international.stockholm.se/globalassets/ovriga-bilder-och-filer/urban-mobility-strategy.pdf

Ullman, S. (2013). *Rightsizing Best Practices: Street Selection and Before & After Measurements*. Project for Public Spaces. https://www.pps.org/article/rightsizing-best-practices-street-selection-and-before-after-measurements

van Liere, B., Beens, O. et Knol, A. (2017). *Van wie is de stad?* Milieudefensie. https://milieudefensie.nl/actueel/van-wie-is-de-stad-pdf/view

Verreault, H. et Morency, C. (2011). Transcending the Typical Weekday with Large-Scale Single-Day Survey Samples. *Transportation Research Record*, *2230*(1), 38-47. https://doi.org/10.3141/2230-05

Ville de Montréal. (2014, 26 juin). *Une réelle stratégie d'agriculture urbaine se concrétise à Montréal* [page web]. Ville de Montréal - Arrondissement Rosemont–La Petite-Patrie.

http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=7357,77139652&_dad=portal&_schema=PORTAL&id=23214&ret=/pls/portal/url/page/arrond_rpp_fr/rep_annonces/rep_communiques/coll_communiques

Ville de Montréal. (2015, 1 octobre). Catalogue des panneaux - Signalisation écrite (Édition 2015.10). Ville de Montréal. https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/stationnement-sur-rue-signalisation-courant

Ville de Montréal. (2016, juin). *Politique de stationnement*. Ville de Montréal. http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=9517,142330697&_dad=portal&_schema=PORTAL

Ville de Montréal. (2017). Plan d'action de la Stratégie centre-ville: soutenir l'élan. Ville de Montréal. http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=9517,142747661&_dad=portal&_schema=PORTAL

Ville de Montréal. (2018, 5 juin). *Voies cyclables* [page web]. Banque d'information 311. http://www1.ville.montreal.qc.ca/banque311/content/voies-cyclables

Ville de Montréal. (2021a). *Projet de ville: Vers un plan d'urbanisme et de mobilité*. Ville de Montréal. https://portail-m4s.s3.montreal.ca/pdf/vdm_projet_de_ville.pdf

Ville de Montréal. (2021b, 15 septembre). *Le REV : un réseau express vélo*. Ville de Montréal. https://montreal.ca/articles/le-rev-un-reseau-express-velo-4666

Ville de Montréal. (s. d.-a). *Actifs de voirie (Base de données complète - Chaussée, Îlot, Intersection, Trottoir, Zone) - Jeu de données*. https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/voirie-actif

Ville de Montréal. (s. d.-b). *Arceaux à vélos*. Données ouvertes Montréal. https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/arceaux-velos

Ville de Montréal. (s. d.-c). *Géobase - réseau routier*. Données ouvertes Montréal. https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/geobase

Ville de Montréal. (s. d.-d). *Piétonnisations au centre-ville* [web page]. Ville de Montréal - Arrondissement de Ville-Marie.

http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=7317,79999570&_dad=portal&_schema=PORTAL

Will, M.-E., Cornet, Y. et Munshi, T. (2018). *Assessment of Physical and Ecological Space Consumed by Transport Modes: A Case of Rajkot City, India*. Transportation Research Board 97th Annual Meeting, Washington, DC, United States. https://trid.trb.org/View/1496108

Zheng, N. et Geroliminis, N. (2013). On the distribution of urban road space for multimodal congested networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, *57*, 326-341. https://doi.org/10.1016/j.trb.2013.06.003

ANNEXE A CODIFICATION DES SURFACES DE L'INVENTAIRE DES ACTIFS DE VOIRIE

categoriechaussee_ref	categorietrottoir_ref	typeilot_ref	typeintersection_ref	typeusagecyclable_ref	typezone_ref
Autoroute					
Autoroute accotement					
Bretelle					
Bretelle accotement					
Rue				Chaussée désignée	
Rue				Piste cyclable sans mail	
Rue				Traverse de piétons - vélo	
Rue				Trottoir désigné	
Rue				Voie cyclable - Bande cyclable	
Rue				Voie cyclable - Piste cyclable	
Rue					
Ruelle					
	Bordure				
	Bordure - autoroute				
	Trottoir			Trottoir - Voie cyclable	
	Trottoir			Trottoir désigné	
	Trottoir				
	Trottoir - autoroute				
	Voie cyclable			Trottoir désigné	
		Îlot central			
		Îlot central giratoire			
		Îlot déviateur			
		Îlot séparateur			
		Terre-plein central			
		Terre-plein central - autoroute			
		Terre-plein latéral - autoroute			
		Terre-plein latéral - cyclable			
		Terre-plein latéral - voirie			
			Accès - Passage de piétons avec feux de circulation	Chaussée désignée	
			Accès - Passage de piétons avec feux de circulation		
			Intersection de rues	Chaussée désignée	
			Intersection de rues		
					Non traitée
					Urbaine
					Voirie

ANNEXE B ANALYSE DE SENSIBILITÉ DES VITESSES EMPLOYÉES DANS LE CALCUL DES PASSAGERS-HEURES PARCOURUS

Une analyse de sensibilité est réalisée afin de s'assurer que la vitesse moyenne choisie dans la pondération des déplacements par leur durée (section 3.3.1.1) n'ait pas un effet notable sur les valeurs obtenues lors l'analyse d'écart offre-demande.

Dans le scénario de référence (Base), une vitesse de 20 km/h est employée pour les déplacements automobiles, de 10 km/h pour les déplacements en transport collectif (TC), de 15 km/h pour les déplacements à vélo et de 5 km/h pour les déplacements à pied.

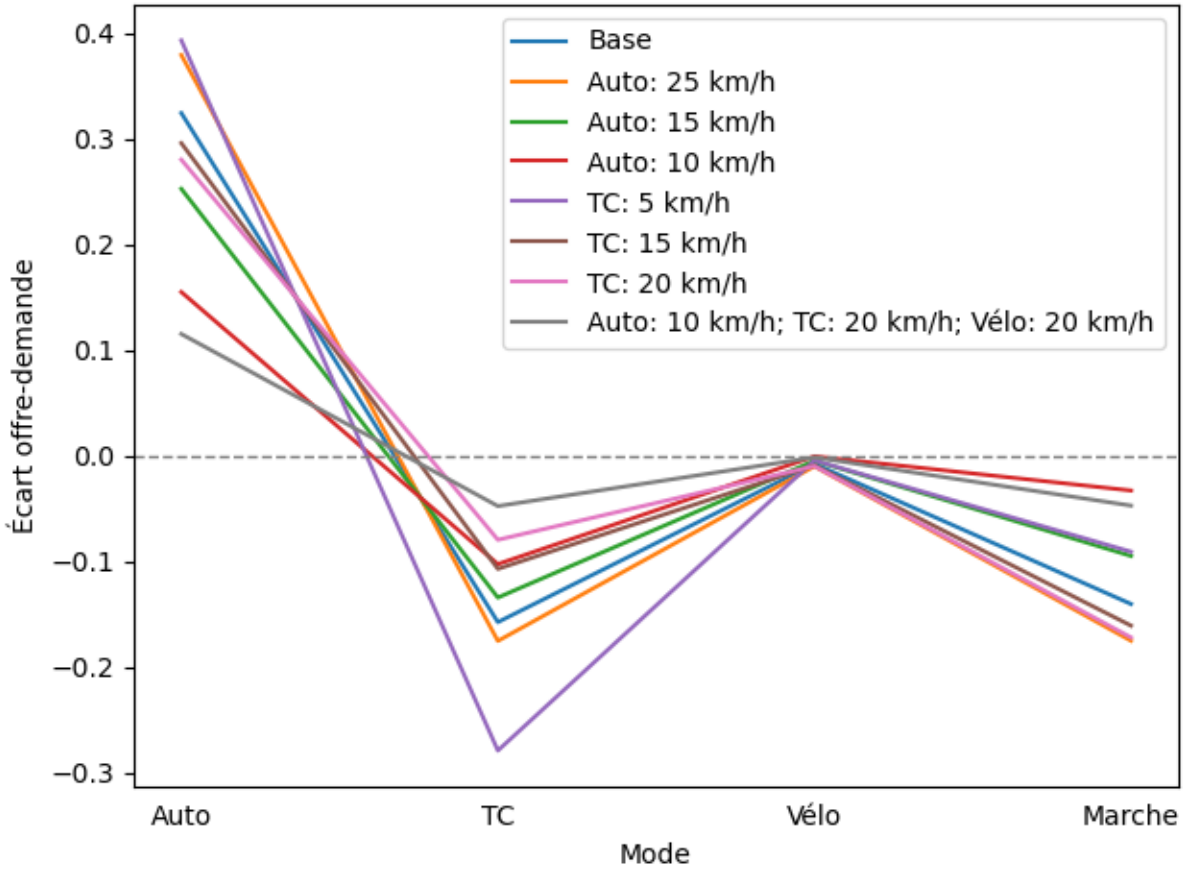


Figure A.1 Effet de la vitesse moyenne pour chaque mode sur l'écart offre-demande lorsque calculé à l'aide des passagers-heures parcourus (PHP)

L'indice d'écart offre-demande pour la demande observée est calculé en variant la vitesse de l'automobile et du transport collectif selon les valeurs indiquées dans la légende de la figure A.1.

Aucun écart notable n'ayant été constaté en modifiant la vitesse du vélo et de la marche, celles-ci ne sont pas montrées ici.

On constate à la figure A.1 que la modification de la vitesse utilisée pour pondérer les déplacements selon leur durée a un effet sur l'ampleur de l'écart offre-demande mesuré, mais n'a pas d'effet sur la tendance générale. En effet, l'écart offre-demande reste positif dans le cas de l'automobile, négatif dans le cas du transport collectif ainsi que de la marche et presque nul dans le cas du vélo. Cela confirme que le choix des vitesses moyennes, bien qu'exerçant une certaine influence sur les résultats, n'a pas un effet notable sur les conclusions générale des analyses d'écart offre-demande.

ANNEXE C RÉPARTITION DES TYPES D'USAGES DE LA VOIRIE SELON L'ARRONDISSEMENT

Les cartes présentées dans les pages suivantes illustrent la part de la superficie totale de la voirie allouée aux différents usages selon l'arrondissement. Se référer au tableau 3.3 pour la signification des codes associés à chaque usage.

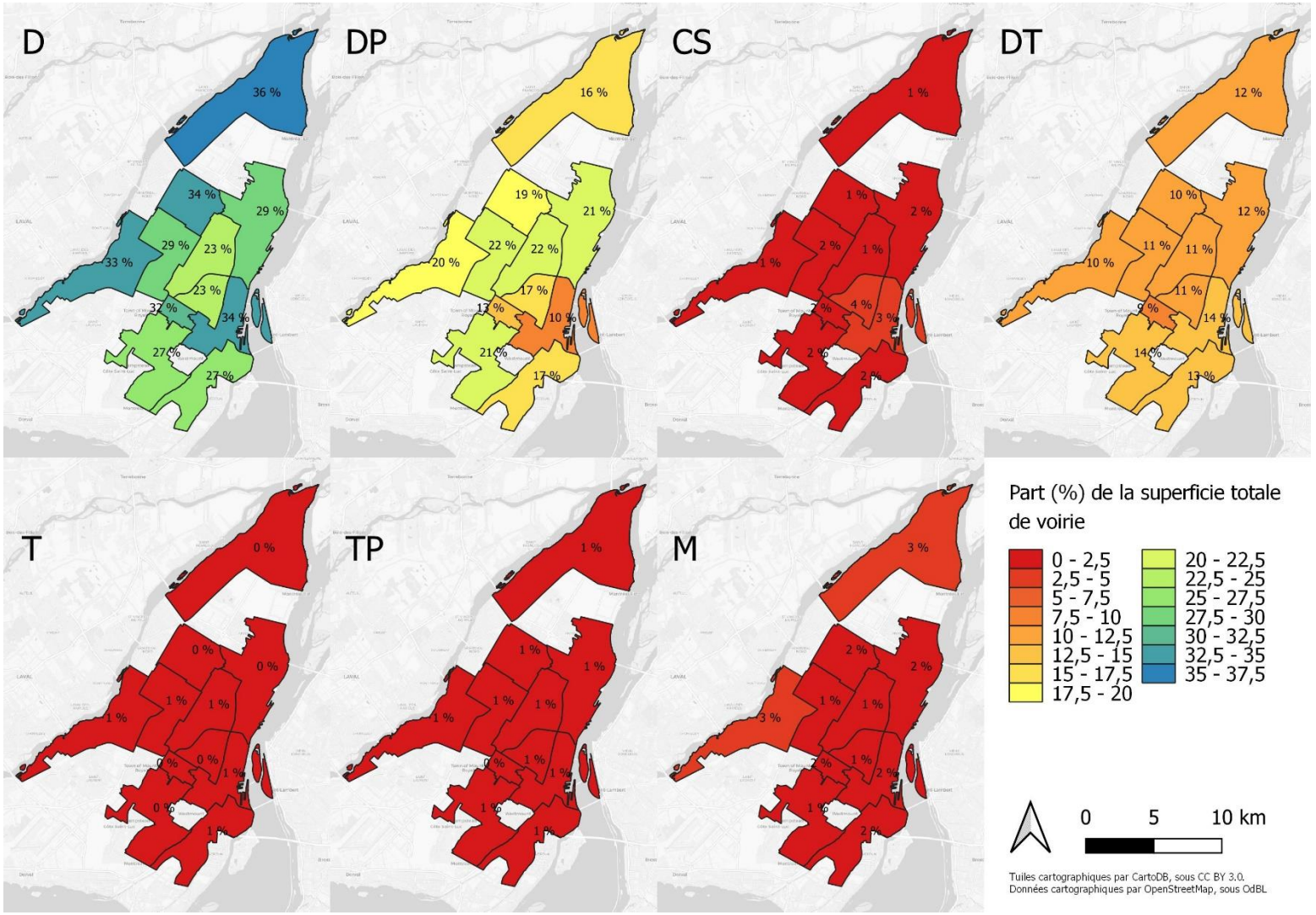


Figure C.1 Part de la superficie de voirie représentée par chacune des catégories d'usages, 1er janvier 2018, 8 h 00 (1/2)

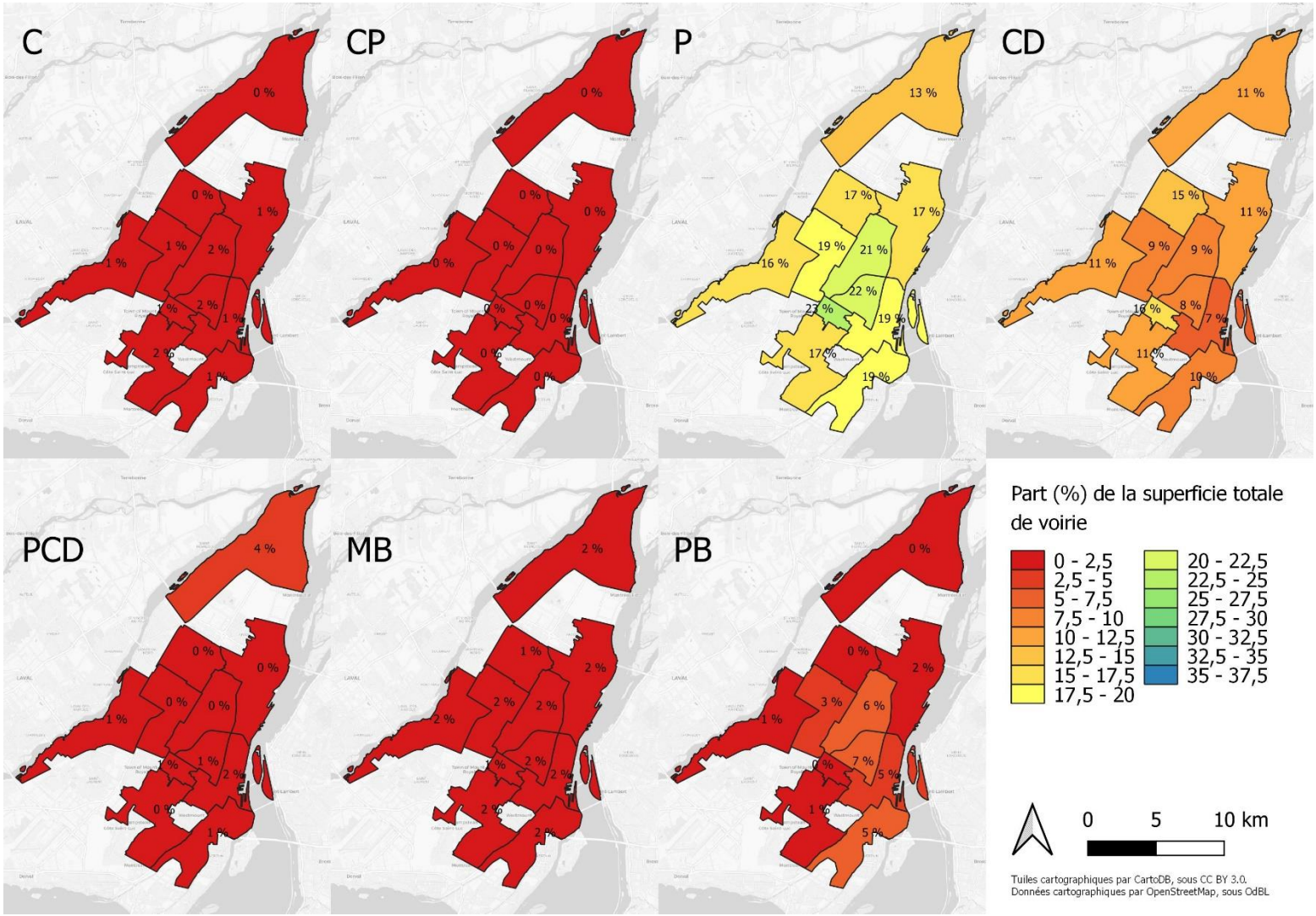


Figure C.2 Part de la superficie de voirie représentée par chacune des catégories d'usages, 1er janvier 2018, 8 h 00 (2/2)

ANNEXE D VALEUR MOYENNE DES INDICATEURS SYNTHÈSES DE PARTAGE DE LA VOIRIE SELON LE SCÉNARIO AU COURS DES DÉPLACEMENTS EFFECTUÉS DANS L'ARRONDISSEMENT DE VILLE-MARIE

Cette annexe présente les résultats détaillés de l'analyse de l'effet de différents scénarios de réallocation de l'espace de voirie dans l'arrondissement de Ville-Marie sur la valeur des indicateurs synthèses de partage de la voirie en fonction des attributs des déplacements et des individus. Les tableaux contenus dans l'annexe sont les suivants :

- Tableau D.1 Distribution de la valeur moyenne de l'indicateur suffisantiste (formulation exclusive) par scénario durant les trajets des déplacements observés dans l'arrondissement de Ville-Marie selon divers attributs des déplacements
- Tableau D.2 Distribution de la valeur moyenne de l'indicateur suffisantiste (formulation partagée) par scénario durant les trajets des déplacements observés dans l'arrondissement de Ville-Marie selon divers attributs des déplacements
- Tableau D.3 Distribution de la valeur moyenne de l'indicateur utilitariste par scénario durant les trajets des déplacements observés dans l'arrondissement de Ville-Marie selon divers attributs des déplacements
- Tableau D.4 Distribution de la valeur moyenne de l'indicateur égalitariste (demande observée) par scénario durant les trajets des déplacements observés dans l'arrondissement de Ville-Marie selon divers attributs des déplacements
- Tableau D.5 Distribution de la valeur moyenne de l'indicateur égalitariste (demande potentielle) par scénario durant les trajets des déplacements observés dans l'arrondissement de Ville-Marie selon divers attributs des déplacements

Se référer au tableau 7.3 pour un rappel de l'interprétation de chacun des indicateurs.

Tableau D.1 Distribution de la valeur moyenne de l'indicateur suffisantiste (formulation exclusive) par scénario durant les trajets des déplacements observés dans l'arrondissement de Ville-Marie selon divers attributs des déplacements

	Nombre de déplacements	**Scénario de référence**	**Scénario TC**	**Scénario vélo**	**Scénario marche**
Âge					
5 à 9	5 755	3,30	3,70	3,68	3,33
10 à 14	6 872	3,36	3,74	3,71	3,38
15 à 19	14 109	3,50	3,88	3,75	3,51
20 à 24	30 434	3,40	3,82	3,72	3,41
25 à 29	37 215	3,30	3,70	3,59	3,31
30 à 34	41 551	3,32	3,71	3,60	3,34
35 à 39	37 323	3,27	3,66	3,56	3,28
40 à 44	36 319	3,25	3,64	3,56	3,27
45 à 49	42 258	3,27	3,67	3,59	3,29
50 à 54	37 524	3,26	3,65	3,57	3,27
55 à 59	26 540	3,27	3,67	3,58	3,29
60 à 64	13 954	3,27	3,66	3,61	3,28
65 à 69	4 353	3,21	3,65	3,55	3,23
70 à 74	3 021	3,27	3,65	3,61	3,28
75 et +	2 253	3,25	3,69	3,61	3,27
Possession d'un permis					
Oui	284 104	3,27	3,67	3,58	3,29
Non	40 811	3,46	3,85	3,72	3,47
Revenu médian du SR du domicile (Recensement de 2016)					
20 000 $ et moins	4 400	3,50	3,91	3,80	3,50
20 001 à 40 000 $	63 280	3,31	3,71	3,58	3,32
40 001 à 60 000 $	157 790	3,31	3,72	3,61	3,33
60 001 à 80 000 $	69 153	3,25	3,64	3,57	3,27
Plus de 80 000 $	34 266	3,29	3,65	3,64	3,32
Provenance du déplacement					
Interne	17 322	3,35	3,71	3,61	3,35
Attiré	108 899	3,28	3,68	3,62	3,29
Produit	15 668	3,14	3,51	3,43	3,16
Transit	46 044	2,90	3,35	3,34	2,96

Tableau D.2 Distribution de la valeur moyenne de l'indicateur suffisantiste (formulation partagée) par scénario durant les trajets des déplacements observés dans l'arrondissement de Ville-Marie selon divers attributs des déplacements

	Nombre de déplacements	**Scénario de référence**	**Scénario TC**	**Scénario vélo**	**Scénario marche**
Âge					
5 à 9	5 755	4,43	3,98	4,69	4,43
10 à 14	6 872	4,38	4,01	4,64	4,38
15 à 19	14 109	4,51	4,19	4,70	4,51
20 à 24	30 434	4,49	4,10	4,68	4,49
25 à 29	37 215	4,38	4,01	4,58	4,38
30 à 34	41 551	4,41	4,00	4,60	4,41
35 à 39	37 323	4,33	3,95	4,54	4,33
40 à 44	36 319	4,31	3,92	4,53	4,31
45 à 49	42 258	4,33	3,96	4,55	4,33
50 à 54	37 524	4,28	3,92	4,51	4,28
55 à 59	26 540	4,31	3,96	4,53	4,31
60 à 64	13 954	4,28	3,91	4,53	4,28
65 à 69	4 353	4,24	3,90	4,50	4,24
70 à 74	3 021	4,30	3,93	4,54	4,30
75 et +	2 253	4,34	3,95	4,58	4,34
Possession d'un permis					
Oui	284 104	4,33	3,95	4,54	4,33
Non	40 811	4,55	4,17	4,73	4,55
Revenu médian du SR du domicile (Recensement de 2016)					
20 000 $ et moins	4 400	4,61	4,19	4,82	4,61
20 001 à 40 000 $	63 280	4,41	4,02	4,61	4,41
40 001 à 60 000 $	157 790	4,38	4,00	4,58	4,38
60 001 à 80 000 $	69 153	4,28	3,92	4,51	4,28
Plus de 80 000 $	34 266	4,29	3,91	4,54	4,29
Provenance du déplacement					
Interne	17 322	4,43	4,06	4,59	4,43
Attiré	108 899	4,26	3,91	4,50	4,26
Produit	15 668	4,24	3,90	4,46	4,24
Transit	46 044	3,95	3,60	4,28	3,95

Tableau D.3 Distribution de la valeur moyenne de l'indicateur utilitariste par scénario durant les trajets des déplacements observés dans l'arrondissement de Ville-Marie selon divers attributs des déplacements

	Nombre de déplacements	**Scénario de référence**	**Scénario TC**	**Scénario vélo**	**Scénario marche**
Âge					
5 à 9	5 755	29,25 %	31,56 %	30,29 %	36,75 %
10 à 14	6 872	29,56 %	31,65 %	30,41 %	37,10 %
15 à 19	14 109	30,44 %	32,30 %	30,96 %	35,18 %
20 à 24	30 434	31,84 %	34,09 %	32,46 %	36,77 %
25 à 29	37 215	30,90 %	32,89 %	31,58 %	36,23 %
30 à 34	41 551	30,86 %	32,90 %	31,51 %	36,39 %
35 à 39	37 323	30,60 %	32,57 %	31,31 %	36,22 %
40 à 44	36 319	30,02 %	32,04 %	30,78 %	36,02 %
45 à 49	42 258	30,12 %	32,10 %	30,86 %	35,94 %
50 à 54	37 524	30,13 %	32,08 %	30,87 %	36,11 %
55 à 59	26 540	30,38 %	32,29 %	31,14 %	36,19 %
60 à 64	13 954	29,96 %	31,98 %	30,69 %	36,05 %
65 à 69	4 353	29,66 %	31,70 %	30,44 %	35,91 %
70 à 74	3 021	29,21 %	31,22 %	29,99 %	35,38 %
75 et +	2 253	29,48 %	31,75 %	30,28 %	36,07 %
Possession d'un permis					
Oui	284 104	30,27 %	32,27 %	31,00 %	36,11 %
Non	40 811	32,27 %	34,30 %	32,75 %	36,48 %
Revenu médian du SR du domicile (Recensement de 2016)					
20 000 $ et moins	4 400	31,88 %	33,93 %	32,33 %	36,96 %
20 001 à 40 000 $	63 280	31,07 %	33,13 %	31,68 %	35,93 %
40 001 à 60 000 $	157 790	30,86 %	32,88 %	31,56 %	36,41 %
60 001 à 80 000 $	69 153	29,73 %	31,66 %	30,49 %	35,91 %
Plus de 80 000 $	34 266	29,50 %	31,51 %	30,31 %	36,02 %
Provenance du déplacement					
Interne	17 322	31,38 %	33,23 %	31,86 %	35,76 %
Attiré	108 899	29,54 %	31,54 %	30,27 %	35,64 %
Produit	15 668	28,61 %	30,53 %	29,28 %	34,56 %
Transit	46 044	25,59 %	27,75 %	26,69 %	33,70 %

Tableau D.4 Distribution de la valeur moyenne de l'indicateur égalitariste (demande observée) par scénario durant les trajets des déplacements observés dans l'arrondissement de Ville-Marie selon divers attributs des déplacements

	Nombre de déplacements	**Scénario de référence**	**Scénario TC**	**Scénario vélo**	**Scénario marche**
Âge					
5 à 9	5 755	57,28	59,51	57,97	62,75
10 à 14	6 872	56,13	58,60	57,13	62,03
15 à 19	14 109	53,49	55,17	54,15	57,61
20 à 24	30 434	53,87	55,52	54,68	58,29
25 à 29	37 215	54,58	56,18	55,13	58,91
30 à 34	41 551	54,51	56,39	55,10	59,07
35 à 39	37 323	54,93	56,47	55,34	59,07
40 à 44	36 319	55,81	57,35	56,34	60,39
45 à 49	42 258	56,12	57,58	56,71	60,45
50 à 54	37 524	56,49	57,89	57,05	61,04
55 à 59	26 540	56,32	57,76	56,87	60,75
60 à 64	13 954	56,83	58,29	57,58	61,31
65 à 69	4 353	58,19	60,00	59,01	63,22
70 à 74	3 021	57,65	58,71	58,37	62,25
75 et +	2 253	59,07	60,61	59,80	63,45
Possession d'un permis					
Oui	284 104	55,89	57,39	56,46	60,36
Non	40 811	52,04	54,04	52,67	56,04
Revenu médian du SR du domicile (Recensement de 2016)					
20 000 $ et moins	4 400	53,33	54,64	53,92	58,35
20 001 à 40 000 $	63 280	55,10	56,80	55,66	58,98
40 001 à 60 000 $	157 790	55,21	56,81	55,77	59,71
60 001 à 80 000 $	69 153	55,47	57,00	56,05	60,09
Plus de 80 000 $	34 266	56,57	58,03	57,27	61,14
Provenance du déplacement					
Interne	17 322	53,66	55,56	54,44	57,88
Attiré	108 899	57,20	58,27	58,01	61,71
Produit	15 668	58,03	59,09	58,55	62,46
Transit	46 044	69,53	69,36	69,68	73,49

Tableau D.5 Distribution de la valeur moyenne de l'indicateur égalitariste (demande potentielle) par scénario durant les trajets des déplacements observés dans l'arrondissement de Ville-Marie selon divers attributs des déplacements

	Nombre de déplacements	**Scénario de référence**	**Scénario TC**	**Scénario vélo**	**Scénario marche**
Âge					
5 à 9	5 755	39,78	43,25	43,70	45,74
10 à 14	6 872	39,24	42,58	42,96	45,10
15 à 19	14 109	39,44	41,45	42,07	43,61
20 à 24	30 434	40,48	43,21	43,81	45,16
25 à 29	37 215	40,89	44,45	43,97	45,70
30 à 34	41 551	40,52	44,18	43,60	45,58
35 à 39	37 323	40,80	44,44	43,84	45,65
40 à 44	36 319	41,05	44,84	44,27	46,22
45 à 49	42 258	41,29	44,83	44,58	46,21
50 à 54	37 524	41,54	45,18	44,75	46,68
55 à 59	26 540	41,61	45,06	44,94	46,63
60 à 64	13 954	41,39	44,71	45,04	46,42
65 à 69	4 353	41,59	45,48	45,14	46,95
70 à 74	3 021	41,56	44,37	45,31	46,77
75 et +	2 253	41,81	45,71	45,93	46,96
Possession d'un permis					
Oui	284 104	41,20	44,77	44,47	46,26
Non	40 811	39,61	42,23	42,31	43,73
Revenu médian du SR du domicile (Recensement de 2016)					
20 000 $ et moins	4 400	40,01	41,46	43,30	45,11
20 001 à 40 000 $	63 280	40,79	44,25	43,85	45,11
40 001 à 60 000 $	157 790	41,13	44,62	44,37	46,12
60 001 à 80 000 $	69 153	40,75	44,31	43,91	45,99
Plus de 80 000 $	34 266	40,90	44,13	44,25	46,08
Provenance du déplacement					
Interne	17 322	39,54	42,12	42,37	43,85
Attiré	108 899	41,03	44,24	44,45	46,07
Produit	15 668	40,65	44,08	44,00	45,72
Transit	46 044	47,94	52,49	52,99	53,83