POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Méthode de diagnostic du niveau d'équité d'un réseau de transport collectif

CHARLES MICHAUD

Département des génies civil, géologique et des mines

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

Génie civil

Août 2019

© Charles Michaud, 2019.

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé:

Méthode de diagnostic du niveau d'équité d'un réseau de transport collectif

présenté par **Charles MICHAUD**

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

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

Owen WAYGOOD, président

Catherine MORENCY, membre et directrice de recherche

Geneviève BOISJOLY, membre et codirectrice de recherche

Mohsen NAZEM, membre

DÉDICACE

À tous ceux qui rêvent d'une mobilité plus

équitable,

humaine,

réfléchie,

durable,

accessible,

LIBRE!

REMERCIEMENTS

Compte tenu de l'envergure du processus de recherche ayant mené à la rédaction de ce mémoire, un certain nombre de remerciements sont de mise. Il faut dire que le fait de provenir d'un domaine autre que le génie a constitué un défi de taille tout au long de cette maîtrise. La nécessaire adaptation s'est heureusement bien soldée, en dépit des nombreux obstacles et phases récurrentes de profonde remise en question qui ont ponctué mon parcours. J'ai ressenti malgré tout un soutien indéfectible de la part de ma directrice Catherine Morency tout au long de ma maîtrise. Cette grande passionnée m'a incité à me surpasser et à sortir de ma zone de confort, ce qui s'est traduit par le développement de plusieurs compétences. L'arrivée de ma codirectrice Geneviève Boisjoly a également contribué à ma réussite, celle-ci effectuant des recherches sur des sujets analogues au sujet de mon mémoire. Merci à toutes les deux pour votre bon encadrement, vos critiques et vos conseils ces derniers mois.

J'aimerais également remercier tous les étudiants du bureau B-330 pour leur soutien et de l'entraide qu'ils m'ont généreusement prodigués tout au long de mon processus d'apprentissage. Sans cette précieuse aide, je ne serais probablement pas arrivé au même résultat. Bien que tous aient à moment ou à un autre contribué au maintien d'un bon moral, j'aimerais effectuer quelques remerciements plus personnalisés. Merci à Vincent de m'avoir encouragé à toujours améliorer mes façons de faire et de m'avoir fait prendre conscience à diverses reprises du chemin parcouru. Un merci à ton petit côté « geek » sans lequel j'aurais sûrement été moins porté vers les multiples logiciels utiles pour simplifier mes analyses. Merci Gabriel, mon compatriote de domaine de l'urbanisme, qui m'a été de bon conseil à maints égards et qui était toujours prêt à venir en aide à ses collègues en détresse. Merci aussi à Simon pour l'aide relative aux requêtes SQL complexes, et pour ses encouragements. L'équipe de recherche de la Chaire Mobilité a été également d'une grande aide, ne serait-ce qu'en raison des conseils techniques qu'ils partagent sans hésiter. Un merci tout particulier à Pierre-Léo, qui m'a été d'une aide irremplaçable en ce qui a trait aux calculs d'accessibilité, en plus de m'avoir poussé à développer mes compétences de programmation et de m'avoir encouragé en tout temps.

Même s'il était parfois difficile de leur expliquer en quoi consiste ma maîtrise, je tiens à remercier ma famille et mes amis proches pour leur soutien, mais aussi pour m'avoir changé les idées lorsque cela était nécessaire. Merci à la Chaire Mobilité, au Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada et au CIRRELT pour leur soutien financier, aux partenaires de la Chaire pour le partage des données opérationnelles et à l'AQTr pour les diverses opportunités de formation.

RÉSUMÉ

Le présent mémoire s'inscrit dans une perspective d'émergence d'approches visant une intégration pratique des principes du développement durable en transport, plus précisément des enjeux sociaux liés à la mobilité des personnes. L'approche préconisée dans ces pages pour traiter d'équité repose sur le concept d'accessibilité, qui fait intervenir à la fois les réseaux de transport et l'aménagement du territoire et qui constitue un des principaux bénéfices dérivés des réseaux de transport. L'accent est mis tout particulièrement sur l'offre de transport collectif ainsi que sur les services de proximité, vu leur importance pour les personnes vulnérables du point de vue de la mobilité, particulièrement dans le contexte actuel d'étalement urbain et de dépendance automobile. L'hypothèse à la base de la méthode présentée dans ce mémoire avance que l'offre de transport en commun devrait favoriser les individus les plus défavorisés en matière de transport, soit ceux qui cumulent plusieurs facteurs de risque associés à une accessibilité restreinte. L'émergence d'un courant de littérature relatif à l'exclusion sociale par le transport a permis de mettre en lumière les conséquences possibles d'un déficit d'accessibilité aux opportunités chez ces groupes d'individus.

Ce mémoire cherche à répondre à des objectifs de portée diverse. Tout d'abord, il vise à améliorer l'articulation des principes de justice ainsi que la conceptualisation des enjeux sociaux relatifs à la mobilité. Cela a pour but de favoriser l'intégration des considérations d'équité dans les pratiques de planification du transport collectif. Le développement d'une approche intuitive et rigoureuse visant à diagnostiquer l'équité d'une offre de transport représente en ce sens un deuxième objectif. En outre, ce mémoire vise à mettre en valeur le potentiel d'une approche de planification reposant sur la notion d'accessibilité, plus englobante que celle de mobilité qui est généralement employée. Globalement, l'approche développée repose sur des mesures d'accessibilité locales, régionales et à l'offre de transport collectif, qui sont évaluées à la lumière d'une échelle de vulnérabilité sociale.

La première partie du mémoire consiste en une brève introduction, dont l'objectif est de permettre une conceptualisation approfondie de l'importance d'une offre de transport collectif de qualité pour l'équité sociale, surtout dans le contexte de dépendance automobile. Dans cette optique, le transport collectif est garant d'une accessibilité minimale aux opportunités pour l'ensemble de la population, et non seulement pour les individus ayant la capacité d'utiliser un véhicule privé.

La deuxième partie du mémoire présente une revue littéraire exhaustive visant à informer les choix faits lors du développement de la méthode de diagnostic. Les principales mesures d'accessibilité y

sont présentées, tout comme les implications des principes de justice distributive dans une optique d'équité du transport. Les facteurs de vulnérabilité sociale liés à la mobilité sont aussi abordés, tout comme les principaux outils de mesure de l'équité et les méthodes de diagnostic présentes au sein de la littérature en transport, lesquelles ont servi d'inspiration pour la méthode propre à ce mémoire.

La troisième section se rapporte au cadre méthodologique. En premier lieu, une échelle cumulative de vulnérabilité sociale en transport est développée en vue du diagnostic d'équité. Des mesures d'accessibilité sont ensuite développées en fonction de trois volets, à savoir l'accessibilité locale à pied, l'accessibilité régionale via l'offre de transport collectif ainsi que le niveau d'exposition à ce service (intensité). Un cadre d'analyse double est alors identifié, lequel permet un diagnostic à la lumière de deux principes de justice distributive. Pour l'approche égalitariste, des tableaux agrégés d'accessibilité sont développés afin d'évaluer sa répartition entre les groupes de population définis en fonction de l'échelle de vulnérabilité. Des typologies d'accessibilité spatiale sont alors élaborées sur la base des trois volets de mesures, ce qui apporte une compréhension plus fine des enjeux liés à la répartition territoriale des populations vulnérables. Quant à l'approche sufficientariste, elle se concentre plutôt sur le concept de pauvreté d'accessibilité, indissociable de l'idée d'un seuil selon lequel un individu peut se retrouver en situation de déficit. Pour les deux approches, une évaluation des points chauds est conduite afin d'identifier les pôles de concentration des individus vulnérables sur le territoire, autrement dit les endroits plus à risque en matière d'exclusion sociale en transport.

La quatrième section présente les nombreux résultats, à commencer par l'analyse de la vulnérabilité en transport, qui fait ressortir des tendances spatiales, mais aussi relatives aux profils de mobilité. Quant à l'équité d'accessibilité, certains constats émergent, tels que le fait que l'offre de transport collectif montréalaise semble globalement favoriser les groupes vulnérables, moyennant cependant de longs trajets. Cela fait écho à leur répartition spatiale à la lumière de l'analyse par typologies d'accessibilité, ces individus étant concentrés dans les zones péricentrales, caractérisées par un bon niveau de desserte, mais une absence de modes rapides et structurants. Dans un autre ordre d'idées, l'issue du diagnostic varie selon le principe de justice considéré, mettant en évidence l'impact des hypothèses sous-jacentes à chacune des approches sur le diagnostic résultant.

La cinquième et dernière section consiste en une conclusion générale du mémoire. Une synthèse y est présentée, suivie des principales contributions de l'approche, des limites qui y sont associées et des perspectives de recherche qu'il serait pertinent d'explorer par la suite.

ABSTRACT

This thesis lies within the general perspective aiming to incorporate sustainability principles into transportation planning practices, more precisely with respect to social issues regarding individual mobility. The approach developed here is based on the concept of accessibility, which combines both transport and land-use systems, helping grasp a better understanding of spatial phenomena. According to several authors, accessibility represents the main benefit associated with a transport system. This thesis focuses on public transport networks and local amenities, since they have both been shown to be highly important to vulnerable individuals in the context of daily life, especially in the context of sprawl and car dependency. The underlying hypothesis of this work stipulates that the supply of public transport should favor individuals who show a high vulnerability towards mobility. This lies in concordance with the literature on transport and social exclusion, which has highlighted that a lack of accessibility among these population groups increases their odds of experiencing difficulties reaching activities, thus increasing their risk of being socially excluded.

The thesis has three main goals. First, it aims to disentangle the principles of justice found in the transport literature and to improve the conceptualization of mobility-related equity issues, that being a necessary step towards a better integration of social matters into planning practices. It also aims to develop an approach to diagnose the level of equity of a public transport system that is both theoretically sound and yet simple to use and communicate. Moreover, another specific goal of this thesis is to foster the use of accessibility measures as an additional planning tool in the field of transportation, since these bring a different perspective compared to the usual mobility measures. Hence, the approach developed here relies on accessibility measures at three levels (local, regional, public transport supply) which are then assessed with respect to a transportation vulnerability scale.

The first section of the thesis consists of an introduction. Its purpose is to give a clear understanding of the importance of a public transport supply for achieving social justice, particularly in the context of car dependency. In this regard, public transport can be seen as a guarantee for insuring minimal accessibility levels to basic services and opportunities for all individuals and not only for those having access to a private vehicle.

The second part of the thesis presents a comprehensive literature review, developed in order to help elaborate a sound methodology to conduct an equity diagnosis. In this section, the different types of accessibility measures are described, while the implications of justice principles in the field of

transportation are detailed. Mobility-related vulnerability factors are thereafter identified, followed by a review of equity metrics and methods used for diagnosing equity in the transportation context.

The third step of the thesis refers to methodology, which is broken down into distinct parts. First, a cumulative transport vulnerability scale is set up to enable the comparison of different population groups. Secondly, accessibility measures are developed with respect to three distinct levels, referring to local accessibility (by walking), regional accessibility (by public transport) and the exposure to the public transport supply at the local scale. Afterwards, two specific approaches are defined to assess equity levels, each based on a different justice principle. As for the egalitarian approach, aggregated accessibility tables are developed in order to evaluate whether the local services and transit supply favor vulnerable individuals. Still in an egalitarian view of justice, accessibility typologies are set up based on the three levels of measures, which helps bring some insight into the spatial distribution of vulnerable individuals and the issues they face regarding mobility. As for the sufficientarian approach, the method relies on the definition of thresholds according to which an individual can be considered lacking sufficient access to a specific kind of opportunity or service. Both approaches include heatmaps to identify hotspots of vulnerability across the study area, in other words zones that might experience a greater risk of social exclusion.

The fourth subdivision of the thesis presents the results of the method. The first step is to highlight some trends with respect to the vulnerability scale, both in terms of spatial dispersion and mobility habits. This is followed by the proper equity diagnosis, which allows for significant trends to emerge. Generally speaking, the public transport supply does seem to favor vulnerable population groups, although this comes at the expense of long commutes. This fact echoes to their spatial distribution according to the typology analysis, these individuals showing high concentrations on the outskirts of the central districts, in areas characterized by high frequencies but the absence of mass rapid transit lines. Otherwise, the outcomes of the diagnosis seem to depend on the underlying justice theory, as both approaches lead to differences in terms of prioritization of areas of concern.

The fifth and last part of the thesis is its conclusion. A synthesis of the whole process is presented, followed by an identification of the main contributions of the research. Subsequently, limitations are detailed to help readers better understand the scope of this thesis. The research perspectives are described at last to allow for future developments regarding the topic of transportation equity that could not be covered within the framework of this project.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE III

REMERCIEMENTS IV

RÉSUMÉ V

ABSTRACT VII

TABLE DES MATIÈRES IX

LISTE DES TABLEAUX XIV

LISTE DES FIGURES XV

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS XIX

LISTE DES ANNEXES XX

CHAPITRE 1 INTRODUCTION 1

1.1 Mise en contexte 1

1.2 Problématique 2

1.2.1 Enjeux stratégiques de planification des transports 2

1.2.2 Problématique spécifique 4

1.3 Objectifs de recherche 6

1.4 Structure du mémoire 7

CHAPITRE 2 REVUE LITTÉRAIRE 8

2.1 Conceptualiser l'équité en transport 8

2.1.1 Qu'est-ce que l'équité? 8

2.1.2 Transport et équité 10

2.2 Comprendre la valeur sociale du transport collectif 16

2.2.1 Paradigmes de planification des transports 16

2.2.2 Le transport collectif : régulateur des inégalités sociales? 23

2.3 Mesurer l'accessibilité 24
2.3.1 Catégories de mesures 26
2.3.2 Angle d'analyse 32
2.3.3 Choix des opportunités 33
2.4 Vulnérabilité sociale et pauvreté d'accessibilité 34
2.4.1 Caractéristiques personnelles et liées au ménage 35
2.4.2 Caractéristiques du voisinage et d'accessibilité 37
2.5 Principes de justice distributive 38
2.5.1 Utilitarisme 38
2.5.2 Égalitarisme 40
2.5.3 Sufficientarisme 42
2.5.4 Capacitisme 46
2.5.5 Approche hybride (égalitarisme et sufficientarisme) 48
2.6 Diagnostiquer l'équité en transport 50
2.6.1 Distinguer la ressource du bénéfice 50
2.6.2 Équité horizontale 51
2.6.3 Équité verticale 53
2.6.4 Méthodes appliquées de diagnostic d'équité 55
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE 60
3.1 Méthode générale 60
3.2 Région d'analyse 64
3.3 Description des données 65
3.3.1 Enquête Origine Destination 2013 65
3.3.2 Données *GTFS* 65

3.3.3 Opportunités géolocalisées 67
3.3.4 Recensement canadien de 2016 68
3.4 Mesures d'accessibilité 68
3.4.1 Choix des catégories d'opportunités 70
3.4.2 Opérations sur les bases de données d'opportunités 71
3.4.3 Distinction des échelles locale et régionale 75
3.4.4 Mesures d'opportunités cumulées 76
3.4.5 Mesures d'exposition à l'offre de transport collectif 79
3.5 Diagnostic d'équité sociale en transport 84
3.5.1 Échelle de vulnérabilité sociale en transport 85
3.5.2 Diagnostic égalitariste 87
3.5.3 Diagnostic sufficientariste 92
CHAPITRE 4 RÉSULTATS 97
4.1 Échelle de vulnérabilité en transport 97
4.1.1 Distribution spatiale de la vulnérabilité en transport 100
4.1.2 Profils de mobilité des segments de population 102
4.2 Diagnostic égalitariste 104
4.2.1 Analyse comparative des niveaux moyens d'accessibilité 104
4.2.2 Typologies d'accessibilité multiniveaux 108
4.3 Diagnostic sufficientariste 119
4.3.1 Trilogies de cartes sufficientaristes 119
4.3.2 Pauvreté d'accessibilité cumulée 128
CHAPITRE 5 CONCLUSION 134
5.1 Synthèse de la méthode 134

5.2 Contributions du mémoire 137
5.2.1 Définition d'un cadre théorique de diagnostic de l'équité en transport 137
5.2.2 Échelle de vulnérabilité sociale en transport 138
5.2.3 Banque d'opportunités favorables au développement individuel 138
5.2.4 Mesures d'accessibilité à une échelle désagrégée 139
5.2.5 Illustration de la variabilité du diagnostic selon le principe de justice 139
5.2.6 Approche par typologies d'accessibilité 140
5.3 Limites du cadre méthodologique 140
5.3.1 Échelle de vulnérabilité sociale en transport 140
5.3.2 Constitution des bases de données 141
5.3.3 Mesures d'accessibilité aux opportunités 142
5.3.4 Diagnostic de l'équité sociale du transport collectif 144
5.4 Perspectives 146
5.4.1 Évaluation des impacts de scénarios sur l'accessibilité 146
5.4.2 Personnalisation des paramètres 147
5.4.3 Variabilité temporelle de l'accessibilité 149
5.4.4 Diversité des alternatives de transport 150
5.4.5 Opérationnalisation du cadre théorique dans les outils décisionnels 150
5.4.6 Approfondissement de la variabilité des profils de mobilité 151
5.4.7 Analyses de sensibilité relatives aux seuils employés 152
5.4.8 Tarification sociale du transport collectif 152
5.4.9 Externalités négatives des réseaux de transport 153
5.4.10 Réseaux de transport collectif et embourgeoisement 154
5.4.11 Différentiel d'accessibilité entre voiture et transport collectif 155

RÉFÉRENCES 156

ANNEXES 175

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 - Choix des opportunités pour les mesures d'accessibilité. 71

Tableau 3.2 - Expressions régulières employées dans CanMap. 72

Tableau 3.3 - Nombre d'occurrences de chaque ensemble et doublons épargnés. 73

Tableau 3.4 - Provenance des opportunités géolocalisées. 74

Tableau 3.5 - Distinction entre opportunités locales et régionales. 76

Tableau 3.6 - Définition des typologies d'accessibilité. 90

Tableau 3.7 - Exemple d'assignation d'une typologie aux individus. 90

Tableau 3.8 - Seuils pour les opportunités locales. 94

Tableau 3.9 - Seuils pour l'offre de transport collectif. 94

Tableau 3.10 - Seuils pour les opportunités régionales. 94

Tableau 4.1 - Segments de vulnérabilité et prépondérance des attributs constituants. 98

Tableau 4.2 - Valeurs moyennes du facteur de pondération selon le niveau de vulnérabilité. 100

Tableau 4.3 - Quantité d'opportunités accessibles à 10 minutes de marche selon la vulnérabilité. 105

Tableau 4.4 - Quantité d'opportunités accessibles à 20 minutes de marche selon la vulnérabilité. 105

Tableau 4.5 - Quantité d'opportunités accessibles en 30 minutes de TC selon la vulnérabilité. . 106

Tableau 4.6 - Quantité d'opportunités accessibles en 60 minutes de TC selon la vulnérabilité. . 106

Tableau 4.7 - Exposition à l'offre de TC à 5 et 10 minutes de marche selon la vulnérabilité. 107

Tableau 4.8 - Caractéristiques générales des typologies d'accessibilité. 109

Tableau 4.9 - Comportements de mobilité chez la population de référence (V1-V2-V3). 110

Tableau 4.10 - Comportements de mobilité chez la population vulnérable (V5-V6-V7). 110

Tableau 4.11 - Hiérarchisation et répartition des interventions entre transport et urbanisme. 117

Tableau 4.12 - Score individuel maximal et indice de déficit cumulé sur la population. 127

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 - Synthèse de la problématique de recherche. 5

Figure 2.1 - Représentation schématique de l'équité. 9

Figure 2.2 - Résumé des deux principales approches en planification des transports. 17

Figure 2.3 - Variation des investissements en transport per capita selon le décile de revenu. 22

Figure 2.4 - Relation entre l'accessibilité aux opportunités et la participation sociale. 45

Figure 2.5 - Courbe de Lorenz et indice de Gini. 53

Figure 3.1 - Schéma synthétique de la méthodologie. 63

Figure 3.2 - Agglomération de Montréal (en indigo) et réseaux structurants de transport collectif. 64

Figure 3.3 - Schéma d'un ensemble complet de données *GTFS* 66

Figure 3.4 - Extrait du code servant à créer la couche des Grands Parcs. 73

Figure 3.5 - Équations du modèle d'opportunités cumulées. 77

Figure 3.6 – Illustration de mesures d'accessibilité locale (A_{loc}) et régionale (A_{reg}). 77

Figure 3.7 - Mesure d'accès aux arrêts. 81

Figure 3.8 - Mesure des passages-ligne. 81

Figure 3.9 - Mesure de disponibilité temporelle continue d'une offre de TC. 83

Figure 3.10 - Variations cumulées entre les seuils. 91

Figure 4.1 - Corrélation entre les attributs relatifs à l'échelle de vulnérabilité. 97

Figure 4.2 - Progression des attributs le long de l'échelle de vulnérabilité. 99

Figure 4.3 - Population de référence (V1-V2-V3) et population vulnérable (V5-V6-V7) 99

Figure 4.4 - Variabilité du facteur de pondération selon le segment de vulnérabilité. 100

Figure 4.5 - Concentration de la population de référence (V1-V2-V3) par secteur municipal. .. 101

Figure 4.6 - Concentration de la population vulnérable (V5-V6-V7) par secteur municipal. 101

Figure 4.7 - Concentrations spatiales de populations vulnérables (V5-V6-V7). 102

Figure 4.8 - Profils de mobilité pour l'ensemble de la population (V1 à V7; 100% de la population). 103

Figure 4.9 - Profils de mobilité de la population de référence (V1-V2-V3; 67,4% de la population). 103

Figure 4.10 - Profils de mobilité de la population vulnérable (V5-V6-V7; 8,4% de la population). 103

Figure 4.11 - Carte-synthèse des huit typologies d'accessibilité. 108

Figure 4.12 - Profils de mobilité selon la typologie d'accessibilité et le niveau de vulnérabilité. 111

Figure 4.13 - Ménages de la typologie #1. 112

Figure 4.14 - Points de chaleur (typologie #1). 112

Figure 4.15 - Ménages de la typologie #2. 113

Figure 4.16 - Points de chaleur (typologie #2). 113

Figure 4.17 - Ménages de la typologie #3. 113

Figure 4.18 - Points de chaleur (typologie #3). 113

Figure 4.19 - Ménages de la typologie #4. 114

Figure 4.20 - Points de chaleur (typologie #4). 114

Figure 4.21 - Ménages de la typologie #5. 115

Figure 4.22 - Points de chaleur (typologie #5). 115

Figure 4.23 - Ménages de la typologie #6. 115

Figure 4.24 - Points de chaleur (typologie #6). 115

Figure 4.25 - Ménages de la typologie #7. 116

Figure 4.26 - Points de chaleur (typologie #7). 116

Figure 4.27 - Ménages de la typologie #8. 116

Figure 4.28 - Points de chaleur (typologie #8). 116

Figure 4.29 - Carte de chaleur des individus vulnérables vivant dans les typologies «transport». 118

Figure 4.30 - Supermarchés à 20 minutes (à pied). 120

Figure 4.31 - Pauvreté d'accès aux supermarchés. 120

Figure 4.32 - Zones de forte vulnérabilité souffrant d'un déficit d'accès aux supermarchés. 120

Figure 4.33 - Hectares de parc à 15 minutes à pied. 121

Figure 4.34 - Pauvreté d'accès aux parcs. 121

Figure 4.35 - Zones de forte vulnérabilité souffrant d'un déficit d'accès aux parcs de quartier. 121

Figure 4.36 - Nombre de CÉGEP en 45 minutes de transport collectif. 122

Figure 4.37 - Pauvreté d'accessibilité aux CÉGEP. 122

Figure 4.38 - Zones de forte vulnérabilité souffrant d'un déficit d'accès aux CÉGEP. 123

Figure 4.39 - Nombre d'emplois en 45 minutes de transport collectif. 124

Figure 4.40 - Pauvreté d'accessibilité aux emplois. 124

Figure 4.41 - Zones de forte vulnérabilité souffrant d'un déficit d'accès aux emplois. 124

Figure 4.42 - Agrégation de l'indice de pauvreté d'accès à l'échelle du secteur municipal. 125

Figure 4.43 - Passages-ligne à 5 minutes (à pied). 126

Figure 4.44 - Passages-ligne à 10 minutes (à pied). 126

Figure 4.45 - Pauvreté d'intensité de service. 126

Figure 4.46 - Zones de pauvreté d'intensité d'offre. 126

Figure 4.47 - Déficit cumulé d'accessibilité locale. 129

Figure 4.48 - Zones vulnérables de déficit d'accès local. 129

Figure 4.49 - Déficit cumulé d'accessibilité régionale. 129

Figure 4.50 - Zones vulnérables de déficit d'accès régional. 129

Figure 4.51 - Déficit cumulé d'exposition à l'offre de transport collectif. 129

Figure 4.52 - Zones vulnérables de pauvreté d'offre de transport collectif. 129

Figure 4.53 - Pointage global de pauvreté d'accessibilité combinant les trois volets. 131

Figure 4.54 - Carte de chaleur des zones vulnérables liées au pointage global de pauvreté d'accès. 132

Figure 5.1 - Variation absolue du nombre de passages-ligne le dimanche par rapport à la semaine. 149

Figure 5.2 - Variation relative du nombre de passages-ligne le dimanche par rapport à la semaine. 149

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

BD	Base de données
CPE	Centre de la petite enfance (service de garde)
CLSC	Centre local de santé communautaire
EOD	Enquête Origine-Destination
FTA	*Federal Transit Agency*
GTFS	*General Transit Feed Specification*
HPAM	Heure de pointe de l'avant-midi
MEES	Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur du Québec
MSSS	Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec
MPTA	Mouvement pour un transport public abordable
ONU	Organisation des Nations unies
OSM	*OpenStreetMap*
OSRM	*Open Source Routing Machine*
RTL	Réseau de transport de Longueuil
SEU	*Social Exclusion Unit*
SHP	*Shapefile*
SM	Secteur municipal (Enquête Origine-Destination)
SR	Secteur de recensement (Statistique Canada)
STL	Société de transport de Laval
STM	Société de transport de Montréal
TC	Transport collectif
WTP	*Willingness-to-Pay*

LISTE DES ANNEXES

Annexe A Code Javascript (Exposition à l'offre TC) 175

Annexe B Cartes du volet sufficientariste (trilogies de cartes)..... 179

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

1.1 Mise en contexte

Le concept de mobilité durable fait l'objet d'une politique à long terme du gouvernement québécois (*Politique de mobilité durable 2030 : Transporter le Québec vers la modernité*), comme présentée en avril 2018 (Ministère des Transports du Québec, 2018). Cette dernière vise à décupler les efforts visant à intégrer la durabilité dans un domaine auquel sont associées une forte consommation de ressources énergétiques non renouvelables ainsi que des émissions élevées de gaz à effet de serre. En cette période de réflexion inévitable quant aux impacts des modes de vie actuels, l'émergence de nouvelles pratiques plus durables relève de la nécessité, et le transport constitue à cet égard un élément incontournable.

Le développement durable s'articule autour de trois sphères d'intérêt, à savoir l'environnement, l'économie ainsi que la société (Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'Organisation des Nations unies, 1987). Certains font aussi mention des «3E», se rapportant à environnement, économie et équité (Manaugh, Badami et El-Geneidy, 2015). Beaucoup d'efforts ont été investis pour inscrire ce concept théorique dans la pratique, et c'est notamment le cas dans la planification des transports. Divers chercheurs ont cependant dénoté un déséquilibre entre les trois sphères du développement durable, le volet social ne suscitant pas le même intérêt que les enjeux d'environnement ou d'économie (Markovich et Lucas, 2011). Selon certains, la dimension sociale serait le « parent pauvre » de la planification des transports, tant au niveau de la recherche que de la pratique, comme en témoignent les investissements en infrastructures, motivés surtout par des impératifs de développement économique et de réduction des émissions de gaz à effet de serre (Jones et Lucas, 2012a). Le volet social n'en est pas moins important pour autant, et le concept d'équité suscite un intérêt grandissant depuis quelques années au sein de la recherche et des politiques publiques (Caulfield, Rock et Ahern, 2014). Selon certains, la dimension sociale, en transport du moins, est au moins aussi importante que les autres dimensions, car elle concerne les retombées concrètes pour les populations et leur qualité de vie (Jones et Lucas, 2012a; Stanley et Lucas, 2008). À la lumière d'études menées par le gouvernement britannique, cet intérêt limité pour les enjeux sociaux de transport aurait d'ailleurs des répercussions négatives sur diverses initiatives publiques visant à combattre la pauvreté, notamment via les programmes d'assistance

sociale, ce qui entraînerait un gaspillage de ressources publiques lié à l'efficacité limitée des mesures actuelles de lutte à la défavorisation, qui ne tiennent généralement pas compte des interactions entre transport et pauvreté (Social Exclusion Unit, 2003).

Le transport collectif suscite depuis quelques temps déjà un regain d'intérêt au sein des instances publiques, puisque lui sont associés des bénéfices tels que la réduction des émissions de gaz à effet de serre et l'amélioration des conditions de déplacement, un atout essentiel à la vitalité économique d'une aire métropolitaine. Pourtant, peu d'attention a été accordée à l'apport social du transport collectif, notamment chez les segments de population défavorisés, chez qui une telle offre peut être déterminante dans une optique d'inclusion sociale (Lucas, Philips, Mulley et Ma, 2018). Plusieurs gestionnaires de services de transport collectif en sont conscients, quoique cela tarde à se refléter dans la pratique. Bien que l'équité soit fréquemment mentionnée comme orientation, la notion s'accompagne de très peu d'indicateurs concrets, et ceux-ci ratent souvent leur cible, ne parvenant pas à traduire de manière convaincante le concept de justice sociale (Manaugh et al., 2015). La difficulté résiderait non pas dans l'absence de volonté d'intégrer l'équité à la planification, mais plutôt dans la faiblesse des outils permettant de traduire cette volonté en action (Litman, 2017; Nazari Adli, Chowdhury et Shiftan, 2019; Stanley et Lucas, 2008). Il est cependant possible qu'une absence de volonté politique puisse aussi freiner ce processus. L'articulation déficiente du concept d'équité en transport et la difficulté à l'inscrire dans un cadre théorique robuste sont deux raisons mises de l'avant pour expliquer cette faible intégration au sein des outils de planification (Garrett et Taylor, 1999; Jones et Lucas, 2012a). Il faut aussi dire qu'il peut être complexe de traiter d'équité en transport, puisque les retombées sont nombreuses et affectent les individus de manière variable (Litman, 2017).

1.2 Problématique

1.2.1 Enjeux stratégiques de planification des transports

Il n'existe pas à l'heure actuelle de méthode standard d'évaluation de l'équité en transport, ce qui vaut aussi pour la définition commune de ce en quoi consiste une offre de transport collectif dite « équitable » (Karner, 2018). Diverses méthodes ne font aucune mention de l'accessibilité et de sa distribution entre les segments de population (Bocarejo et Oviedo, 2012) et lorsqu'elles existent, il arrive fréquemment que ces mesures ne soient pas conformes aux exigences théoriques relatives

au concept d'accessibilité (Geurs et Van Wee, 2004). Une autre limitation à l'intégration de l'équité dans la planification stratégique réside dans les contraintes budgétaires, les agences ne disposant que de ressources financières limitées. Ce faisant, il n'est pas possible pour ces dernières d'offrir une accessibilité optimale à tous (Nazari Adli et al., 2019). Les agences doivent d'ailleurs veiller à fidéliser des usagers en vue de financer leurs services; la planification devient alors le produit de compromis inévitables entre l'efficacité économique et l'équité sociale (Litman, 2017). Ainsi, dans le contexte québécois, les opérateurs de transport collectif vont chercher environ 30% de leurs revenus de la vente de titres de transport. Les autres sources de financement relèvent quant à elles des municipalités, des ordres de gouvernement, de revenus autonomes (publicité, etc.) et de taxes sur l'essence et l'immatriculation (ARTM, 2017).

Même s'il est généralement admis que l'intégration de l'équité sociale dans le transport collectif doit favoriser les groupes vulnérables, dont ceux captifs de cette offre, la planification réelle laisse parfois entrevoir une réalité différente. La littérature fait état d'une allocation disproportionnée des ressources financières destinées à attirer de nouveaux usagers, dont des individus disposant déjà de plusieurs alternatives de transport, plutôt que d'investir ces ressources dans l'amélioration des conditions de mobilité des populations captives de l'offre existante (Garrett et Taylor, 1999; Jiao et Dillivan, 2013; Karner, 2018). Cette situation, bien que nuisible au potentiel d'accessibilité des individus vulnérables qui doivent composer avec de longs trajets et des liaisons souvent complexes et incertaines (Currie, 2010), s'avère pourtant coûteuse et peu efficace dans une majorité de cas, ne parvenant qu'à fidéliser un petit nombre d'usagers (Garrett et Taylor, 1999; Jiao et Dillivan, 2013).

Une telle répartition des ressources s'avère inéquitable compte tenu de l'importance du transport collectif pour les populations à faible revenu, notamment celles sans accès à la voiture, mais aussi pour celles contraintes d'en utiliser une faute d'alternatives viables (Mattioli, 2014). Ce glissement dans les priorités n'est pas étranger à la montée en popularité des enjeux environnementaux visant à réduire les émissions de GES, qui misent sur un report modal à la faveur des transports collectifs chez les automobilistes. Il est aussi lié aux initiatives des autorités visant à combattre la congestion des réseaux routiers (Blumenberg et Manville, 2004). Cela renforce l'idée selon laquelle le volet social constitue le « parent pauvre » du développement durable en transport (Jones et Lucas, 2012). Une autre tendance pouvant expliquer cette orientation *a priori* inéquitable du financement découle du pouvoir politique croissant des banlieues, qui exigent dorénavant des alternatives afin de pallier la congestion croissante, elle-même induite par la planification de type « tout-à-l'auto » ayant guidé

le développement de ces milieux de vie (Jiao et Dillivan, 2013). De manière générale, un vaste pan de la littérature soutient que la répartition récente des investissements en transport collectif n'est pas équitable à l'égard des populations dépendantes, celles-ci jouissant parfois d'une accessibilité moindre comparativement aux ménages mieux nantis et motorisés (El-Geneidy et al., 2016).

1.2.2 Problématique spécifique

Il est généralement reconnu que les politiques de transport et d'aménagement génèrent des niveaux d'accessibilité variables dans l'espace et le temps (Grengs, 2015; Martens et Bastiaanssen, 2019). Cela dit, comment juger du niveau d'équité d'une offre de transport collectif? Krumholz (1982) prétend qu'une planification équitable viserait avant tout à enrichir l'éventail d'options des citoyens ayant peu ou pas d'options à leur disposition, permettant ainsi d'améliorer les perspectives de vie de ces citoyens. Dans une perspective de planification des transports collectifs, cela reviendrait à garantir aux populations à risque de pauvreté d'accessibilité des niveaux d'accès minimaux aux opportunités, cela dans le but de favoriser la participation sociale de ces individus et de réduire le risque d'exclusion sociale par le transport (Martens et Bastiaanssen, 2015). Or, en pratique, la répartition de l'offre de transport collectif n'est pas forcément conforme à cette vision, compte tenu des contraintes opérationnelles avec lesquelles doivent composer les agences chargées de la fourniture de ce service. Cela entraîne la formulation d'une question de recherche spécifique : **l'offre de transport collectif et l'accessibilité aux opportunités qui en découle favorisent-elles les individus à risque de pauvreté d'accessibilité et d'exclusion sociale?** Comment traduire cette interrogation en un modèle robuste et intelligible? Comment identifier les zones problématiques en vue d'orienter les interventions? C'est ce à quoi cherche à répondre le présent projet de recherche.

La Figure 1.1 synthétise la problématique à la lumière des éléments du cadre conceptuel abordés précédemment. Elle illustre tout d'abord la relation entre une planification des transports basée sur la mobilité et le laxisme des outils d'aménagement du territoire, lesquels ont contribué à accentuer le phénomène de dépendance automobile au fil des années, induisant des externalités telles qu'une pression accrue envers la motorisation, un éclatement spatial des lieux d'activité et une diminution progressive de la compétitivité des modes alternatifs à l'automobile. Dans une perspective sociale, cela s'est traduit par un accroissement de la vulnérabilité en transport, d'une part, et par un déficit d'accessibilité aux opportunités permettant de répondre aux besoins des individus, d'autre part. Il peut en résulter un état de pauvreté d'accessibilité, qui peut à son tour accroître le risque de souffrir

d'exclusion sociale par le transport. Dans cette optique, une planification équitable des transports chercherait à contenir le risque d'exclusion sociale en garantissant une accessibilité minimale à des opportunités variées. Pour ce faire, deux types de solutions peuvent être mises à profit pour réduire la pauvreté d'accessibilité. La première consiste à améliorer les perspectives d'accessibilité locale tandis que la deuxième mise sur un meilleur accès aux opportunités via l'offre de transport collectif.

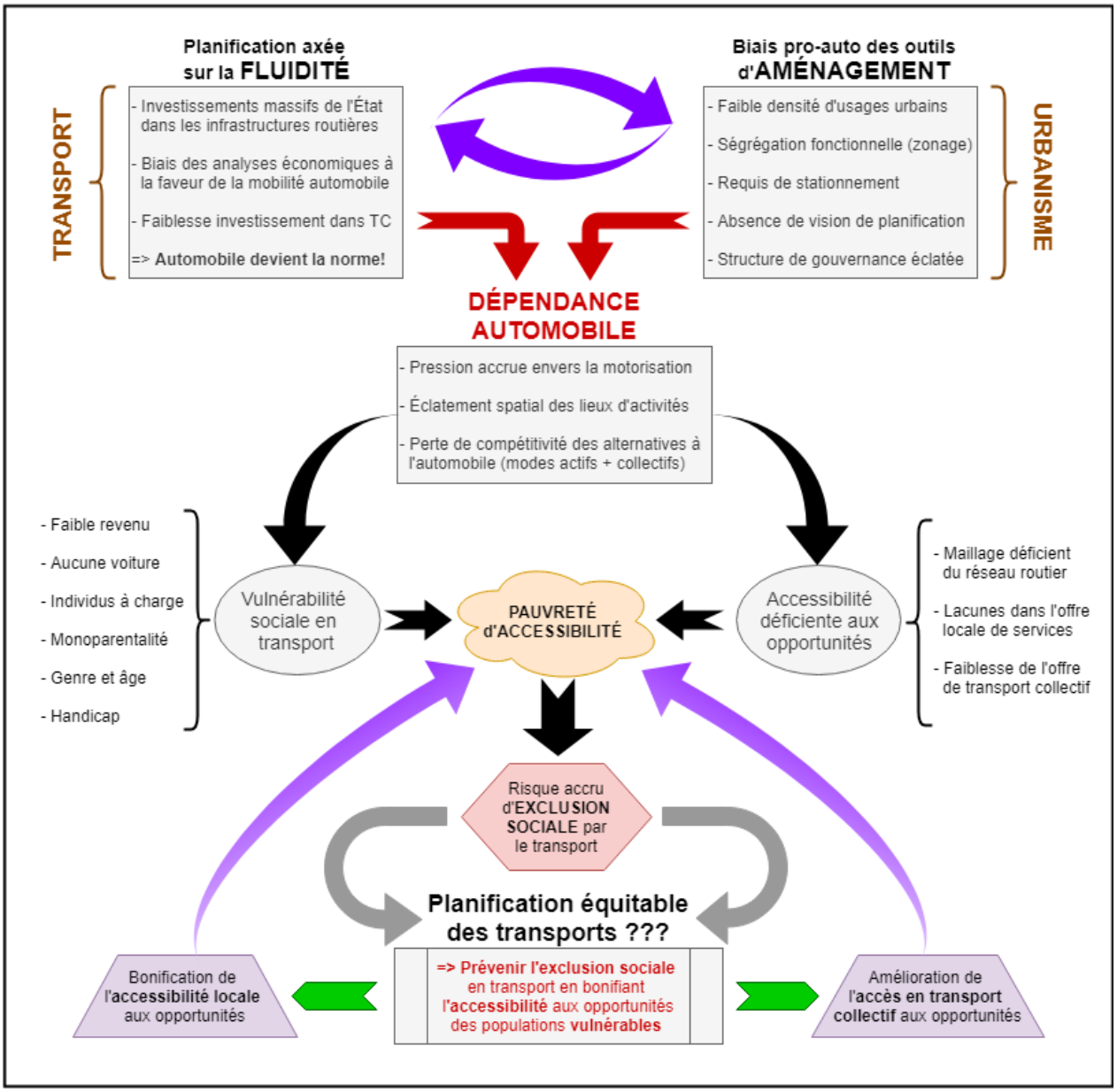


Figure 1.1 - Synthèse de la problématique de recherche.

1.3 Objectifs de recherche

L'objectif général de ce mémoire est de mettre au point une méthode visant à faciliter le diagnostic d'équité sociale d'une offre de transport collectif, dans le but éventuel d'encourager une intégration plus poussée des considérations sociales dans les pratiques de planification. Cet objectif général se décompose en plusieurs objectifs spécifiques, détaillés ci-dessous.

- Définir un cadre conceptuel et théorique rigoureux de l'équité en transport intelligible pour les planificateurs des transports et de l'urbain

Sachant qu'un des freins à l'opérationnalisation du concept d'équité en transport tient à la faiblesse d'articulation des concepts théoriques et l'absence d'une définition consensuelle, il importe de bien définir le concept d'équité et de comprendre ses implications dans le domaine du transport. Un des objectifs de ce mémoire consiste à définir un cadre conceptuel rigoureux pour traiter de l'équité en transport collectif, tout en facilitant la compréhension des enjeux sociaux généraux en transport.

- Développer une approche simple pour opérationnaliser le concept d'équité dans les outils de planification des transports et identifier des secteurs à risque de pauvreté d'accessibilité

La considération limitée des questions d'équité et de justice distributive dans la planification des transports ne traduit pas nécessairement une absence d'intérêt pour ces questions, mais témoigne plutôt de l'absence d'une approche ayant force de consensus. Un des objectifs de ce mémoire est de proposer une méthode simple et intelligible favorable à l'intégration des préoccupations sociales dans les pratiques de planification du transport collectif. La quantification des concepts associés à l'équité constitue un élément indispensable à une intégration réussie aux méthodes de planification.

- Permettre l'évaluation de scénarios de transport et d'aménagement variés à la lumière des effets distributifs en termes d'accessibilité aux opportunités

Outre le diagnostic de l'état actuel d'une offre de transport collectif, la méthode permettra aussi la comparaison de scénarios divers, afin d'orienter la prise de décision quant aux retombées en termes d'équité des alternatives considérées, favorisant ainsi une prise de décision plus éclairée.

- Favoriser une instrumentation accrue des considérations urbanistiques au sein des outils de planification du transport collectif via le recours au concept d'accessibilité spatiale

En misant sur le concept d'accessibilité aux opportunités pour définir le cadre conceptuel d'équité du transport collectif, ce projet s'inscrit dans un courant de planification intégrant le transport et l'urbanisme, ce qui permet de mettre en lumière les écueils découlant d'une planification urbaine désordonnée et d'une planification des transports axée essentiellement sur la mobilité. La prise en compte des caractéristiques sociodémographiques et des théories de justice distributive permet aussi un meilleur ancrage des enjeux sociaux au sein du cadre conceptuel de l'équité en transport.

1.4 Structure du mémoire

Dans un premier temps, une revue littéraire exhaustive est présentée dans le but de définir un angle méthodologique approprié. Cette section vise à vulgariser des notions telles que l'équité et la vulnérabilité de façon appliquée au transport, à comprendre l'apport social particulier du transport collectif, à démystifier les catégories de mesures d'accessibilité et à mettre en perspective les approches existantes de diagnostic d'équité en transport. En second lieu, la méthodologie présente de manière détaillée l'approche d'évaluation de l'équité développée à la lumière de la revue littéraire. Cette section traite des données employées et de la méthode générale, laquelle est scindée en deux volets. Le premier se rapporte aux mesures d'accessibilité, tandis que le deuxième cherche à diagnostiquer l'équité de cette accessibilité à la lumière de principes de justice distributive. Dans un troisième temps, les résultats de la méthode sont présentés. Ceux-ci traitent de l'agglomération de Montréal, où l'étude de cas fut menée. Les résultats présentent l'échelle de vulnérabilité sociale en transport et témoignent de la variabilité des conditions d'accessibilité selon deux principes de justice, à savoir l'égalitarisme et le sufficientarisme. Finalement, la dernière section de ce mémoire présente la conclusion, laquelle vise à faire la synthèse de l'approche développée et à témoigner des contributions, des limites et des perspectives associées à cette méthode.

CHAPITRE 2 REVUE LITTÉRAIRE

La revue littéraire est subdivisée en six parties. La première a pour but de définir le concept d'équité et ses implications en transport, la deuxième, à démontrer l'apport social du transport collectif. Une troisième section traite des mesures d'accessibilité, une quatrième de la vulnérabilité en transport, tandis que les cinquième et sixième parties se rapportent respectivement aux principes distributifs de justice et aux approches existantes de diagnostic d'équité en transport.

2.1 Conceptualiser l'équité en transport

2.1.1 Qu'est-ce que l'équité?

La notion d'équité, simple à première vue, renvoie à une réalité complexe. Il importe donc de bien la définir puisqu'elle est à la base du présent mémoire. De prime abord, l'équité n'est pas synonyme d'égalité. Ainsi, l'égalité fait écho à la distribution, en proportion égale, d'un bien au sein d'une population, sans qu'aucune considération morale ne soit impliquée, alors que l'équité reflète plutôt la présence d'un jugement éthique dans le cadre de la répartition de ressources (Van Wee et Geurs, 2011). L'équité dispose d'un cadre élargi, ne s'intéressant pas qu'à la ressource à distribuer, mais également aux extrants (les effets distributifs) associés à cette répartition entre divers individus.

Selon le théoricien John Rawls (1971), l'égalité parfaite n'est pas une condition suffisante pour la justice, étant donné que les individus présentent des besoins différents. Toute ressource n'a donc pas la même valeur pour chaque personne. L'équité peut être brièvement définie comme une forme de justice distributive (Caulfield et al., 2014; Litman, 2017). Pour reprendre les termes de Béguin et Zoller (1992), « [l]'équité s'oppose à l'efficacité, la collectivité abandonne une partie de son efficacité globale pour améliorer le sort d'une partie de ses membres : c'est l'expression de la solidarité. » (Sioui, 2014; Zoller et Béguin, 1992). L'équité s'attarde par définition aux conditions variables des individus, notamment à celles des populations vulnérables dans le besoin, lesquelles bénéficieraient d'une allocation plus grande de ressources afin de compenser l'injustice, ce qui est contraire à la notion d'égalité (Rawls, 1971).

La Figure 2.1 propose une schématisation de la notion d'équité, en insistant sur les divers concepts qui la composent. L'équité peut être jugée lors de l'acte de répartition, à la lumière de la ressource à distribuer, des conditions des individus impliqués et des principes distributifs théoriques sous-

jacents, mais aussi des coûts, des nuisances et des bénéfices qui découleront de cette répartition des ressources (Litman, 2017). Il importe de spécifier que la notion d'équité est indissociable du contexte culturel, c'est-à-dire que ce qui est perçu comme équitable par une société pourrait ne pas l'être pour une autre. Les normes sociales dépendent des représentations dominantes de l'équité ayant cours dans une société (Van Wee et Geurs, 2011).

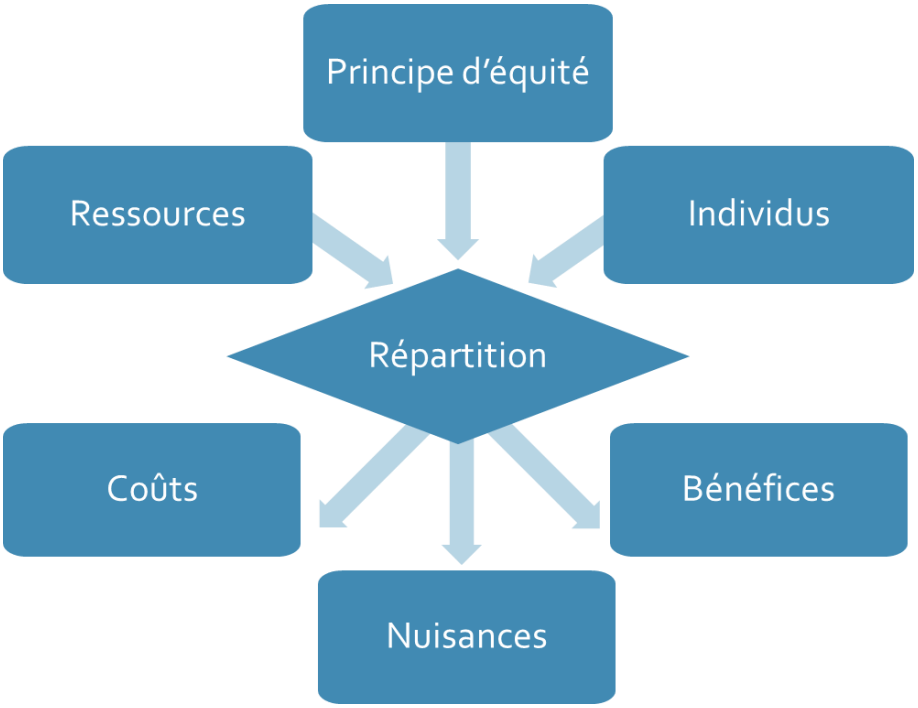


Figure 2.1 - Représentation schématique de l'équité.

Source : Communication personnelle avec Gabriel Lefebvre-Ropars (2018).

Dans les pratiques de planification des transports, il est pertinent de se questionner sur le niveau d'équité de la distribution des ressources, car les effets distributifs sont nombreux. Ceux-ci varient dans l'espace, dans le temps ainsi qu'entre groupes d'individus aux besoins et capacités variables (Jones et Lucas, 2012a). La diversité des impacts n'est pas étrangère au peu d'attention accordée par le passé à la façon dont les investissements sont distribués au sein de la population ainsi que sur les retombées variables de ces investissements chez les individus (Garrett et Taylor, 1999; UK Social Exclusion Unit, 2003). Comment juger adéquatement du niveau d'équité d'une distribution de ressources en transport, sachant que ce sont les bénéfices qui importent principalement pour les

individus? Selon Krumholz (1982), une planification se voulant équitable chercherait avant tout à enrichir l'éventail d'options des citoyens n'ayant que peu ou pas d'options à leur disposition, ce qui revient à bonifier la liberté de choix et les perspectives individuelles dans le vocabulaire du théoricien égalitariste John Rawls (Krumholz, 1982; Rawls, 1971).

2.1.2 Transport et équité

2.1.2.1 Impacts sociaux des systèmes de transport

Selon les conclusions du rapport *Fairness in a Car-Dependent Society* (UK Social Exclusion Unit, 2003), le transport joue un rôle central dans le développement d'une société plus équitable. Ainsi, la configuration des réseaux de transport aurait des répercussions concrètes sur les perspectives économiques et sociales des individus (Litman, 2017). Il est notamment question des coûts associés au transport, qui peuvent contribuer à limiter la mobilité des populations à faible revenu, mais aussi de l'allocation des ressources, qui avantage forcément certains groupes d'individus alors que c'est l'ensemble de la communauté qui participe au financement des projets. Litman mentionne aussi l'impact à long terme des réseaux de transport sur l'aménagement du territoire, ces derniers contribuant à moduler l'accessibilité dont jouissent les individus et influençant leurs perspectives. Il existe cinq types d'impacts sociaux concrets liés au transport, soit l'accessibilité, le potentiel de mobilité, les considérations de santé, les aspects financiers ainsi que le tissu social (Jones et Lucas, 2012). L'accessibilité concerne le potentiel des individus à accéder à des biens et services perçus comme essentiels par une société. Le potentiel de mobilité se penche sur la participation sociale effective des individus via leur aisance à se déplacer. Le volet relatif aux impacts de santé se penche quant à lui sur les externalités en termes d'accidents, de pollution et d'habitudes de mobilité. Les aspects financiers concernent autant les schémas de financement des infrastructures et services que la capacité des individus à profiter de ces derniers. Finalement, le transport peut avoir des impacts sur le tissu social et le sentiment de communauté, notamment lorsque les réseaux engendrent des barrières physiques et mentales entre les quartiers (Jones et Lucas, 2012a).

2.1.2.2 Exclusion sociale par le transport

2.1.2.2.1 Définition du concept d'exclusion sociale

Plusieurs des enjeux sociaux en transport sont associés d'une manière ou d'une autre à un risque de participation sociale réduite voire, dans les cas extrêmes, d'exclusion sociale par le transport. Il s'agit d'un phénomène ayant gagné en reconnaissance dans la littérature sur le transport depuis une vingtaine d'années environ, au Royaume-Uni notamment (UK Social Exclusion Unit, 2003).

Selon Levitas et al. (2007), l'exclusion sociale se définit par l'impossibilité pour une personne de prendre part aux activités et échanges normaux d'une société en raison d'un déficit d'accès à des ressources, des droits, des biens et/ou des services nécessaires à cette participation, que ce soit dans les sphères économiques, sociales, culturelles ou politiques. Cela affecte non seulement la qualité de vie de l'individu concerné, mais également l'équilibre et la cohésion d'une société dans son ensemble. Preston et Rajé (2007) fournissent une autre définition, qui reprend sensiblement les mêmes termes tout en insistant sur l'aspect multidimensionnel du problème et sur les conséquences pour l'individu, qui n'a plus l'impression de contribuer à la société à laquelle il appartient. D'autres abordent le phénomène sous l'angle d'un seuil minimal de participation en-dessous duquel un individu se trouve à risque d'exclusion sociale (Van Wee et Geurs, 2011).

Dans une perspective appliquée au transport, il s'avère que des lacunes au sein des offres peuvent contribuer au phénomène d'exclusion sociale. En effet, depuis les années 1960, certains chercheurs se sont intéressés aux impacts d'une défavorisation en mobilité sur les perspectives économiques et sociales des individus (Kain, 1968; Wachs et Kumagai, 1973). Plus tard, le rapport du *UK Social Exclusion Unit* (2003), commandé par la couronne britannique, a démocratisé la notion d'exclusion sociale par le transport (Lucas, 2012), mettant en perspective les conséquences d'une offre de transport inadéquate sur la participation sociale des populations défavorisées, notamment en ce qui a trait à l'emploi, à l'éducation et à l'accès aux soins de santé. Ce rapport, tout en contribuant à faire de la question sociale un élément incontournable de la planification des transports (d'un point de vue théorique du moins), a entraîné l'essor d'un courant de planification basé sur l'accessibilité, soit la capacité d'accéder à des opportunités essentielles au développement des individus.

Le théoricien Sen a un jour affirmé, en parlant des famines, que celles-ci ne sont pas causées par un manque de nourriture, mais plutôt par un manque d'accès à cette nourriture (Sen, 1982). Dans la même lignée, Preston et Rajé (2007) affirment que ce n'est pas le manque d'opportunités sociales

qui est en cause dans le phénomène d'exclusion sociale, mais plutôt un accès déficient à celles-ci. Cela dit, diverses définitions d'exclusion sociale par le transport ont été proposées au fil du temps. L'une d'elles stipule que le phénomène repose sur l'idée que les individus peuvent se retrouver écartés d'une participation économique, politique ou sociale en raison d'une mobilité limitée dans une société qui tient pour acquise un haut niveau de mobilité (Kenyon, Lyons et Rafferty, 2002). Van Wee et Geurs (2011) l'ont plutôt traduite par l'impossibilité pour des individus d'atteindre un niveau minimal de participation dans des activités réparties spatialement auxquelles ces derniers désirent participer. Dans tous les cas, c'est la présence (ou l'absence) d'un capital d'accessibilité qui semble déterminante pour l'atteinte des opportunités de développement.

Plusieurs programmes étatiques d'assistance sociale misent sur l'emploi pour favoriser l'inclusion sociale des individus (Blumenberg et Manville, 2004), d'autant plus que le travail constitue une composante notable des interactions quotidiennes. Ces initiatives négligent souvent la composante « transport », pourtant identifiée comme un frein à l'employabilité des individus (Blumenberg et Manville, 2004; UK Social Exclusion Unit, 2003), une situation qui serait encore plus prononcée chez les bénéficiaires d'assistance gouvernementale. Le succès des politiques d'accès à l'emploi serait donc tributaire de la capacité des populations visées à utiliser les réseaux de transport reliant les pôles d'activité économique.

2.1.2.2.2 Les types d'exclusion sociale par le transport

Sept types d'attributs caractéristiques d'un système de transport peuvent contribuer à l'exclusion de certains segments de population (Church, Frost et Sullivan, 2000; Lucas, 2012). Un de ceux-ci traite de l'exclusion physique relative à la présence de barrières physiques et/ou la faiblesse des aménagements destinés à l'accessibilité universelle. Un autre type serait l'exclusion géographique découlant des caractéristiques de l'environnement urbain voisin du domicile, en lien notamment avec l'aménagement du réseau routier. L'exclusion des services traite précisément de l'aspect de distance séparant l'individu des ressources. Un autre facteur pouvant contribuer au phénomène d'exclusion sociale réside dans l'exclusion économique associée au coût d'accès aux réseaux de transport, pouvant contraindre l'accès à l'emploi et conséquemment les perspectives économiques d'un individu. L'exclusion temporelle, souvent abordée en tant que pauvreté de temps libre dans la littérature, survient lorsque diverses contraintes d'horaire empêchent un individu de prendre part à des activités faute de disponibilité. Les enjeux de sécurité dans le contexte des transports se

traduisent par une exclusion par la peur, notamment chez les usagères du transport collectif à des périodes cibles. Finalement, la septième catégorie concerne l'exclusion spatiale, qui s'intéresse aux conséquences d'une interdiction pour des individus d'utiliser un réseau de transport.

Ainsi, les réseaux de transport en soi peuvent être vecteurs d'exclusion sociale. Cependant, dans la majorité des cas, cette exclusion est plutôt le résultat d'une synergie existant entre divers facteurs, notamment l'offre de transport et l'accessibilité. En ce sens, les caractéristiques personnelles et du ménage ainsi que les caractéristiques du voisinage contribuent à l'accroissement du risque d'être victime d'exclusion sociale. Selon Lucas (2012), un réseau de transport inadapté aux besoins des individus qu'il dessert contribue au phénomène en exacerbant des facteurs de vulnérabilité présents à la base, tels qu'un état de pauvreté économique, la dépendance à l'automobile, la présence de limitations fonctionnelles ou l'impossibilité d'utiliser une voiture, ce qui est en phase avec les conclusions du rapport sur l'exclusion sociale par le transport du *UK Social Exclusion Unit* (2003). De manière générale, le phénomène d'exclusion sociale par le transport est indissociable de celui d'accessibilité aux opportunités (Van Wee et Geurs, 2011). En ce sens, des lacunes au sein de l'offre de transport contribuent à limiter l'accessibilité potentielle d'un individu à des activités, pouvant alors accroître le risque d'exclusion sociale (Di Ciommo et Shiftan, 2017).

2.1.2.3 Accessibilité aux opportunités

2.1.2.3.1 Définition du concept d'accessibilité

L'accessibilité est un concept popularisé par Hansen (1959) traduisant un potentiel d'opportunités d'interaction pour un individu. L'accessibilité fut aussi définie en d'autres termes au fil du temps. Pour certains, l'accessibilité résulte du croisement entre un déplacement et la distribution spatiale des opportunités (Schönfelder et Axhausen, 2003), tandis que d'autres la définissent comme la facilité à réaliser une activité désirée à l'endroit désiré en y accédant par un mode de transport donné à une heure donnée (Bhat et al., 2000). Dans le même ordre d'idées, il s'agirait de la capacité à atteindre des biens, services, activités et destinations à un coût raisonnable, dans un temps donné et moyennant un effort acceptable (Caulfield et al., 2014). Alternativement, il est possible d'utiliser des concepts économiques pour définir l'accessibilité, en se référant au bénéfice global que retire un individu d'un réseau de transport donné (Ben-Akiva et Lerman, 1985). Il n'existe donc pas de définition unique ayant force de consensus pour définir l'accessibilité, mais il est possible de comprendre que ce concept associe généralement la mobilité individuelle et la répartition spatiale

des opportunités. Afin de clarifier ce concept, certains auteurs n'hésitent pas à confronter les notions de mobilité et d'accessibilité (Handy, 2002). En termes simplifiés, « [l]a mobilité représente la facilité de se déplacer à l'intérieur d'un réseau, la capacité de se rendre d'un point à l'autre (…) alors que l'accessibilité représente la facilité d'atteindre les destinations. La mobilité est une mesure du système de transport, alors que l'accessibilité mesure l'interaction entre l'utilisation du sol et le système de transport. » (Cerdà et El-Geneidy, 2010)

2.1.2.3.2 Les trois échelles d'accessibilité

Jones et Lucas (2012a) proposent une segmentation du concept d'accessibilité en trois temps. Selon les auteurs, il faut l'appréhender à l'échelle micro, méso et stratégique si l'on souhaite établir un diagnostic fiable de l'accessibilité. Le niveau micro s'intéresse à l'aptitude des individus à mobilité réduite à utiliser les réseaux de transport, ce qui implique notamment le design des véhicules tout comme l'aménagement physique des infrastructures. Le niveau méso se penche quant à lui sur le potentiel de déplacement à l'échelle du quartier (ou locale), qui intègre notamment la connexité du réseau routier, mais également la présence de barrières physiques ou psychologiques pouvant contraindre la mobilité de certains individus. Finalement, le niveau macro (stratégique) se réfère à l'intégration effective de l'utilisation du sol et des réseaux de transport et de leur capacité conjointe à faciliter l'atteinte d'activités par les individus. La plupart des définitions employées dans la littérature se rapportent à cette échelle, et il s'agit également du volet le plus largement étudié. Jones et Lucas (2012a) insistent cependant sur l'interdépendance des niveaux micro, méso et macro, car une lacune à une de ces échelles peut contrecarrer l'utilité d'un potentiel d'accessibilité.

2.1.2.3.3 Les quatre composantes de l'accessibilité

Geurs et Van Wee (2004) ont grandement contribué à la diffusion du concept d'accessibilité et des mesures associées à cette dernière. Ils prétendent à l'existence de quatre composantes qui, lorsque combinées, influencent l'accessibilité résultante : le transport, l'utilisation du sol, le temps ainsi que l'individu. La composante « transport » s'intéresse au temps de déplacement, au coût de ce déplacement et à l'effort requis pour réaliser ce dernier. La composante « utilisation du sol » se penche sur la répartition territoriale des opportunités et activités. L'élément « temps » se rapporte aux contraintes temporelles de l'offre de transport, mais aussi à la disponibilité des opportunités à travers la journée. Finalement, la composante « individu » vise à tenir compte des particularités de chaque personne en termes de besoins et de capacités, ce qui permet d'étudier l'impact de facteurs

socioéconomiques et démographiques sur l'accessibilité d'un individu. Une mesure d'accessibilité idéale tiendrait compte de ces quatre composantes simultanément afin de refléter le plus fidèlement la réalité, bien qu'il soit reconnu que cela s'avérerait hautement complexe en pratique, ce pourquoi la plupart des mesures se concentrent souvent sur une seule composante (Van Wee et Geurs, 2011).

2.1.2.3.4 L'accessibilité : principal bénéfice du transport

Puisque l'équité en transport requiert l'introduction de considérations sociales et spatiales dans les outils de diagnostic des offres de mobilité, le concept d'accessibilité constitue une métrique adaptée à son évaluation (Nazari Adli et al., 2019; Di Ciommo et Shiftan, 2017). Selon Van Wee et Geurs (2011), l'accessibilité est bien adaptée à l'évaluation des effets distributifs des projets et politiques de transport, en cela qu'elle permet d'appréhender la variabilité de l'accès aux opportunités entre les différents groupes d'individus. Par ailleurs, les théoriciens de l'équité en transport sont d'avis que bien que la mobilité soit importante, le véritable apport d'un réseau de transport ne réside pas dans le fait de se mouvoir sans entrave, mais bien dans l'accessibilité qu'il confère aux individus (Di Ciommo et Shiftan, 2017; UK Sustainable Development Commision, 2011). Faisant référence à des concepts théoriques de justice (Rawls, 1971), Van Wee et Geurs (2011) prétendent d'ailleurs que l'accessibilité par le transport constituerait un bien primaire, au même titre que la santé ou l'éducation, car elle représente un prérequis pour accéder à diverses opportunités essentielles au développement de l'individu. Cette vision est également partagée par Martens (2017), qui défend que l'accessibilité constitue la principale composante sociale du transport (Martens, 2016). Ce faisant, elle constituerait une mesure idéale de l'équité des réseaux de transport, étant sensible aux effets distributifs des projets de transport (Karner, 2018; Pereira, Schwanen et Banister, 2017).

2.1.2.3.5 Accessibilité et exclusion sociale

Tel qu'expliqué précédemment, l'accessibilité est fortement liée au phénomène d'exclusion sociale par le transport, puisque « [l]'accès est un prérequis essentiel à la pleine participation à la société ainsi qu'à la satisfaction des opportunités de vie » (Martens, 2012; Sioui, 2014). Comme mentionné dans le rapport du *UK Social Exclusion Unit* (2003), l'absence d'une offre de transport adaptée aux besoins des populations et la présence d'opportunités dans des milieux peu accessibles sont deux freins majeurs à la participation sociale des individus. Un déficit d'accessibilité peut se traduire par des perspectives d'emplois et de formation moindres, ce qui se reflète éventuellement sur le potentiel des individus concernés. Van Wee et Geurs (2011) ont tenté de lier les quatre composantes

de l'accessibilité (Geurs et van Wee, 2004) au concept d'exclusion sociale. En ce qui concerne le volet « transport », ce sont la disponibilité physique et temporelle de l'offre de mobilité tout comme le coût d'utilisation, la qualité des aménagements universels et les enjeux de sécurité qui peuvent induire un risque d'exclusion sociale. En matière d'utilisation du sol, l'absence de services locaux ou leur relocalisation au profit de lieux moins accessibles peut également avoir des retombées sur l'accessibilité dont jouissent les individus. La composante temporelle aborde l'exclusion causée par l'inadéquation entre les horaires des individus et la disponibilité de certaines opportunités au cours d'une journée. Finalement, la composante individuelle insiste sur la variabilité des besoins, désirs et capacités d'un individu au cours d'une vie, pouvant contribuer à augmenter le risque de connaître de l'exclusion sociale à un moment de son existence.

2.2 Comprendre la valeur sociale du transport collectif

L'équité en transport constitue une thématique complexe, qui renvoie à une variété d'enjeux tels que l'accessibilité universelle, l'inclusion sociale, le financement des infrastructures, la tarification des transports, la couverture territoriale, etc. Il serait illusoire de chercher à couvrir l'ensemble du sujet dans un seul mémoire, ce pourquoi le présent projet de recherche se penchera sur un volet précis de l'équité, soit l'apport bénéfique du transport collectif et des caractéristiques du voisinage sur les perspectives d'accessibilité. Sachant que les individus défavorisés disposent d'un accès moindre à l'automobile et qu'ils ont incidemment davantage recours à l'offre de transport collectif (Garrett et Taylor, 1999; UK Social Exclusion Unit, 2003), il s'agit d'un angle d'analyse pertinent, d'autant plus que cette perspective suscite un fort intérêt au sein de la littérature sur l'équité en transport et l'exclusion sociale (Currie et al., 2009; El-Geneidy et al., 2016; Fransen et al., 2015; Lucas et al., 2018). Il est tout de même important de mettre en valeur l'importance du transport collectif en explicitant l'impact des pratiques actuelles de planification ainsi que les conséquences de la dépendance à l'automobile sur la mobilité et l'accessibilité des populations vulnérables.

2.2.1 Paradigmes de planification des transports

2.2.1.1 Mobilité ou accessibilité?

Dans une perspective d'évaluation de l'équité en transport, il existe une distorsion entre les façons habituelles de procéder en matière de planification et les exigences théoriques associées au concept

d'équité. En ce sens, l'approche dominante en matière d'estimation des retombées des projets et politiques de transport demeure toujours l'analyse coûts-bénéfices, qui repose sur la mobilité et le niveau de service des infrastructures (Manaugh et al., 2015). Pourtant, la littérature stipule qu'il faut plutôt baser l'évaluation des projets de transport sur la notion d'accessibilité (Litman, 2017; Van Wee et Geurs, 2011). Il faut dire que l'accent mis sur la mobilité dans les outils d'évaluation n'est pas neutre pour les individus, puisque ces approches privilégient de manière intrinsèque les modes plus rapides et les déplacements sur de longues distances au détriment des modes doux et des déplacements sur de courtes distances, contribuant à favoriser indirectement les automobilistes par rapport aux individus non motorisés dans le cadre d'analyses (Banister, 2008; Caulfield et al., 2014). En ce sens, la Figure 2.2 témoigne des caractéristiques et impacts variables des approches de planification des transports selon qu'elles reposent sur la mobilité ou l'accessibilité (Banister, 2008; Jones et Lucas, 2012; Geurs et van Wee, 2004). Tandis que la mobilité s'intéresse surtout au déplacement en soi, l'accessibilité le contextualise en fonction des réalités spatiales et sociales, qui peuvent varier entre individus. Une approche d'accessibilité perçoit le déplacement comme moyen et non pas en tant que finalité. Par ailleurs, alors qu'une approche basée sur la mobilité chercherait à optimiser la fluidité et les temps de parcours, une approche axée sur l'accessibilité viserait plutôt à vérifier si les individus disposent d'un accès à des opportunités dans un temps raisonnable.

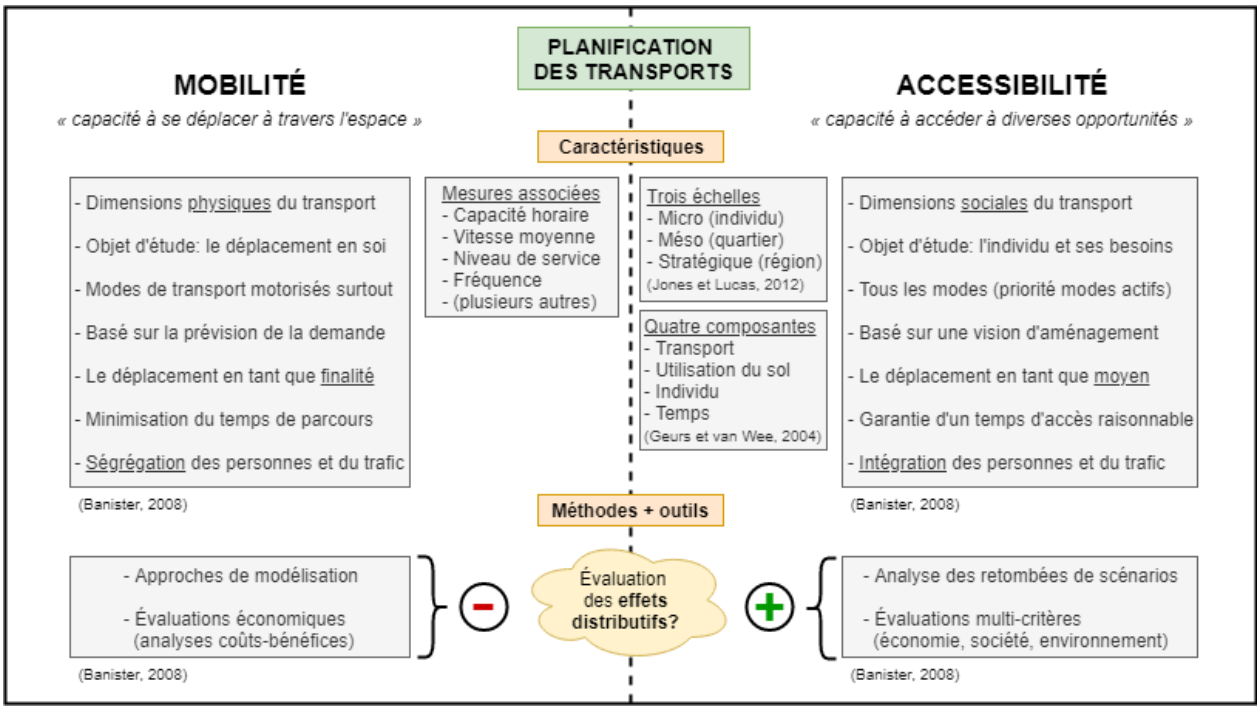


Figure 2.2 - Résumé des deux principales approches en planification des transports.

2.2.1.2 Dépendance à l'automobile et équité

2.2.1.2.1 Causes et origines du problème

Le paradigme actuel de planification des transports, dont l'approche repose sur la mobilité plutôt que sur l'accessibilité, introduit un biais menant à une répartition inéquitable des bénéfices associés aux investissements en transport, en plus de reposer sur des analyses coûts-bénéfices incompatibles avec un diagnostic de l'équité. En favorisant les investissements dans les infrastructures routières, ce paradigme a contribué au contexte de dépendance automobile (Litman, 2017). Lucas et Jones (2009) se sont intéressés à ce phénomène dans une perspective d'exclusion sociale. Ils définissent un lieu dépendant de l'automobile (*car-reliant location*) comme un endroit inaccessible autrement qu'en voiture, tandis qu'une société dépendante à la voiture (*car-reliant society*) renvoie à une société au sein de laquelle les individus sans voiture se retrouvent exclus de diverses activités, ne pouvant se conformer à la norme de motorisation (Lucas et Jones, 2009). À cet effet, le concept de dépendance automobile est fréquemment employé pour évoquer le cercle vicieux en vertu duquel un renforcement de la motorisation au sein d'une société exerce en elle-même une pression induite en faveur d'une motorisation accrue (Mattioli, 2014).

Les causes historiques de la dépendance automobile sont nombreuses et variées, selon Blumenberg et Manville (2004). D'une part, les règlements de zonage ont conduit à une séparation spatiale des fonctions urbaines, contribuant à éloigner physiquement les lieux de domicile des zones d'activités. Les politiques étatiques et locales ont parallèlement encouragé la motorisation des individus, entre autres via les exigences de stationnement, le déploiement de réseaux autoroutiers à grande échelle et les subventions sur les carburants. Les autorités locales ont parallèlement assoupli leurs règles de zonage pour accommoder le développement de faible densité. Tous ces facteurs ont fourni à l'automobile un contexte idéal pour afficher des performances élevées, encourageant son adoption par une claire majorité (Blumenberg et Manville, 2004). Selon le *UK Social Exclusion Unit* (2003), il en a résulté des besoins de mobilité sans cesse croissants, de sorte qu'il est devenu ardu de mener à bien l'ensemble des tâches quotidiennes sans recours à du transport motorisé. Le rapport insiste aussi sur le peu d'attention portée à l'accessibilité lors des dernières décennies par les planificateurs urbains. Cela s'accompagne de fortes implications dans une perspective d'équité, puisque dans le contexte résultant de mobilité exacerbée, la capacité d'un individu à recourir à des modes motorisés constitue un facteur d'inclusion sociale et de qualité de vie (Knowles, 2006; Mattioli, 2014).

2.2.1.2.2 Cercle vicieux de la dépendance automobile

Comment s'articule donc le cercle vicieux de la dépendance automobile? De manière synthétique, la mobilité automobile rend les lieux éloignés plus accessibles qu'auparavant, au moment même où la voiture privée se démocratise dans la période d'après-guerre, facilitant le développement de nouveaux terrains en périphérie (Farber et Páez, 2011). Puisque ces nouveaux lieux d'activités sont difficilement accessibles autrement qu'en voiture, cela contribue à accroître davantage l'attractivité et l'adoption de l'automobile. En parallèle, les autorités ont effectué des investissements importants dans les infrastructures pour accommoder cette tendance, sans la remettre en question à l'époque. C'est alors qu'apparaît le cercle vicieux de la dépendance automobile. À cet effet, Mattioli (2014) souligne comment la dispersion spatiale continue des opportunités contribue à accroître l'intensité des inconvénients associés à l'absence de voiture, induisant une pression accrue sur les individus menant à une motorisation croissante de ces derniers, ce qui renforce la tendance à la dispersion des lieux d'activités, qui à son tour renforce le besoin de se munir d'une automobile. Parallèlement à cela, les transports collectifs n'ont pas su s'adapter à la situation, devenant progressivement moins attractifs et compétitifs, nuisant encore davantage aux perspectives de ceux qui n'auront pas été en mesure d'accéder à une voiture individuelle (*UK Social Exclusion Unit*, 2003).

2.2.1.2.3 Conséquences sociales de la dépendance automobile

Selon Kenyon et al. (2002), plus le niveau de mobilité d'une société s'élève, plus certains segments de population moins mobiles sont exclus et/ou négativement impactés par le système de transport. Ainsi, selon le rapport du *UK Social Exclusion Unit*, ce modèle de développement est régressif d'un point de vue social, car il contribue à exercer une pression accrue sur les ménages socialement vulnérables. Par exemple, un ménage type du Royaume-Uni dépensait en 2003 environ 15% de ses revenus pour couvrir les frais associés à la motorisation, tandis que cela représentait le quart (24%) du budget des ménages à plus faible revenu. Par ailleurs, il a été démontré que la dépendance à l'automobile, du fait des pratiques d'aménagement induites, est associé à une capacité moindre des enfants et des personnes âgées à se déplacer de manière indépendante (Caulfield et al., 2014).

Mattioli (2014) a contribué à définir les principales conséquences sociales liées à la dépendance automobile, soit une participation sociale contrainte par l'absence de voiture (*car deprivation*) ou par une situation de motorisation contrainte (*forced car ownership*) chez les ménages défavorisés. Dans un contexte d'éclatement spatial des activités, il est aisé de comprendre en quoi l'absence

d'une voiture peut constituer un handicap, puisqu'elle contribue à limiter le bassin d'opportunités auquel un individu peut accéder. Blumenberg et Manville (2004) ont par ailleurs établi une relation entre l'absence de voiture et la difficulté d'accéder à l'emploi. Farber et Páez (2011) insistent quant à eux sur la non-compétitivité des alternatives à la voiture dans plusieurs circonstances, qui oblige les individus sans automobile à consacrer un temps démesuré à leurs déplacements, nuisant ainsi à leur participation dans d'autres activités qui pourraient favoriser l'inclusion sociale. Cela fait écho à la pauvreté temporelle (*time poverty*) qui limite le potentiel d'interaction des individus (Mattioli, 2014). Malgré ces inconvénients, la non-possession de voiture est un phénomène plutôt répandu, étant donné les coûts élevés associés à l'utilisation d'une automobile (Blumenberg et Manville, 2004; Litman, 2017; Roberto, 2008). Les populations à faible revenu disposant généralement d'un accès moindre à l'automobile, leur mobilité dépend plus de la marche, du transport collectif, des raccompagnements par des proches et même des taxis (*UK Social Exclusion Unit, 2003*). Cela est en phase avec les observations relatives aux habitudes de mobilité à Montréal (figures 4.8 à 4.10).

Quoique la possession d'une voiture engendre une pression importante sur les finances de ménages à faible revenu, elle constitue dans certain cas une nécessité et non pas un choix, notamment dans les milieux périphériques et ruraux, de faible densité, n'offrant qu'un bassin limité d'opportunités de voisinage ou une desserte inadéquate de transport collectif (Cornut et Madre, 2017; Currie et al., 2009; Delbosc et Currie, 2011). Il existe ce faisant une relation entre la faiblesse de l'offre de transport collectif, un déficit d'accessibilité locale et l'existence d'un stress financier des ménages contraints d'avoir une automobile (Currie et Stanley, 2008; Stanley et Lucas, 2008). Cette situation se traduit toutefois par une mobilité réduite des populations à plus faible revenu, qui parcourent des distances moindres, étant plus sensibles aux coûts d'exploitation de la voiture (Cornut et Madre, 2017). Aussi, le budget alors alloué à l'utilisation de la voiture peut amener les ménages concernés à restreindre les autres postes de dépense, ce qui peut nuire au bien-être et à la participation sociale des individus (Taylor, Barnard, Neil et Creegan, 2009). Le stress financier lié à l'utilisation contrainte de la voiture peut donc soit réduire l'espace d'activités d'un individu (du fait de la sensibilité aux coûts d'utilisation de la voiture) ou le budget disponible pour prendre part à des activités. Il importe aussi de mentionner que ce phénomène affecte notamment les ménages à faible revenu qui, à défaut de pouvoir vivre dans des quartiers centraux bien desservis en raison des loyers élevés, sont contraints de vivre en périphérie où les loyers sont certes moindres, mais où les attributs du voisinage incitent à une motorisation accrue en raison du déficit d'accessibilité (Mattioli, 2014).

2.2.1.3 Analyses coûts-bénéfices

2.2.1.3.1 Fonctionnement et évaluation critique

Les analyses coûts-bénéfices constituent la méthode la plus répandue pour l'évaluation des projets et politiques de transport (Di Ciommo et Shiftan, 2017). Ce modèle est relativement simple et ses résultats sont aisément interprétables, ce qui contribue à sa popularité. Il implique une monétisation de l'ensemble des coûts et des retombées d'un projet, ce qui permet de peser le pour et le contre de chaque option et d'opter pour celle dont le gain global est le plus substantiel (Thomopoulos, Grant-Muller et Tight, 2009). Pour mettre une valeur sur le bénéfice d'un projet pour un individu, le modèle recourt à l'idée de volonté de payer, connue sous l'appellation *willingness-to-pay* (WTP) en anglais. La WTP se fonde sur la valeur du temps variable de chaque individu; ainsi, une personne gagnant un revenu élevé disposera d'une WTP plus élevée qu'une personne au chômage ou travaillant au salaire minimum. De façon plus concrète, la monétisation du bénéfice d'un projet de transport sera le produit du temps épargné par l'intervention avec la valeur du temps des individus affectés par cette opération. Ce calcul se fait de manière agrégée sur l'ensemble de la population, de sorte qu'il n'est pas possible de déterminer le bénéfice distinct d'un projet pour chaque individu.

Les fondements des analyses coûts-bénéfices sont vivement critiqués par la littérature relative à l'équité en transport pour diverses raisons (Thomopoulos et al., 2009; Van Wee et Geurs, 2011). Ainsi, étant donnée la nature agrégée des retombées, ce modèle traduit mal les effets distributifs, dont ceux relatifs à l'accessibilité, ce qui ne permet pas d'appréhender les retombées dans une perspective d'équité verticale (qui consisterait à évaluer si la situation favorise les individus qui en ont le plus besoin; voir sections 2.6.2 et 2.6.3). Il n'est donc pas possible d'investiguer la répartition des bénéfices entre individus. Une seconde critique à l'égard des analyses coûts-bénéfices réside dans la variabilité de la valeur du temps des agents économiques, qui confère un poids plus considérable aux ménages fortunés et inversement un poids plus faible aux ménages à faible revenu. Cela induit un biais à la faveur des projets de transport bénéficiant aux couches favorisées, déjà plus mobiles et motorisées, au détriment des couches moins mobiles, qui encourent dès lors un plus grand risque de stagnation des investissements à leur égard (Lucas, van Wee et Maat, 2015). Le rapport *Fairness in a Car-Dependent Society* (UK Sustainable Development Commision, 2011) a d'ailleurs mis en évidence l'investissement public en transport très variable entre les ménages pauvres et riches au Royaume-Uni, une situation qui favorise les mieux nantis (Figure 2.3). En

outre, la notion de WTP est insensible au fait que les ménages à faible revenu soient parfois incapables d'investir davantage dans leur mobilité, ce qui traduit plus un stress financier qu'une absence de désir pour des investissements en transport (Lucas et al., 2015). Finalement, une dernière critique à l'égard du modèle coûts-bénéfices se rapporte à la difficulté de convertir l'ensemble des retombées d'un projet en valeurs monétaires, surtout dans une perspective sociale (Caulfield et al., 2014). Ainsi, de manière générale, les analyses coûts-bénéfices s'avèrent peu adaptées à l'évaluation de l'équité sociale de politiques de transport, étant incapables de tenir compte adéquatement des effets distributifs et des enjeux d'exclusion sociale par le transport (Thomopoulos et al., 2009; Lucas et al., 2015; Van Wee et Geurs, 2011).

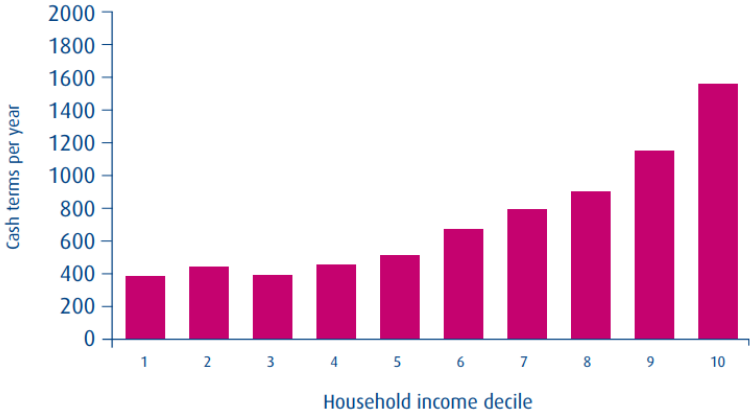


Figure 2.3 - Variation des investissements en transport per capita selon le décile de revenu.

Source : UK Sustainable Development Commission (2011)

2.2.1.3.2 Implications en matière d'équité sociale

La nature des analyses coûts-bénéfices favorise ainsi l'apparition d'un écart de mobilité croissant entre les ménages riches, davantage motorisés, et ceux à faible revenu, souvent moins motorisés et davantage captifs des modes collectifs et actifs (Litman, 2017). Étant donné la plus grande part d'investissements destinés aux ménages fortunés et leur plus grande propension à être motorisés, ce modèle d'évaluation a contribué à encourager les investissements routiers plutôt qu'en transport collectif, favorisant au fil du temps l'apparition de problèmes de mobilité chez les individus sans voiture ou pour lesquels ce mode de transport engendre un stress financier (Glaeser et Kahn, 2004). En réaction, diverses voix de la littérature se sont élevées pour exiger un changement de paradigme en planification des transports, qui se ferait à la faveur de l'accessibilité plutôt que de la mobilité (Di Ciommo et Shiftan, 2017; Nahmias-Biran, Sharaby et Shiftan, 2014; Pereira et al., 2017).

2.2.2 Le transport collectif : régulateur des inégalités sociales?

Malgré son importance pour la mobilité des populations vulnérables, l'apport social du transport collectif a longtemps été sous-estimé dans les méthodes de planification (Stanley et Lucas, 2008). Cette critique s'applique aussi aux bénéfices sociaux du transport de manière générale, ce qui n'est pas étranger à l'accent mis sur la mobilité plutôt que l'accessibilité dans les outils de planification des transports. Cette réalité n'est cependant pas représentative de l'apport précieux du transport collectif quant à la participation des populations vulnérables à la société, justifiant son financement public (Currie et Stanley, 2008; Pickup et Giuliano, 2005).

La présence d'une offre de transport collectif peut se révéler d'une grande utilité pour assurer une accessibilité de base aux individus sans voiture ou pour ceux qui aimeraient ne pas avoir à s'en servir pour des raisons budgétaires ou autres (Bureau et Glachant, 2011; Currie, 2010). Garrett et Taylor (1999) prétendent que le transport collectif est devenu au fil du temps un service social, en cela qu'il sert avant tout à garantir un accès essentiel aux emplois, à l'éducation et aux soins de santé aux individus sans accès régulier à l'automobile. Il est généralement reconnu dans le milieu des transports que les individus à faible revenu sont plus captifs du transport collectif (El-Geneidy et al., 2016; UK Social Exclusion Unit, 2003). Des lacunes au sein de l'offre de transport collectif, dans le contexte de communautés défavorisées, peuvent avoir de sérieux impacts sur la qualité de vie et favoriser l'exclusion sociale (Garrett et Taylor, 1999; Nazari Adli et al., 2019). Le rapport du *UK Social Exclusion Unit* (2003) a d'ailleurs mis en lumière l'importance d'une bonne desserte; parmi les individus disant rencontrer des difficultés à accéder aux lieux d'activité de leur quotidien, l'obstacle le plus fréquemment mentionné fut l'inadéquation des services de transport collectif aux besoins (chez 45% des individus). Une absence même momentanée de cette offre peut nuire aux perspectives globales d'accessibilité, notamment en matière d'emplois (Blumenberg et Manville, 2004; Garcia, Macário, Menezes et Loureiro, 2018).

Au sein de la littérature relative à l'équité en transport, il existe un courant résolument favorable à la promotion du transport collectif afin de mitiger les inégalités sociales (Lucas, 2012; Martens, Golub et Robinson, 2012; Pereira et al., 2017). Plusieurs agences responsables de la planification du transport collectif ont d'ailleurs développé des orientations à cet effet, voire fixé des objectifs, comme en témoignent les moutures récentes des plans de transport de Boston, San Francisco et Londres (Manaugh et al., 2015). Certains auteurs vont d'ailleurs jusqu'à prétendre que l'accès au

transport collectif constituerait un droit, que celui-ci devrait garantir à tous un niveau d'accessibilité minimal à des opportunités variées, tout en portant une attention particulière aux besoins des segments de populations défavorisés (Nazari Adli et al., 2019). Les bénéfices découlant d'une distribution équitable de l'offre de transport collectif peut ainsi contribuer à réduire les inégalités économiques au sein d'une société (Grengs, 2010; Jones et Lucas, 2012a). Il reste que le transport collectif n'est pas l'unique avenue susceptible de mitiger les inégalités sociales, certains auteurs misant aussi sur des interventions d'ordre urbanistique (Litman, 2017) ou sur la complémentarité de modes de transport informels afin de répondre aux besoins de mobilité de tous (voir 2.3.2.2) (Lucas, 2012). Il demeure que la transport collectif favorise l'accessibilité de tous, contrairement à l'automobile, qui avantage uniquement les individus disposant d'un accès à ce mode privatif.

2.3 Mesurer l'accessibilité

L'évaluation du niveau d'équité d'une offre de transport collectif s'avère indissociable de la notion d'accessibilité potentielle aux opportunités, d'abord parce que cette notion traite de la capacité des réseaux de transport à faciliter l'accès aux lieux d'activités pour les individus, mais aussi parce que l'évaluation de l'accessibilité permet d'appréhender les effets distributifs de diverses interventions entre les groupes de population, dont les besoins et capacités sont variables en matière de mobilité.

Quoique le concept d'accessibilité soit relativement intuitif et simple à saisir, l'opérationnalisation laisse place à divers défis en raison de la portée transversale du concept. Il peut s'avérer pratique de le circonscrire à une réalité précise, comme ici : il est question de mesurer l'accessibilité du voisinage et du transport collectif dans une perspective d'équité sociale. L'accessibilité, rappelons-le, résulte de l'interaction entre quatre composantes, à savoir le réseau de transport, la distribution spatiale des activités, la disponibilité temporelle (à la fois des systèmes de transport et des opportunités) ainsi que les besoins et capacités variables des individus. Outre la prise en compte des quatre composantes de l'accessibilité, une bonne mesure serait aussi sensible à une variation de ces composantes à plus long terme (Geurs et van Wee, 2004). Il s'agit ici de définir en quoi consisterait une mesure optimale, d'identifier un modèle idéal vers lequel devrait tendre la pratique (Geurs et Ritsema van Eck, 2001; Scheurer et Curtis, 2007).

Lors du choix d'un modèle de mesure d'accessibilité, il importe de garder à l'esprit le but poursuivi, qui est de faire en sorte que cette mesure soit reprise dans le processus de planification. Bertolini et al. (2005) sont d'avis que pour ce faire, une mesure doit, d'une part, être en adéquation avec les intuitions et perceptions des populations concernées et, d'autre part, être aisément compréhensible par ceux qui prennent part au processus de planification. Le défi consiste alors à opter pour une mesure dont les assises théoriques sont adéquates (à la lumière des exigences théoriques multiples), tout en restant suffisamment simple pour être communicable à divers types d'auditoires aux niveaux d'expertise souvent variables.

Dans une optique d'équité, certaines considérations supplémentaires devraient guider le choix d'un modèle de mesure d'accessibilité. Ainsi, comme les besoins et capacités varient entre individus en ce qui a trait à la mobilité, la mesure devrait permettre un haut niveau de désagrégation, idéalement au niveau de l'individu, cela afin d'obtenir une représentation adéquate des facteurs de vulnérabilité des personnes (Preston et Rajé, 2007). Aussi, puisque les populations à faible revenu sont plus sensibles aux coûts de transport, une mesure d'accessibilité tiendrait idéalement compte de l'impact de la tarification sur l'accessibilité réelle des individus (Di Ciommo et Shiftan, 2017).

Dans une optique propre au transport collectif, l'accessibilité se décline en quatre perspectives dites complémentaires, selon Fransen et al. (2015). La première s'intéresse à la proximité physique aux points d'accès du réseau (arrêts, stations, gares) à partir d'un lieu précis. La deuxième perspective traite quant à elle de l'importance relative de chaque arrêt en termes d'intensité de l'offre de service disponible, autrement dit de la fréquence. Troisièmement, l'accessibilité du transport collectif peut être abordée dans une perspective de coût requis pour atteindre certaines destinations via le réseau de transport collectif, que cela se traduise en temps ou en argent. Finalement, un quatrième type d'indicateur aborderait l'inévitable variabilité temporelle de l'accessibilité, qui peut apporter une compréhension toute autre par rapport à une analyse statique. Murray et Wu (2003) résument ces quatre perspectives en deux composantes uniquement, soit l'accessibilité aux réseaux de transport collectif dans une optique de point d'accès au système ainsi que l'accessibilité aux destinations que permet la desserte disponible à ces arrêts (Scheurer et Curtis, 2007).

2.3.1 Catégories de mesures

Geurs et van Wee (2004) ont identifié quatre types de mesures d'accessibilité, qu'ils ont tour à tour examinés sous divers angles. Ces catégories de mesure reposent respectivement sur l'infrastructure de transport, sur l'emplacement, sur l'individu ou sur l'utilité dérivée de l'accessibilité. Elles seront explorées une à une dans la présente section.

2.3.1.1 Mesures basées sur l'infrastructure (*Infrastructure-based measures*)

Le premier modèle identifié par Geurs et van Wee (2004) se rapporte à l'infrastructure de transport et porte également le nom de modèle de séparation physique (Bhat et al., 2000). Ce type de mesure est généralement employé pour traiter du niveau de service d'une infrastructure, de la vitesse et/ou de la fréquence. Les mesures d'accès physique au réseau de transport font partie de cette famille de mesures, tout comme les mesures d'intensité de service à un arrêt précis. Dans une perspective d'accessibilité spatiale, ce modèle n'est pas conforme aux exigences théoriques, ignorant tout de la distribution spatiale des opportunités, tout en étant relativement imperméable aux composantes temporelle et individuelle (Geurs et van Wee, 2004) de l'accessibilité. Ce modèle n'est donc que très faiblement compatible avec une analyse de l'équité d'accessibilité, qui requiert une analyse plus poussée que celle permise par ce modèle. Les mesures basées sur l'infrastructure relèvent plus d'une approche de planification basée sur la mobilité que sur l'accessibilité (Banister, 2008).

2.3.1.2 Mesures basées sur l'emplacement (*Location-based measures*)

La deuxième famille de mesures d'accessibilité identifiée par Geurs et van Wee (2004) repose sur l'usage d'un emplacement précis à partir duquel (ou vers lequel) s'effectuent les mesures. Ce type de mesure s'applique généralement à l'échelle d'une région (macro) et traduit l'accessibilité à des opportunités distribuées à travers l'espace à partir d'un point de départ, rendant ce modèle adéquat pour mesurer l'accessibilité géographique des populations via le réseau de transport collectif. Pour reprendre les termes de Cerdà et El-Geneidy (2010), « ce type de mesure est avantageux pour (…) mesurer les changements d'accessibilité provoqués par les nouveaux projets de transport ou d'aménagement, et pour déceler facilement (qui sont) les gagnants et les perdants régionaux en ce qui concerne les gains (ou les pertes) en matière d'accessibilité ». Par ailleurs, les mesures basées sur l'emplacement se déclinent en trois modèles : les modèles d'opportunités cumulées, gravitaire et de compétition (Geurs et van Wee, 2004).

2.3.1.2.1 Modèle d'opportunités cumulées

Ce modèle, le plus simple parmi la famille des mesures basées sur l'emplacement, fait usage d'un isochrone, qui consiste en un polygone d'accessibilité territoriale dont les contours représentent les lieux les plus éloignés pouvant être atteints à l'intérieur d'un laps de temps donné. Cette mesure, qui fait état du nombre d'opportunités comprises à l'intérieur de ce polygone (Geurs et van Wee, 2004), peut être traduite par l'équation 1 (El-Geneidy et al., 2016), où A_i représente l'accessibilité du ménage *i* à l'ensemble des opportunités *O* situées dans la zone *j*, et $f(C_{ij})$ est la fonction de coût traduisant le seuil de temps ou de distance fixé pour définir les bornes du polygone d'accessibilité. Par exemple, si le temps requis pour accéder à une opportunité précise est supérieur au seuil défini, la fonction de coût prendra une valeur nulle et l'opportunité en question ne sera conséquemment pas comptabilisée.

$$A_i = \sum_{j=1}^{n} O_j f(C_{ij}) \quad (1) \qquad où \qquad f(C_{ij}) = \begin{cases} 1 \; if \; C_{ij} \leq t_{ij} \\ 0 \; if \; C_{ij} > t_{ij} \end{cases}$$

Ce modèle recèle de nombreux avantages qui en font une mesure propice à l'usage dans un contexte de planification urbaine. En plus de tenir compte de la distribution spatiale des lieux d'activité, ce modèle peut facilement être mis à profit, étant relativement peu friand en termes de données (Geurs et van Wee, 2004). Son principal avantage réside en fait dans sa facilité d'interprétation, ce qui le rend particulièrement communicable tant à un auditoire d'experts qu'au grand public (Cerdà et El-Geneidy, 2010). Toutefois, le modèle d'opportunités cumulées recense aussi maints écueils le rendant potentiellement inapte à satisfaire divers requis théoriques auxquels doit répondre une mesure d'accessibilité (Geurs et van Wee, 2004). Une des principales critiques tient au fait que toutes les opportunités comprises dans le polygone isochrone possèdent une valeur équivalente, ce qui contrevient à la théorie comportementale voulant que les opportunités perdent de leur attrait à mesure que s'accroît la distance (Geurs et van Wee, 2004; El-Geneidy et Cerdà, 2010).

2.3.1.2.2 Mesures gravitaires d'opportunités

Un deuxième modèle de mesures d'accessibilité reposant sur l'emplacement réside dans le modèle gravitaire, dont le développement vise à répondre aux lacunes du modèle d'opportunités cumulées occasionnées par l'utilisation d'un seuil arbitraire (Scheurer et al., 2007). De manière résumée, ce modèle attribue à chaque opportunité une valeur, qui décroît en fonction de la distance qui la sépare du lieu à partir duquel est effectuée la mesure. Cela permet de contourner l'enjeu du seuil en

considérant plutôt l'ensemble des opportunités, à la faveur d'une attractivité décroissante selon une fonction de coût dûment calibrée (Geurs et van Wee, 2004; Grisé, Boisjoly, Maguire et El-Geneidy, 2018). C'est la mesure d'accessibilité la plus connue dans la littérature en transport et également la plus utilisée dans la pratique (Cerdà et El-Geneidy, 2010). Le modèle gravitaire peut être traduit par l'équation 2, où A_i traduit l'accessibilité du ménage *i* aux opportunités *D* situées dans la zone *j*, et $e^{-\beta c_{ij}}$ constitue la fonction exponentielle négative selon laquelle l'accessibilité d'une opportunité diminue au gré de la distance (Handy et Niemeier, 1997; Hansen, 1959). À noter que cette fonction peut prendre plusieurs formes, une seule variante étant présentée ici.

$$A_i = \sum_{j=1}^{n} D_j e^{-\beta c_{ij}} \quad (2)$$

En plus de tenir compte de la composante d'utilisation du sol, qui constitue un prérequis pour traiter adéquatement de l'accessibilité, le modèle gravitaire est fidèle aux perceptions des individus en vertu desquelles une opportunité de proximité est plus désirable qu'une alternative distante, ce qui rend le modèle plus adéquat que celui d'opportunités cumulées aux yeux des théoriciens comme des praticiens (Scheurer et al., 2007). Par ailleurs, la quantité de données requise par le modèle gravitaire demeure raisonnable et les résultats permettent d'appréhender les niveaux variables d'accessibilité entre divers groupes socioéconomiques. Malgré ces avantages, le modèle gravitaire compte un défaut majeur, à savoir sa difficulté d'interprétation qui contribue à le rendre difficile à communiquer. Le résultat final ne traduit pas une quantité concrète d'opportunités, mais seulement le niveau d'accessibilité relatif dont jouit un individu, ce qui nuit à la portée des résultats de l'analyse (Handy et Niemeier, 1997; Cerdà et El-Geneidy, 2010). Par ailleurs, le modèle ne tient pas compte de l'effet de compétition entre individus pour l'accès aux diverses opportunités, ni des contraintes relatives aux horaires des activités et de l'offre de transport (Geurs et van Wee, 2004).

2.3.1.2.3 Modèle de compétition

Une des critiques les plus récurrentes des modèles d'opportunités cumulées et gravitaires tient au fait que ceux-ci ne tiennent pas compte de l'effet de compétition entre individus à l'égard des lieux d'activités. Or, cette compétition peut avoir une incidence sur le comportement des personnes, qui pourraient par exemple préférer éviter certaines zones de destination où la demande excède l'offre. Pour répondre à cet enjeu théorique, quelques modèles ont été proposés au fil du temps, dont celui de Wilson (1971) appelé modèle à double contrainte (Wilson, 1971). En vertu de ce dernier, deux

coefficients (a_i et b_j, voir Équations 3 et 4) de balancement sont calculés pour que la quantité de déplacements se destinant à une zone corresponde à la quantité d'activités disponibles dans cette zone, mais aussi que la quantité d'origines soit cohérente avec la population d'une zone, évitant ainsi de surestimer le niveau d'accessibilité réel d'un lieu par rapport à un modèle qui ne tiendrait pas compte de cette compétition pour les opportunités (Geurs et van Wee, 2004). Les coefficients ainsi obtenus peuvent alors être interprétés comme des mesures d'accessibilité pondérées par l'effet de compétition. Les formules propres à ces derniers comprennent le nombre brut d'individus et d'opportunités (O_i et D_j), de même que des fonctions de poids calibrées pour refléter les fondements gravitaires du modèle (équations 3 et 4). Ces fonctions peuvent d'ailleurs revêtir plusieurs formes.

$$a_i = \sum_{j=1}^{n} \frac{1}{b_j} D_j e^{-\beta c_{ij}} \quad (3) \qquad\qquad b_j = \sum_{i=1}^{m} \frac{1}{a_i} O_i e^{-\beta c_{ij}} \quad (4)$$

Le principal avantage du modèle à double contrainte de Wilson (1971) réside dans sa conformité théorique plus affirmée que chez les autres modèles de la famille des mesures d'accessibilité basées sur l'emplacement. Cependant, bien que les mesures découlant de ce modèle soient plus réalistes, elles sont également plus complexes, tant en termes de calcul que d'aisance à être communiquées, ce qui explique en grande partie l'utilisation peu courante du modèle dans la pratique en dépit de ses atouts indéniables d'un point de vue conceptuel (El-Geneidy et Cerdà, 2010).

2.3.1.3 Mesures basées sur l'individu (*Person-based measures*)

Les mesures d'accessibilité basées sur l'individu constituent une troisième famille de modèle visant à traduire le niveau d'accès des personnes aux opportunités. Ces mesures ont été développées par Hägerstrand (1970) en réponse aux lacunes relatives aux modèles basés sur la localisation, qui ne tiennent pas compte des déplacements effectués à partir d'un lieu de départ autre que le domicile, tout en étant insensibles aux chaînes de déplacement et aux capacités variables des individus. C'est pour combler ces lacunes que le modèle d'espace-temps fut mis au point (Hägerstrand, 1970). Celui-ci repose sur l'idée d'un prisme d'accessibilité au sein duquel l'individu est susceptible de se trouver à la lumière de diverses contraintes d'horaire spécifiques à cette personne (El-Geneidy et Cerdà, 2010). Cette approche désagrégée s'avère apte à mesurer l'impact d'attributs individuels sur la production de l'accessibilité, rendant ce modèle plus fidèle à la réalité variable des individus.

Les contraintes temporelles comprises dans les mesures d'accessibilité basées sur l'individu sont au nombre de trois, à savoir les contraintes de capacité, de jumelage et d'autorité (Scheurer et al, 2007). Les contraintes de capacité font écho à la quantité limitée d'activités que peut entreprendre un individu dans un laps de temps fini. Les contraintes de jumelage se rapportent à la nécessité d'être à un certain endroit à un certain moment, traduisant une rigidité d'horaire. Finalement, les contraintes d'autorité font écho à la fenêtre de disponibilité temporelle des opportunités, qui est variable selon la journée et le type d'activité. Lorsque ces contraintes sont jumelées à des attributs personnels, les contours du prisme espace-temps d'accessibilité émergent, ce qui permet ensuite de savoir à quelles opportunités un individu est potentiellement exposé au cours de ses déplacements (El-Geneidy et Cerdà, 2010; Hägerstrand, 1970).

Les mesures d'accessibilité basées sur l'individu comportent plusieurs avantages, à commencer par leur rigueur théorique, notamment à la lumière des critères énoncés par Geurs et van Wee (2004). C'est le modèle le plus apte à tenir compte de la composante individuelle de l'accessibilité grâce à l'approche hautement désagrégée privilégiée au sein de la méthode. Sa considération de la notion temporelle de l'accessibilité le rend aussi plus fidèle à la variabilité de l'accès au fil du temps, ce qui permet d'éviter de surestimer les niveaux d'accessibilité. Par ailleurs, il s'agirait du modèle le plus approprié pour traiter d'équité, ce modèle intégrant quantité d'informations relatives à chaque individu (Di Ciommo et Shiftan, 2017; Geurs et van Wee, 2004). Ce grand niveau de précision entraîne cependant un inconvénient majeur, à savoir la grande quantité de données nécessaire pour opérationnaliser le modèle à grande échelle, sachant qu'il est nécessaire de disposer d'informations complexes relatives aux horaires de chaque individu. D'ailleurs, le niveau de précision requis excède généralement celui des enquêtes de mobilité générales (Scheurer et al., 2007). Les calculs deviennent rapidement complexes en vertu de ce modèle en raison de la grande quantité de données nécessaire, et l'interprétation est ardue, ce qui nuit à la communicabilité du modèle (El-Geneidy et Cerdà. 2010; Geurs et van Wee, 2004). Ces inconvénients importants peuvent expliquer l'absence d'application concrète à grand déploiement d'un modèle d'accessibilité basé sur l'individu.

2.3.1.4 Mesures basées sur l'utilité (*Utility-based measures*)

La quatrième famille de mesures d'accessibilité repose sur la notion micro-économique d'utilité, qui renvoie au bénéfice que retire un individu d'une ressource (Di Ciommo et Shiftan, 2017). En liant ainsi l'accessibilité à des notions théoriques reconnues, les chercheurs à l'origine de ce modèle

visaient l'émergence d'un procédé cohérent avec les multiples exigences théoriques que devrait satisfaire une mesure d'accessibilité (El-Geneidy et Cerdà, 2010). Un premier modèle est celui de l'utilité aléatoire (Ben-Akiva et Lerman,1985), aussi connu sous le nom de *logsum*. Celui-ci capture l'utilité maximale dérivée des opportunités présentement accessibles à un individu (équation 5).

$$A_i = \ln\left(\sum_{k=1}^{m} e^{Vk} \right) \qquad (5)$$

Le modèle de Ben-Akiva et Lerman (1985), bien que rigoureux à l'égard du respect des exigences théoriques d'une mesure d'accessibilité, ne tient pas compte de l'effet de compétition à l'égard des opportunités, ce à quoi cherche à répondre le modèle d'entropie doublement contrainte de Martinez (1995), qui permet d'équilibrer les volumes de déplacement produits et attirés (équations 6, 7, 8).

$$A_i = -\frac{1}{\beta}\ln(a_i) \quad A_j = -\frac{1}{\beta}\ln(b_j) \quad A_{ij} = -\frac{1}{\beta}\ln(a_i b_j) \qquad (6)\ (7)\ (8)$$

Des quatre familles de mesures d'accessibilité, le modèle d'utilité constitue la variante répondant le mieux aux exigences théoriques et conceptuelles, puisant à la fois dans les théories de l'économie et du comportement de mobilité (El-Geneidy et Cerdà, 2010). Il permet d'introduire les préférences individuelles variables entre personnes via la notion d'utilité, tout en étant cohérent avec le principe d'utilité marginale décroissante, selon lequel le bénéfice dérivé d'un bien décroît à mesure que la quantité croît (Gossen, 1854). Selon Geurs et van Wee (2004), cela rend ce modèle particulièrement prometteur pour une planification équitable des transports, car les endroits souffrant d'un déficit d'accessibilité sont ceux pour lesquels les gains d'accessibilité ont l'impact le plus significatif en termes d'utilité. Un autre avantage est lié au fait que les retombées peuvent être monétisées, ce qui facilite l'intégration aux modèles d'évaluation de projets (El-Geneidy et Cerdà, 2010).

Bien que présentant de nombreux avantages, le modèle d'utilité recèle aussi certains inconvénients notables. Tout d'abord, il s'agit de la variante la plus complexe (mathématiquement parlant) et la plus exigeante en matière de données des quatre familles de mesures (El-Geneidy et Cerdà, 2010). Ceux-ci s'avèrent difficiles à interpréter, à vulgariser et à communiquer, nuisant à la probabilité que ces mesures aient un écho favorable dans la pratique (Geurs et van Eck, 2001). Par ailleurs, le lien entre provision en transport et participation économique, bien que reconnu de manière qualitative, reste flou dans une perspective plus quantitative, laissant planer une incertitude autour de l'utilité (Scheurer et al., 2007). Ainsi, bien que théoriquement valide, les modèles d'utilité restent à ce jour sous-employés dans une perspective pratique d'évaluation de l'accessibilité.

2.3.2 Angle d'analyse

Comme en témoigne la diversité des modèles visant à mesurer l'accessibilité, cette dernière peut être interprétée de différentes façons selon l'angle d'approche choisi. Dans une optique d'équité de la fourniture d'options de transport, il importe cependant de distinguer l'accessibilité potentielle, relativement facile à mesurer, de l'accessibilité vécue, qui correspond à celle dont les individus peuvent réellement faire usage, ce qui reflète mieux les capacités et contraintes de chacun (Martens, 2016). Il importe également de distinguer les notions d'accessibilité directe et indirecte (2.3.2.2).

2.3.2.1 Accessibilité normative VS positive

Une majorité de mesures d'accessibilité identifiées dans la littérature relève d'une approche dite normative, où le but est de mesurer les niveaux d'accessibilité dont jouissent potentiellement les individus à la lumière d'une cible identifiée par les planificateurs (Páez, Scott et Morency, 2012). Les mesures axées sur la localisation (opportunités cumulées, modèles gravitaire et de compétition) relèvent de cette approche fréquemment associée aux politiques publiques. À l'inverse, l'approche positive repose plutôt sur les comportements de mobilité observés pour traiter d'accessibilité, bien que cela concerne plus le diagnostic des habitudes de mobilité que le développement de politiques publiques. L'approche « positive » vise à identifier des groupes dont le profil de mobilité s'écarte de la normale, ce qui peut traduire la présence de situations problématiques (Paéz et al., 2012).

Les notions d'accessibilité normative et positive rencontrent certaines critiques. Ainsi, l'approche normative renvoie inévitablement à une forme de paternalisme, dans la mesure où l'évaluation de l'équité d'accessibilité est faite à la lumière d'une norme arbitraire établie par un petit groupe, tout en s'appliquant à l'ensemble de la population (Martens, 2016). Du côté de l'approche positive (observée), la critique s'oriente surtout vers les cas d'application dans une optique de politique publique, dans la mesure où cette approche risque de sous-estimer les besoins des individus moins mobiles. L'enjeu tient au fait que la mobilité moindre de ces personnes est parfois symptomatique de la présence de contraintes plutôt que d'une absence du désir ou du besoin de se déplacer (Pereira et al., 2017). Dans une optique de bonification des politiques publiques, Paéz et al. (2012) suggèrent l'utilisation conjointe des deux approches, qui permettrait d'identifier une cible à atteindre tout en facilitant l'identification de zones de vulnérabilité en matière de mobilité.

2.3.2.2 Accessibilité directe VS indirecte

Les modèles d'évaluation de l'accessibilité recensés dans la littérature ainsi que dans la pratique reposent sur l'accessibilité « directe », soit la capacité des individus à se déplacer sur les réseaux de transport formels de façon autonome (Hine et Grieco, 2003). Or, selon divers auteurs (Stanley et Lucas, 2008; Currie et al., 2009), cela ne reflèterait que partiellement la mobilité des populations vulnérables, qui recourent fréquemment à des réseaux informels pour répondre à leurs besoins de mobilité. Hine et Grieco (2003) désignent ce phénomène en tant qu'accessibilité « indirecte », qui fait écho à l'importance du capital social de ces individus pour compenser le déficit d'accessibilité directe ou « formelle » auquel ces derniers sont confrontés pour diverses raisons. Currie et al. (2009) ont mis en lumière l'importance des raccompagnements en automobile par des proches chez les populations à faible revenu vivant dans des milieux dépendants de l'automobile. Selon Stanley et Lucas (2008), le recours aux systèmes de mobilité informels est symptomatique d'une incapacité, financière ou autre, à utiliser l'offre de transport formelle, qu'elle soit collective ou privée.

2.3.3 Choix des opportunités

Les mesures d'accessibilité requièrent l'identification d'opportunités spatiales, le volet « utilisation du sol » formant une composante clé de l'accessibilité (Geurs et van Wee, 2004). Dans une optique d'équité, le contenu du panier de biens susceptible d'encourager la participation sociale devrait idéalement être défini en collaboration directe avec les populations cibles, à savoir les populations socialement défavorisées (Lucas et al., 2015; Martens, 2016). Cela permettrait d'éviter tout écueil paternaliste accompagnant ce type de prise de décision lorsqu'elle relève d'un nombre restreint de personnes, lesquelles ne partagent peut-être pas le vécu de la population cible. D'ailleurs, en vertu de la théorie comportementale d'Amartya Sen (Sen, 1982, 1999), il faudrait éviter les hypothèses relatives aux besoins et désirs variables des individus, puisque cela pourrait biaiser l'analyse.

À défaut de pouvoir mener une consultation publique visant à sonder les besoins des populations socialement vulnérables, il est possible d'analyser les nombreuses définitions relatives aux besoins fondamentaux émanant d'organismes œuvrant pour les droits universels. En analysant les articles présents dans la Déclaration Universelle des Droits de l'Homme et dans la Convention européenne des Droits de l'Homme, Chris Wood conclut que l'accessibilité à de la nourriture, à l'emploi, à la culture, à des opportunités de développement personnel et à une certaine qualité de vie constituent des droits (UK Sustainable Development Commission, 2011). L'accès à une alimentation saine,

aux soins de santé et à des opportunités d'éducation figurent également dans les définitions du Commonwealth et des Nations Unies relatives aux droits de l'homme (Ndour et Boidin, 2012).

La littérature sur l'équité en transport abonde d'analyses misant sur l'accès à diverses opportunités. De façon notoire, le rapport du *UK Social Exclusion Unit* (2003) a identifié les catégories de biens pour lesquels l'accès par les populations à risque d'exclusion sociale peut s'avérer problématique. Il s'agit des opportunités d'emplois, d'éducation, de soins de santé, d'alimentation, de même que les activités culturelles et de loisirs. Un bref survol de la littérature permet de constater que parmi ces diverses catégories, celle de l'emploi trouve l'écho le plus significatif, ce qui n'est pas étranger à l'importance de ce type d'opportunité pour l'inclusion sociale (Blumenberg et Manville, 2004). Ainsi, la quasi-totalité des méthodes de diagnostic de l'équité d'accessibilité en transport collectif misent, en tout ou en partie, sur l'accès à l'emploi. Ce constat vaut également pour les documents de planification du transport collectif de maintes régions urbaines, qui prônent une amélioration de l'accessibilité aux pôles d'emplois par les populations vulnérables (Manaugh et al., 2015). Malgré l'importance de ce type d'opportunité, il ne s'agit pas de la seule qui mérite une place dans un cadre d'évaluation de l'équité sociale des transports (Sioui, 2014).

Outre l'accessibilité aux emplois, diverses méthodes intègrent aussi les institutions scolaires et de santé de même que les parcs à leur cadre d'analyse, ces opportunités étant essentielles à la qualité de vie des individus, tout comme l'est l'accès à des commerces d'alimentation, généralement via des indicateurs d'accès aux supermarchés (Lucas et al., 2015; Pereira et al., 2017; Karner, 2018; Van Wee et Geurs, 2011). Dans une moindre mesure, les opportunités de loisirs et de culture sont aussi considérées en raison de leur contribution à la qualité de vie et au bien-être des individus (Litman, 2002). Les garderies sont aussi considérées dans certaines approches, étant donné leur contribution à la participation à l'emploi par les femmes et leurs impacts sur la complexification des chaînes de déplacements (Fransen et al., 2015; McGuckin et Nakamoto, 2005).

2.4 Vulnérabilité sociale et pauvreté d'accessibilité

La diversité relative aux besoins et aux capacités entre personnes, mais aussi pour un seul et même individu au cours de sa vie, rend la caractérisation des populations fort utile (voire inévitable) pour le diagnostic d'équité d'une offre de transport collectif. Conformément à cela, un certain nombre de facteurs semble jouer un rôle déterminant sur la vulnérabilité sociale en transport d'un individu.

Dans une optique d'exclusion sociale, ce sont les facteurs qui risquent de contraindre l'accessibilité des individus et incidemment leur participation à la vie économique et sociale qui doivent faire l'objet d'une attention particulière (Kenyon et al., 2002). Par ailleurs, la vulnérabilité sociale en transport varie selon le nombre de facteurs de risque présents chez un individu, une combinaison de plusieurs facteurs étant synonyme de vulnérabilité accrue (Litman, 2017). Cette vulnérabilité découle généralement d'un amalgame de facteurs liés aux attributs individuels et du ménage ainsi qu'aux caractéristiques du voisinage d'un individu (Pereira et al., 2017). Preston et Rajé (2007) font à cet égard mention du déficit de mobilité individuelle (fruit de contraintes personnelles), du déficit d'accessibilité (tributaire des caractéristiques du voisinage et de l'offre de transport) et de la combinaison de ces deux composantes, qui accroît le risque d'exclusion sociale par le transport.

2.4.1 Caractéristiques personnelles et liées au ménage

Divers facteurs propres aux ménages et aux individus contribuent à eux seuls à créer un contexte de risque de pauvreté d'accessibilité. À cet égard, Litman (2017) a effectué une revue des facteurs pouvant contribuer au statut de défavorisation en transport. Il a ainsi identifié le statut d'individu à faible revenu, le fait de ne pas posséder de permis de conduire, de ne pas avoir accès à une voiture, la présence d'un handicap, la barrière de langue, le fait de vivre dans un endroit caractérisé par un déficit d'accessibilité, le statut de parent ou de proche aidant de même que la présence d'obligations exigeant un déplacement récurrent tel qu'un emploi ou un état de santé incertain.

Di Ciommo et Shiftan (2017) se sont prêtés à un exercice similaire, tâchant d'identifier des critères pertinents pour effectuer une segmentation de la population dans un angle d'évaluation de l'équité, et ont identifié des facteurs similaires. Les auteurs mettent de l'avant l'importance du niveau de revenu, mais aussi de la disponibilité d'une voiture, deux facteurs auxquels sont corrélés d'autres éléments tels que l'âge, le niveau d'éducation, le statut d'emploi ainsi que le statut de femme. Selon eux, les individus à faible revenu sont davantage captifs du transport collectif, tout comme le sont les jeunes, qui ne peuvent posséder de permis de conduire, ainsi que les personnes âgées, quoique cette corrélation s'amenuise au fil du temps, les personnes âgées affichant des taux de motorisation croissants (Giuliano, 2004). Le fait d'occuper un emploi est associé à une plus grande motorisation, tandis que les chômeurs parcourent généralement de moins grandes distances. En ce qui concerne les femmes, la vulnérabilité provient surtout de leur plus grande propension à s'acquitter des tâches ménagères et familiales, induisant une complexification des chaînes de déplacement, ce qui crée

une pression supplémentaire sur leur horaire du temps, qui se trouve exacerbée lorsque ces femmes dépendent du transport collectif, dont les réseaux sont avant tout conçus pour faciliter le navettage et non pour répondre à des chaînes de déplacement complexes (Lubitow, Rainer et Bassett, 2017).

Di Ciommo et Shiftan (2017) ont aussi identifié la structure du ménage comme un facteur de risque potentiel, dans la mesure où le statut de parent s'accompagne de contraintes relatives à la mobilité en raison de la complexification résultante de la logistique des déplacements, notamment en lien avec l'école, la garderie et les activités parascolaires. Les chercheurs insistent sur les ménages monoparentaux, pour qui ces contraintes sont exacerbées, ce que confirment d'ailleurs d'autres études (Chlond et Ottman, 2007). Une plus grande rigidité prévaut également chez les individus dépendants du transport collectif, pour qui la configuration du réseau et des horaires peut s'avérer incompatible avec les horaires et chaînes de déplacements complexes. Les chercheurs énumèrent d'autres facteurs pouvant être pertinents pour la caractérisation des individus, à savoir le lieu de résidence (voir 2.2.2), le fait d'appartenir à une minorité ethnique ou encore la présence d'une limitation fonctionnelle entraînant l'apparition de contraintes à la mobilité (Grisé et al., 2018).

Dans une autre perspective, Schwanen et al. (2008) sont parvenus à des résultats corroborant cette littérature sur la vulnérabilité. Sous prétexte d'étudier la variabilité de la mobilité selon le sexe d'un individu, les auteurs ont fait ressortir divers éléments de contraintes à la mobilité via une analyse statistique. Ils concluent notamment que l'espace-temps des femmes est généralement plus fixe en raison d'une plus grande propension à s'acquitter des tâches ménagères et liées aux enfants, en plus de disposer d'un accès moindre à la voiture lorsque cette dernière est partagée entre les membres du ménage. Les auteurs ont également identifié que les personnes âgées ont, de manière générale, un horaire plus rigide et stable, ce qui vaut également pour les parents, qui ont moins de latitude dans leur logistique quotidienne. À l'inverse, le fait de disposer d'une voiture contribue à diminuer l'impact des contraintes temporelles, tandis que des revenus plus élevés sont plutôt associés à une réduction des contraintes spatiales liées à la mobilité (Schwanen, Kwan et Ren, 2008).

Bien que l'absence de voiture constitue un facteur de vulnérabilité, le fait de devoir en partager une entre divers membres du ménage peut également être contraignant en cela que ce privilège doit être partagé (Mattioli, 2014). Par ailleurs, il est généralement admis que les hommes seraient privilégiés quant à cette attribution (Di Ciommo et Shiftan, 2017). Dans un autre ordre d'idées, même chez les personnes âgées ne conduisant pas (ou plus), l'automobile continue souvent à jouer un rôle

important dans la mobilité, par l'entremise de proches offrant des raccompagnements (Mattioli, 2014). Par ailleurs, la perte de l'habileté à conduire peut induire un sentiment de perte d'autonomie chez plusieurs personnes âgées (UK Sustainable Development Commision, 2011).

2.4.2 Caractéristiques du voisinage et d'accessibilité

Outre les attributs personnels et du ménage, ceux du voisinage du lieu de résidence auraient aussi une incidence sur les perspectives de mobilité des individus, ce dont font d'ailleurs mention Litman (2017) ainsi que Di Ciommo et Shiftan (2017). Dans une étude portant sur l'utilisation de la voiture dans la région parisienne, Cornut et Madre (2017) mettent en lumière l'apport positif du voisinage dans la mitigation des différences d'accès à l'automobile, les milieux de vie denses et mixtes étant moins contraignants en matière de mobilité pour les individus non motorisés, un constat également partagé par Schwanen et al. (2008). Dans cet ordre d'idées, Lucas et al. (2018) ont d'ailleurs trouvé que les personnes défavorisées demeurant en milieu périphérique présentaient des taux de mobilité inférieurs à ceux d'individus de statut social similaire demeurant dans des quartiers plus centraux. Pour Currie et al. (2009), les caractéristiques propres au voisinage d'un ménage ont une incidence aussi grande sur la vulnérabilité en transport que la fourniture de services de mobilité.

Ewing et Cervero (2010) ont trouvé, en vertu de leurs analyses, que les attributs du voisinage local (tels que la densité d'activités) ont une incidence sur le comportement de mobilité des individus, ce qui vaut aussi pour d'autres études (Badoe et Miller, 2000; Ewing et Cervero, 2010; Meurs et Haaijer, 2001). Alors que certaines études portent sur l'impact général de l'accessibilité locale sur la mobilité des individus, d'autres s'intéressent plus précisément à la situation des populations défavorisées. À cet égard, un consensus semble émerger quant à l'importance particulière des opportunités locales accessibles à pied ou à vélo (Currie et al., 2009; Van Wee et Geurs, 2011). À une échelle si réduite, c'est cependant plus un enjeu de planification urbaine que de transports, un agencement adéquat des fonctions et de la densité pouvant se traduire par des gains d'accessibilité notables (Geurs et al., 2010).

L'accès à des opportunités d'emplois à l'échelle locale revêt une importance considérable, souvent ignorée ou amoindrie, pour la participation à l'emploi des personnes défavorisées (Blumenberg & Manville, 2004). À cet effet, les recherches de Blumenberg et Ong (1998) ont permis de démontrer que le recours à l'assistance sociale diminue lorsque l'accès géographique à l'emploi augmente et cela vaut particulièrement pour les emplois accessibles à distance de marche (Blumenberg et Ong,

1998). Dans une perspective régionale cette fois, Bocarejo et Oviedo (2012) ont mis en évidence une dynamique particulière relative aux perspectives d'employabilité des populations vulnérables. Celles-ci, en raison de leurs revenus limités, demeurent souvent dans des zones périphériques mal desservies par le transport collectif, dont elles dépendent pourtant pour accéder aux emplois, ces derniers étant pratiquement absents à l'échelle locale. Ce décalage nuit aux perspectives d'emploi et au maintien de ces derniers chez les populations vulnérables, renforçant ainsi leur précarité.

2.5 Principes de justice distributive

Un diagnostic d'équité repose inévitablement sur un principe sous-jacent de justice distributive qui permet d'évaluer la distribution d'une ressource à la lumière d'un système de valeurs donné. Dans le domaine des transports, il importe de saluer l'effort de Pereira et al. (2017), qui ont tâché de démêler les définitions et d'en faire une évaluation appliquée au transport. Ils abordent notamment les théories d'utilitarisme, d'égalitarisme, de sufficientarisme et de capacitisme (anglais: *capability approaches*). Ces divers principes seront étudiés dans les prochains paragraphes. De nombreux chercheurs se sont pliés, partiellement du moins, à un exercice comparable, tâchant d'illustrer la variabilité d'un diagnostic d'équité d'une offre de transport selon le principe distributif sous-jacent, et un consensus semble émerger dans la littérature quant à deux approches qui, lorsque combinées, se prêtent bien à l'évaluation de l'équité d'une offre de transport collectif : l'égalitarisme et le sufficientarisme (Lucas et al., 2015; Garcia et al., 2018; Pereira et al., 2017).

2.5.1 Utilitarisme

2.5.1.1 Définition de l'approche

La notion d'utilitarisme en tant que principe d'équité fut popularisée par John Stuart Mill (1863) et constitue l'une des théories de justice les plus influentes de nos jours. Celle-ci repose sur l'idée que la valeur morale d'une action se mesure à la quantité absolue de bénéfice qui en découle. Selon Kymlicka (2002), l'utilitarisme considère le bien-être humain comme la seule chose ayant une valeur intrinsèque, ce pourquoi ce principe s'intéresse uniquement à l'utilité dérivée d'une action pour juger de cette dernière (Kymlicka, 2002). La théorie veut que tous les individus soient égaux, annihilant toute éventuelle différentiation entre ceux-ci sur la base de préférences ou de capacités variables. Une évaluation utilitariste ne s'attardera donc pas au niveau absolu de bénéfice dont jouit

un individu particulier, mais plutôt à la somme agrégée des bénéfices sur l'ensemble de la population, ce qui s'avère incompatible avec une analyse d'équité verticale (2.6.3), laquelle exige une analyse différenciée des retombées dont jouissent les individus (Di Ciommo et Shiftan, 2017). Dans une visée d'évaluation de projets, la variante qui maximisera l'utilité potentielle agrégée pour une population sera celle à prioriser en vertu de la théorie utilitariste (Van Wee et Geurs, 2011).

2.5.1.2 Applications au domaine du transport

La forte diffusion dont jouit le principe utilitariste n'est pas étrangère à la popularité des analyses coûts-bénéfices au sein des outils d'évaluation de projets, cette théorie constituant le fondement de ces analyses d'un point de vue théorique (Pereira et al., 2017). Les analyses coûts-bénéfices visent effectivement à maximiser les bénéfices d'un projet, en cherchant à monétiser l'ensemble des coûts et des retombées pour ensuite distinguer le volume net d'utilité dérivée dudit projet, ce qui renvoie au principe utilitariste (Van Wee et Geurs, 2011). Or, le fait que les bénéfices soient calculés à une échelle agrégée plutôt qu'individuelle ne permet pas d'investiguer la variabilité des retombées entre individus, ce qui attire une première critique à l'égard de ce principe distributif, puisque les besoins et capacités sont variables d'une personne à une autre dans une perspective de mobilité (Thomopoulos et al., 2009). Pereira et al. (2017) se montrent eux aussi critiques à l'égard du caractère agrégé de l'évaluation, qui peut potentiellement contribuer à des écarts croissants entre individus en termes d'utilité, d'autant plus que rien n'interdise une amélioration des conditions des individus les mieux nantis aux dépens de celles des plus vulnérables, en autant que le bilan global soit maximisé. Par ailleurs, les analyses coûts-bénéfices requièrent que toutes les retombées soient monétisées, ce qui pose problème dans le cas de divers impacts difficilement transposables en termes monétaires, notamment lorsqu'il s'agit de retombées socioéconomiques, ce qui attire une seconde critique majeure à l'égard du recours au principe utilitariste dans l'analyse des projets de transport (Di Ciommo et Shiftan, 2017). Ainsi, la littérature sur l'équité en transport et l'exclusion sociale se montre peu encline à recourir à la théorie utilitariste pour définir un cadre d'évaluation de l'équité d'une offre de transport (Martens, 2016; Pereira et al. 2017; Di Ciommo et Shiftan, 2017; Van Wee et Geurs, 2011).

2.5.2 Égalitarisme

2.5.2.1 Définition de l'approche

Les approches égalitaristes de justice distributive s'intéressent à la quantité relative de ressources dont bénéficie un individu (Meyer et Roser, 2009). Ces approches vont s'intéresser aux écarts de richesse entre individus, qu'il importe de réduire voire idéalement de combler (Scanlon, 1998). En vertu de l'égalitarisme, c'est donc le positionnement relatif d'une personne qui importe plus que le niveau absolu de ressources dont elle dispose. Quoique le recours à cette approche s'applique souvent à la distribution de ressources additionnelles, une approche plus sévère, dite « égalitarisme strict », s'attarde plutôt à la redistribution des ressources existantes des mieux nantis vers les segments plus défavorisés (Meyer et Roser, 2009). Un des théoriciens fréquemment associés aux approches égalitaristes est John Rawls, notamment grâce à son recueil *Theory of Justice* (1971). Selon lui, la notion de bien-être est ici incontournable, et c'est ce bien-être qui devrait être réparti de façon égale, et non pas nécessairement les ressources initiales dont ce bien-être est dérivé. Le but poursuivi est de garantir une égalité des chances à tous, cela afin que la condition initiale d'un individu ne contraigne pas ses perspectives futures (Rawls, 1971).

Dans leur analyse de la théorie d'égalitarisme de Rawls, Pereira et al. (2017) de même que Martens (2017) mettent de l'avant le 2e principe de justice de Rawls (principe de différence), qui stipule que les inégalités dans la distribution de ressources sont acceptables seulement dans la mesure où elles favorisent les individus initialement les plus défavorisés et contribuent ce faisant à maximiser le potentiel de ces derniers. C'est de cet énoncé qu'est dérivé le principe de visée prioritaire (*priority view*) de Derek Parfit (1997), qui défend l'idée que plus une personne est défavorisée, plus il est justifié d'un point de vue moral qu'elle perçoive une plus grande part de ressources, cela dans le but de compenser les inégalités (Meyer et Roser, 2009; Parfit, 1997). Cela fait écho, pour reprendre la terminologie employée par Rawls, au principe du *worst-off man*, qui stipule que les ressources devraient être distribuées de manière prioritaire à ceux dont la situation initiale est la plus précaire. De manière générale, la théorie de Rawls permet de justifier des politiques publiques visant à fournir un traitement préférentiel aux segments vulnérables, cela dans le but d'instaurer une meilleure égalité des chances. Une limite à cette approche réside cependant dans l'impossibilité de tenir compte des choix individuels, car les inégalités pouvant résulter de décisions personnelles par lesquelles les individus contribuent d'eux-mêmes à leur statut précaire (Kymlicka, 2002).

L'approche égalitariste concerne surtout les interventions faites au nom de l'État, garant en quelque sorte de la promotion d'une plus grande justice sociale (Pereira et al., 2017). En cherchant à réduire les inégalités, il va de soi que les politiques se penchent sur les conditions variables des individus, dès lors considérés inégaux en capacités, ce qui justifie un traitement différencié et une priorisation des besoins de certains segments de population par rapport à ceux d'autres individus. Une lacune de l'approche égalitariste tient au fait que celle-ci n'est pas en mesure de spécifier ce que constitue une situation inéquitable, cela étant laissé à la discrétion des décideurs (Pereira et al., 2017).

Les concepts d'équité horizontale et verticale sont fortement liés au principe égalitariste. Ceux-ci permettent d'investiguer la distribution d'une ressource au sein d'une population, tant pour évaluer si tous reçoivent une part comparable (équité horizontale) que pour évaluer si la répartition se fait à la faveur des individus les plus vulnérables (équité verticale). Ces deux concepts font l'objet d'un chapitre exclusif au sein de la revue de littérature (voir les sections 2.4.1 et 2.4.2).

2.5.2.2 Application au domaine du transport

La perspective égalitariste trouve un écho favorable au sein de la littérature relative à l'équité d'une offre de transport grâce à des assises théoriques favorables à une mitigation des injustices sociales. En faisant référence à la notion de bien primaire (*« primary good »*) mise de l'avant par John Rawls (1971), divers auteurs en viennent d'ailleurs à identifier l'accessibilité aux opportunités comme un bien primaire, au même titre que la santé, l'éducation ou un revenu de base (Martens, 2016; Pereira et al., 2017; Van Wee et Geurs, 2011). Ces auteurs prétendent qu'un niveau minimal d'accessibilité est indispensable pour bénéficier des diverses opportunités essentielles au bien-être des individus. Cette nécessité est d'ailleurs renforcée par le contexte de dépendance automobile, qui contraint des individus à la motorisation afin d'accéder aux lieux d'activités (Mattioli, 2014). Toujours dans une visée de planification des transports, la théorie égalitariste justifie que l'on s'intéresse dorénavant à l'accessibilité aux opportunités plutôt qu'aux économies de temps de parcours comme mesure d'efficacité d'un système de transport (Lucas et al., 2015; Van Wee et Geurs, 2011).

Plusieurs cas d'application de l'approche égalitariste sont recensés dans la littérature. Lucas et al. (2015) proposent par exemple de recourir à la courbe de Lorenz et à l'indice de Gini pour analyser la distribution de l'accessibilité à diverses opportunités dans le contexte néerlandais, une méthode d'ailleurs utile à la comparaison intermunicipale. Nahmias-Biran et Shiftan (2014) se sont basés sur l'égalitarisme pour analyser la refonte de la structure tarifaire du réseau de transport collectif

de la ville de Haifa (Israël). Grâce à une analyse horizontale (indice de Gini) et verticale (évaluation comparative de segments d'individus), ils ont été en mesure d'établir que les secteurs vulnérables ont profité dans une plus large mesure de diminutions tarifaires que les secteurs plus cossus, ce qui concorde avec une perspective rawlsienne de justice. Dans le contexte australien, les travaux de Delbosc et Currie (2011) ont misé sur l'égalitarisme pour évaluer l'équité de la desserte de transport collectif à Melbourne. Ils ont conclu à une distribution très inégalitaire de cette offre d'un point de vue spatial, qui est cependant compensée par le fait que les segments de population sans voiture et à revenu très faible jouissent en moyenne d'une desserte de qualité supérieure à celle des individus présentant moins de contraintes à la mobilité. Bocarejo et Oviedo (2012) se sont plutôt penchés sur l'impact du coût des déplacements et de la répartition inégale des opportunités sur l'accessibilité résultante. Ils ont évalué les niveaux d'accessibilité et les dépenses à la lumière de la vulnérabilité, cela dans la but d'identifier si le réseau de transport collectif avantageait les personnes à plus faible revenu (ce qui n'était pas le cas). Quant au rapport du *UK Social Exclusion Unit*, ce dernier priorise les politiques visant les modes de transport employés par les segments de population vulnérables, davantage captifs des transports collectifs, car il s'agirait des interventions les plus propices à une réduction des inégalités d'accessibilité aux opportunités. Ce survol des applications, loin d'être exhaustif, témoigne de la diversité des usages pouvant être faits de l'approche égalitariste dans une perspective de planification des transports collectifs.

2.5.3 Sufficientarisme

2.5.3.1 Définition de l'approche

Les approches sufficientaristes de justice distributive s'intéressent au niveau absolu de ressources dont bénéficient les individus (Van Wee et Geurs, 2011). Ces approches misent sur l'atteinte d'un certain niveau de ressources chez tous les individus, une notion fortement tributaire des normes et valeurs d'une société. Ainsi, la distribution d'un bien serait qualifiée d'injuste si elle laisse certains individus en-dessous du seuil jugé essentiel par la collectivité. En ce sens, sa répartition devrait prioriser les individus caractérisés par un niveau de desserte insuffisant (Meyer & Roser, 2009). Le fait de se trouver en situation déficitaire peut avoir des répercussions sur les perspectives d'un individu, ce pourquoi il importe de garantir l'atteinte de ce niveau de suffisance (Sen, 2005).

Il existe deux branches majeures à l'approche sufficientariste, à savoir la variante faible et la forte. Le sufficientarisme « faible » s'intéresse uniquement aux individus dont le niveau de bénéfices est jugé insuffisant, et cherche incidemment à ramener tout le monde au seuil de suffisance, à la suite de quoi aucune règle ne régit la répartition des ressources additionnelles (Meyer et Roser, 2009). Quant au sufficientarisme « fort », il stipule que la priorité absolue doit être accordée aux individus dont le niveau de ressources est situé sous un seuil bien défini, à la suite de quoi les ressources peuvent être distribuées de façon à maximiser l'utilité globale. Cela tient peu importe si les gains supplémentaires bénéficient à des individus déjà favorisés à l'état initial (Meyer et Roser, 2009). Cette approche fait ainsi écho de manière dérivée aux théories utilitaristes de justice (voir 2.3.1), tout en garantissant à tous un niveau minimal de ressources. Bien que la notion de ressource brute soit fréquemment employée, c'est bien plus du bien-être dérivé de ces ressources dont il faudrait chercher à garantir un niveau minimal, tout comme pour l'égalitarisme (Rawls, 1971). Dans cette optique, au-delà de la seule atteinte du seuil minimal par tous, il importe avant toute chose d'aider en priorité les individus les plus vulnérables souffrant d'un niveau de ressources insuffisant (Meyer et Roser, 2009). Cela reflète le principe du *maximin* (Maréchal, 2003; Rawls, 1971), qui consiste à offrir la meilleure situation possible (*maxi*) aux individus dont le bien-être est le plus faible (*min*).

2.5.3.2 Concepts connexes

La théorie sufficientariste fait écho au principe microéconomique d'utilité marginale décroissante, selon lequel le bénéfice dérivé d'une ressource décroît pour chaque unité additionnelle consommée de cette même ressource (Gossen, 1854). Autrement dit, ce sont les premiers gains d'accès aux ressources qui ont l'impact le plus déterminant pour un individu, ce qui est compatible avec l'idée de garantir à tous un niveau minimal de biens et services pourfendu par la théorie sufficientariste.

La notion de seuil de suffisance est incontournable pour quiconque traite du sufficientarisme, étant donné que ce principe s'articule autour de l'identification d'un seuil défini en-dessous duquel une personne est perçue comme désavantagée (Van Wee et Geurs, 2011). Selon Meyer et Roser (2009), la fixation de ce seuil peut d'ailleurs être associée au principe du *maximin* lorsqu'il est question de favoriser certains segments de population vulnérables. Il demeure que la définition de ce seuil est un enjeu majeur, sachant qu'il est impossible de le fixer de manière entièrement neutre et objective (Miller, 2018; Pereira et al., 2017). Il peut en résulter une difficulté à justifier certaines politiques publiques, car le seuil en-dessous duquel une situation est dite problématique relève généralement

d'une décision arbitraire, ce que cherchait pourtant à éviter l'approche sufficientariste via le recours au niveau absolu (et non relatif) de ressources dont dispose un individu (Van Wee et Geurs, 2011). Il n'en demeure pas moins que la fixation d'un seuil constitue une étape incontournable du recours à l'approche sufficientariste dans la pratique. D'ailleurs, diverses propositions ont été élaborées au fil du temps quant à la façon d'appréhender cet inévitable obstacle (Martens, 2016).

Un consensus semble émerger relativement à l'enjeu de la fixation du seuil de suffisance entre les divers auteurs s'étant penchés sur la question. Ainsi, le seuil devrait refléter les valeurs propres à une société et ses idéaux, le tout par l'entremise d'un processus démocratique visant à sonder les besoins des individus (Martens, 2016; Lucas et al., 2015; Pereira et al., 2017). Cela permet de tenir compte de la variabilité des besoins et préférences d'une communauté à une autre, en plus d'éviter les écueils paternalistes qui émergeraient d'une décision en vase clos (Sen, 2005, 2009). Mis à part le choix du seuil, cet exercice permettrait aussi d'identifier le type d'opportunités à considérer pour une société donnée et à prédire l'évolution des aspirations futures (Lucas et al, 2015). Ce processus constitue un idéal, qui est cependant difficilement transposable dans la pratique à grande échelle.

Dans une visée plus opérationnelle, divers chercheurs ont proposé certaines méthodes visant à fixer un seuil de façon moins arbitraire. Meyer et Roser (2009) proposent par exemple de s'inspirer des approches égalitaristes pour établir le seuil de suffisance, ces dernières s'intéressant à la répartition d'une ressource entre les individus. Il serait possible, selon eux, de faire varier le seuil en fonction du positionnement de la moyenne ou de la médiane ; plus l'accessibilité moyenne à un bien est élevée, plus le seuil de suffisance serait lui aussi élevé. C'est une approche prônée également par Martens et Bastiaanssen (2015), qui suggèrent par exemple de fixer le seuil à 40% ou 60% de la médiane relative à l'accessibilité dont jouit une population. Martens (2016) fait quant à lui mention de l'approche statistique de Daniels (2008), qui recourt à la loi Normale pour identifier les individus en situation de déficit (Daniels, Hogan et Hogan, 2008). Bien que ces deux méthodes revêtent un potentiel certain, il reste que la relativité demeure présente, le seuil étant fixé non pas en vertu d'une évaluation objective de ce que constitue un niveau de desserte adéquat, mais plutôt en fonction d'un écart à la moyenne. Cela pourrait d'ailleurs poser problème, notamment dans la mesure où la moyenne est susceptible d'être elle-même inférieure à ce que la société considère être un niveau décent (Miller, 2018). Une façon plus adéquate de procéder consisterait à recourir au principe économique d'utilité marginale pour quantifier la relation entre le niveau d'exposition aux opportunités et le taux de participation des individus, ce qui permettrait d'identifier une valeur

d'accessibilité critique en-dessous de laquelle le niveau de participation diminue brusquement (Martens, 2016). Il existe cependant un manque de connaissances empiriques relativement à cette relation, ce qui ne permet pas pour le moment de considérer cette avenue. À ce jour, l'enjeu de la fixation d'un seuil de suffisance demeure entier dans la littérature en transport (Pereira et al., 2017).

2.5.3.3 Application au domaine du transport

L'approche sufficientariste est maintes fois mentionnée dans la littérature portant sur l'équité de la planification des transports, davantage dans une perspective conceptuelle que pratique cependant en raison de l'enjeu de fixation du seuil minimal, qui semble complexifier l'opérationnalisation de cette théorie. Celle-ci s'articule, en ce qui concerne l'équité, autour du concept de pauvreté d'accès aux systèmes de transport ainsi qu'à l'accessibilité conférée par ceux-ci, en insistant sur l'existence d'un niveau de ressources en-dessous duquel le potentiel de participation sociale d'un individu peut se trouver réduit au point d'engendrer un risque d'exclusion sociale par le transport (Pereira et al., 2017; Lucas et al., 2015; Van Wee et Geurs, 2011). La garantie d'un seuil minimal d'accessibilité aux opportunités s'avère cruciale dans cette perspective, Martens et Bastiaanssen (2015) ayant mis en évidence l'importance relative des premiers gains d'accessibilité sur la participation sociale des individus (voir Figure 2.4). En somme, l'accessibilité potentielle dont dispose une personne doit lui permettre de subvenir à l'ensemble de ses besoins de base (Pereira et al., 2017).

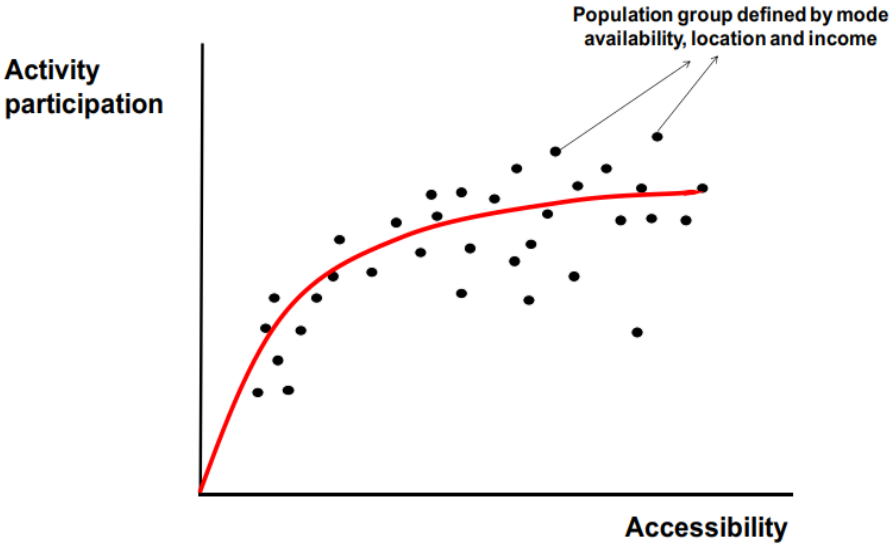


Figure 2.4 - Relation entre l'accessibilité aux opportunités et la participation sociale.

Source : Martens et Bastiaanssen (2015)

Divers cas pratiques d'application de la théorie sufficientariste au diagnostic d'équité d'une offre de transport collectif sont recensés dans la littérature. Martens (2016) met de l'avant une approche sufficientariste faible au sein de sa méthode de diagnostic, ne cherchant qu'à garantir l'atteinte du seuil minimal d'accessibilité par tous, tout en visant de manière prioritaire les populations à risque disposant de revenus moindres et d'un accès plus restreint à l'automobile. Garcia et al. (2018) font usage du sufficientarisme pour identifier des secteurs de Lisbonne témoignant de niveaux inférieurs de mobilité et d'accessibilité, justifiant par la suite des interventions visant à bonifier les conditions des résidents vulnérables. Nazari Adli et al. (2019) ont quant à eux investigué la pauvreté d'accès à l'emploi en transport collectif dans plusieurs régions métropolitaines, en stipulant qu'un individu doit avoir accès à 10% des emplois de l'aire urbaine pour disposer d'une accessibilité suffisante.

2.5.4 Capacitisme

2.5.4.1 Définition de l'approche

Bien que les théories égalitariste et sufficientariste soient adaptées à l'évaluation de l'équité d'une répartition de ressources entre individus, en analysant respectivement si celle-ci se fait à l'avantage des personnes les plus vulnérables ou bien si elle garantit à tous un niveau minimal de ressources, ces approches ne sont pas suffisamment raffinées pour traiter adéquatement de l'équité pour divers auteurs. Selon les réflexions de Pereira el al. (2017), les travaux d'Amartya Sen (1981, 2005, 2009) apportent un éclairage supplémentaire sur les principes de justice distributive, ceux-ci accordant supposément trop d'importance à la ressource (bien primaire) et pas assez à l'utilité induite par l'utilisation de ladite ressource chez l'individu. Autrement dit, une évaluation adéquate d'équité s'intéresserait aux retombées plutôt qu'à la seule distribution brute de biens et services. Sen justifie son approche dite de « capacité » en insistant sur les besoins, capacités et préférences variables des individus, en vertu desquels le fait de considérer tous les individus comme équivalents revêt une aura paternaliste. Dans cette optique, le but de l'approche capacitiste est de s'assurer que tous aient accès à des opportunités qui répondent à leur condition spécifique et que les individus puissent jouir d'une liberté de choix en termes de possibilités (Pereira et al., 2017). Cette liberté de choix résulte de l'intersection entre, d'une part, les potentiels présents dans l'environnement social, économique et politique et, d'autre part, les capacités d'un individu à traduire ces opportunités en utilité concrète (Nussbaum, 2011). À noter qu'en fonction des préférences et besoins variables, une même ressource peut se traduire par une utilité différente chez deux individus.

2.5.4.2 Application au domaine du transport

Pereira et al. (2017) ont mis en perspective les fondements théoriques de l'approche par capacités dans une perspective de planification des transports. Selon eux, divers facteurs relevant autant de l'individu que des systèmes de transport peuvent contribuer à restreindre le potentiel de mobilité. Du côté de l'individu, les auteurs mentionnent la condition physique et mentale, l'expérience avec les systèmes de transport ainsi que les capacités cognitives et financières des personnes. D'un point de vue de l'offre de transport, l'aménagement universel des équipements, la présence et la qualité de l'information aux voyageurs ainsi que la politique tarifaire sont tous des éléments susceptibles d'exclure certains individus. L'environnement social d'une personne peut aussi avoir une incidence sur son utilisation de certains modes de transport, dans la mesure où cet individu peut être jugé ou discriminé dans ses préférences de mobilité.

À titre d'exemple, la présence d'une offre de transport de qualité à proximité du lieu de résidence d'un individu ne lui sera guère utile si cette offre n'est pas abordable, inadaptée aux personnes en chaise roulante ou encore si le réseau ne donne pas accès aux destinations auxquelles désire accéder l'individu concerné (Pereira et al., 2017). Suivant la logique de Sen (1999, 2009), l'important serait de garantir à cet individu un accès à un bassin intéressant d'opportunités en fonction de ses caractéristiques personnelles, traduisant alors une situation équitable. Ce raisonnement trouve un écho favorable dans la notion d'exclusion sociale par le transport (Lucas, 2012), cet état étant le résultat d'un accès limité aux opportunités économiques et sociales, engendrant une participation sociale réduite chez les populations vulnérables.

L'approche capacitiste demeure à ce jour peu employée dans la pratique. Certains auteurs s'y sont toutefois aventurés partiellement au cours des dernières années, notamment dans une perspective de tarification et d'accessibilité universelle. Par exemple, El-Geneidy et al. (2016) ont investigué la variation d'accessibilité aux opportunités engendrée par la tarification du transport collectif dans la région de Montréal. Bocarejo et Oviedo (2012) se sont livrés à un exercice analogue, en tenant compte de la capacité de payer des populations, dont le pouvoir d'achat en termes de mobilité est variable selon la classe sociale. Plus récemment, Grisé et al. (2018) ont étudié la performance de divers réseaux de transport collectif dans une perspective d'accessibilité universelle, en évaluant la proportion de l'offre et des opportunités accessibles par rapport au réseau régulier. Leur étude a

mis en lumière l'écart important dans le contexte montréalais, où les personnes à mobilité réduite disposent d'un bassin d'emplois potentiels bien plus restreint que la population de référence.

L'approche capacitiste suscite un intérêt certain, tant chez les théoriciens que chez les praticiens. Aux États-Unis, une loi contraint les nouvelles infrastructures de transport collectif à intégrer des aménagements universellement accessibles, via le *Americans with Disabilities Act* de 1990 (Grisé et al., 2018). Di Ciommo et Shiftan (2017) prétendent d'ailleurs que l'approche capacitiste favorise les populations défavorisées, dont celles souffrant d'une pauvreté d'accessibilité aux opportunités. En dépit de ses qualités en termes de prise en compte du contexte propre à chaque individu, il reste que l'approche capacitiste est peu utilisée dans la pratique en raison des difficultés relatives à son opérationnalisation. À cet égard, Miller (2018) évoque notamment la variabilité des préférences et besoins, qu'il faudrait dans la pratique hiérarchiser pour pouvoir comparer les individus entre eux et établir une priorisation. Cet obstacle contribue à rendre le concept simple d'accessibilité plutôt complexe et transversal dans la pratique, d'autant plus que le niveau de précision requis pour traiter des particularités de chaque individu nécessiterait un grand volume de données, qui ne sont pas toujours disponibles (Miller, 2018; Pereira et al., 2017). Il reste que l'approche capacitiste constitue un idéal vers lequel tendre, faisant écho aux mesures axées sur l'individu (Geurs et van Wee, 2004).

2.5.5 Approche hybride (égalitarisme et sufficientarisme)

La littérature relative au thème de l'équité en transport recense des méthodes misant sur un usage combiné des approches égalitariste et sufficientariste. Lucas et al. (2015) insistent sur leur aspect complémentaire, qui permet l'obtention d'une perspective élargie sur la question comparativement à un modèle reposant sur une seule des deux approches. Selon ces auteurs, un modèle combinant les deux approches permet une analyse à plusieurs niveaux, plus à même d'illustrer la variabilité des résultats d'un diagnostic d'équité selon la théorie de justice privilégiée par les planificateurs. Garcia et al. (2018) croient qu'une approche hybride peut fournir un cadre d'analyse propice au diagnostic d'un plus grand nombre de problèmes de mobilité et d'accessibilité, dans la mesure où une planification équitable des transports doit parallèlement chercher à garantir à tous des niveaux adéquats d'accessibilité tout en visant une réduction des écarts dans la répartition de l'accessibilité. Dans une perspective plus théorique, Pereira et al. (2017) font mention des travaux de Sen (1981; 2005; 2009) afin de justifier leur appui à un cadre théorique axé à la fois sur l'égalitarisme et le sufficientarisme. Selon eux, bien que la finalité des approches capacitistes soit de garantir un niveau

suffisant d'opportunités selon le contexte de chaque individu, ce qui fait écho au sufficientarisme, il importe de mentionner que Sen reconnaît parallèlement l'importance de réduire les inégalités en termes de capacités des individus, une perspective qui fait davantage écho à l'approche égalitariste.

La vision de l'équité en transport mise de l'avant par Pereira et al. (2017) mise aussi sur un usage combiné des approches égalitariste et sufficientariste au sein d'un seul modèle d'évaluation. Selon eux, le diagnostic d'équité d'un projet de transport doit reposer sur une analyse poussée des effets distributifs engendrés par ce projet, d'une part via l'atteinte de niveaux d'accessibilité minimaux à diverses opportunités, ce qui relève de l'approche sufficientariste, et d'autre part via la capacité du projet à favoriser les groupes d'individus défavorisés et à réduire les inégalités d'opportunités, ce qui fait plutôt écho à l'égalitarisme et au principe de différence de Rawls (1971). Van Wee et Geurs (2011) estiment aussi que le jugement moral d'une offre de transport doit s'attarder à la fois à la distribution relative de l'accessibilité aux opportunités entre individus (égalitarisme) de même qu'au niveau absolu d'accessibilité des individus les plus vulnérables (sufficientarisme).

Nazari Adli et al. (2019) proposent quatre règles complémentaires à la lumière desquelles il serait possible de juger du niveau d'équité d'une offre de transport collectif. La première règle institue le droit d'accéder au réseau de transport collectif comme condition préalable à la participation sociale, faisant écho à la théorie du droit à la ville de Lefebvre (1967) et mettant en perspective l'importance du transport motorisé dans un contexte d'éclatement spatial des activités (Lefebvre, 1967; Nazari Adli et al., 2019). La deuxième règle stipule que tout individu devrait jouir d'un niveau minimal d'accessibilité aux opportunités essentielles du quotidien par l'entremise de l'offre de transport collectif. La troisième règle mise sur l'instauration d'une accessibilité majorée pour les individus à faible revenu, qui ont un accès moindre à la voiture et sont plus dépendants des transports collectifs pour répondre à leurs besoins de mobilité. Finalement, la quatrième règle évoque une priorisation des milieux propices à une bonification de l'offre de transport, qui devrait se faire à l'intention de zones caractérisées par une faible accessibilité et une forte vulnérabilité sociale. Ces quatre règles font appel tour à tour aux approches égalitariste et sufficientariste afin de définir un cadre théorique solide pour diagnostiquer l'équité d'une offre de transport collectif.

2.6 Diagnostiquer l'équité en transport

Outre les exigences relatives à un cadre théorique dûment défini, un diagnostic d'équité doit aussi reposer sur des mesures concrètes visant à chiffrer le phénomène et à évaluer les effets distributifs de divers scénarios. Le principal défi à l'intégration des considérations éthiques dans les outils de planification des transports réside précisément dans la transposition des réflexions qualitatives en modèles quantitatifs acceptables pour les praticiens et compatibles avec les outils existants (Lucas et al., 2015; Di Ciommo et Shiftan, 2017). Ce chapitre porte sur l'opérationnalisation du concept d'équité et présente les différentes approches existantes à cet effet dans la littérature, mettant en perspective les potentialités et limitations de chacune d'elles. Selon Litman (2017), il n'existe pas de méthode unique capable à elle seule de produire un diagnostic complet d'équité en transport, l'auteur misant plutôt sur une combinaison d'approches pour effectuer une évaluation. Par ailleurs, il faut différencier la ressource, dont on vise une distribution équitable, des bénéfices qu'en retirent les individus, une distinction que les méthodes actuelles ne parviennent pas à traduire adéquatement pour le moment. Il importe également de distinguer les différentes catégories de mesures, soit celles relatives à l'équité horizontale et à l'équité verticale (Litman, 2017).

2.6.1 Distinguer la ressource du bénéfice

Dans la réflexion portant sur l'équité d'une offre de transport, il importe d'établir une distinction entre, d'une part, la ressource, soit la fourniture de service et l'accessibilité dérivée de sa présence et, d'autre part, le bénéfice pour l'usager, qui fait écho à l'utilisation effective de cette offre et à la participation sociale qui en découle. Litman (2017) traite de cela en termes d'équité d'opportunités et d'équité des retombées et fait mention d'un consensus au sein de la littérature quant au rôle décisif de la planification des transports dans l'établissement d'une équité d'opportunités pour tous. L'apport relatif à l'équité des retombées en termes de participation sociale demeure cependant plus ambigu, puisque cela n'est plus seulement tributaire d'une planification adéquate des transports, mais aussi d'une combinaison de facteurs susceptibles d'influencer le comportement des individus (Pereira et al., 2017).

Conscients des répercussions de la liberté de choix individuelle sur les décisions relatives au choix du lieu de résidence, du mode de transport et des activités auxquelles les individus désirent prendre part, divers auteurs sont d'avis que l'exclusion sociale ou un déficit d'accessibilité peuvent être la

conséquence de choix personnels et non uniquement d'une planification déficiente (Delbosc et Currie, 2011; Loader et Stanley, 2009; Lucas, 2012; Van Wee et Geurs, 2011). D'ailleurs, la présence d'une opportunité ne signifie pas qu'elle soit adaptée aux besoins et aux capacités de l'individu, ou encore qu'elle réponde à ses désirs et aspirations du moment (Lucas et al., 2015). En ce sens, le mieux qu'une agence de planification stratégique puisse faire serait de viser à garantir à tous une accessibilité suffisante à une gamme variée d'opportunités, sans s'attarder précisément à ce qu'en font par la suite les individus (Van Wee et Geurs, 2011). De manière résumée, la provision d'une accessibilité minimale constitue une condition essentielle à l'établissement des conditions propices à la participation sociale d'un individu (Martens et Bastiaanssen, 2015), bien qu'il ne s'agisse pas de l'unique levier susceptible de favoriser une équité d'opportunités pour tous (Pereira et al. 2017).

2.6.2 Équité horizontale

2.6.2.1 Définition et implications

La notion d'équité horizontale considère tous les individus comme égaux, justifiant un traitement équivalent dans un contexte de répartition des ressources (Di Ciommo et Shiftan, 2017). Selon une autre source (Litman, 2017), l'équité horizontale s'intéresserait à la distribution des impacts entre des individus ou des groupes considérés égaux en termes de capacités et de besoins.

Cette notion trouve un écho favorable dans le principe utilitariste de justice distributive et surtout dans les analyses coûts-bénéfices qui en découlent, puisque celles-ci considèrent tout individu égal aux autres concitoyens, sans distinction relative aux caractéristiques de ces personnes (voir 2.3.1). Selon Litman (2017), un autre principe pouvant être accolé à une vision horizontale de l'équité est celui d'utilisateur-payeur, en vertu duquel une personne devrait recevoir une quantité de bénéfices proportionnelle au montant de sa contribution. Dans une perspective de transport, l'équité spatiale, qui s'intéresse à la distribution géographique d'une ressource, relève de l'équité horizontale dans la mesure où chaque secteur dispose à prime abord d'une valeur équivalente, indépendamment des caractéristiques variables d'une zone à l'autre (Delmelle et Casas, 2012; Kaplan, Popoks, Prato et Ceder, 2014).

2.6.2.2 Métriques associées

La courbe de Lorenz, un outil issu du domaine de l'économie, consiste en une représentation de la distribution cumulée d'un bien en fonction de la proportion de population (Lorenz, 1905). Plus un bien est réparti de manière égale entre tous les individus, plus la courbe sera linéaire; à l'inverse, plus la répartition de la ressource est inégale, plus la courbe sera déformée vers le bas. En ce sens, la courbe de Lorenz permet de visualiser le niveau d'égalité d'une distribution (Delbosc et Currie, 2011). L'indice de Gini peut ensuite être dérivé de la courbe de Lorenz, en cela qu'il représente le ratio entre, d'une part, la surface comprise entre la courbe de Lorenz et la droite associée à une distribution parfaitement égale (à 45°, voir la Figure 2.5) et, d'autre part, la superficie du triangle défini par l'axe des « x », l'axe des « y » et la même droite perpendiculaire (Van Wee et Geurs, 2011). Plus l'indice de Gini est bas, plus la ressource est également répartie au sein de la population concernée; au contraire, plus cet indice revêt une grande valeur, plus la répartition tend à favoriser une proportion restreinte d'individus. Ces outils, qui traitent non pas d'équité, mais plutôt d'égalité, sont associés à une approche horizontale de l'équité. Ils sont fréquemment employés en transport pour évaluer la distribution de l'accessibilité aux opportunités au sein d'une population dans une perspective d'équité (Delbosc et Currie, 2011; Lucas et al. 2015; Nahmias-Biran et Shiftan, 2014). Or, le recours à l'indice de Gini découle d'une vision horizontale de l'équité, supposant que tous les membres de la société sont égaux, ce qui s'avère contraire à la vision véhiculée par ces articles, qui reconnaissent les besoins plus grands des populations défavorisées. Il en résulte un paradoxe dans la mesure où ces méthodes visent généralement à vérifier si les populations défavorisées jouissent de meilleurs niveaux d'accessibilité, bien que la méthode employée ne permette pas de différencier les besoins variables entre individus (considérés comme égaux par les outils).

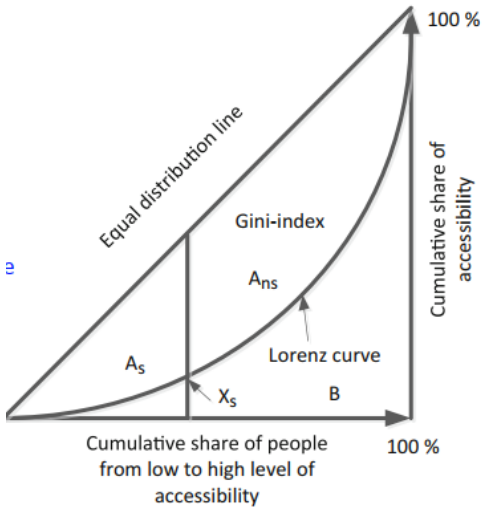


Figure 2.5 - Courbe de Lorenz et indice de Gini.

Source : Lucas et al. (2015)

Une autre métrique relative à l'équité horizontale réside dans l'indice d'entropie de Theil (Litman, 2017; Van Wee et Geurs, 2011). À l'inverse de l'indice de Gini, cette mesure reconnaît la présence de différences entre les individus, non pas dans une optique de hiérarchisation, ce qui relèverait de l'équité verticale, mais plutôt pour étudier en quoi divers sous-groupes de population contribuent à l'explication des inégalités d'une répartition des ressources (Mussard et Terraza, 2009). Divers facteurs tels que le genre d'un individu, son âge, son lieu de domicile ou sa profession peuvent être employées pour engendrer les sous-groupes de population. L'indice de Theil s'avère pertinent pour évaluer l'impact de scénarios variés, puisqu'il permet de prédire comment les sous-groupes seront affectés et si une politique contribue à réduire ou à augmenter les écarts entre ces derniers. Bien que conceptuellement valide, l'approche ne semble jamais avoir été employée pour diagnostiquer le niveau d'équité d'une offre de transport collectif.

2.6.3 Équité verticale

2.6.3.1 Définition et implications

À l'inverse de l'approche d'équité horizontale, celle d'équité verticale ne considère pas d'emblée tous les individus comme égaux. Cette approche estime plutôt que certains individus sont d'emblée désavantagés par rapport à d'autres et que cette situation se traduit par des besoins plus grands chez

les populations socialement à risque (Di Ciommo et Shiftan, 2017). Dans une perspective de planification des transports, Litman (2017) reconnaît à cet égard deux types d'équité verticale, soit l'équité relative au revenu et l'équité relative aux habiletés motrices. Le premier type, en lien avec les capacités financières d'un individu, s'intéresse à la distribution des ressources en transport dans une optique de compensation des inégalités sociales. En ce sens, une politique de transport progressive devrait favoriser les groupes d'individus socialement et économiquement défavorisés, cela dans le but de leur offrir des opportunités leur permettant d'améliorer leur condition. Quant au deuxième type d'équité verticale énoncé par Litman (2017), il s'intéresse plutôt à la capacité d'un individu à faire usage d'une offre de mobilité. Dans cette optique, une politique de transport dite équitable viserait à bonifier les aménagements en lien avec l'accessibilité universelle de sorte que les personnes en situation de handicap ne soient pas désavantagées par rapport aux autres individus.

D'autres définitions d'équité verticale existent également. Pour Krumholz (1982), une répartition équitable de ressources viserait à bonifier en priorité l'éventail d'options de ceux qui en ont le moins (Krumholz, 1982). Cela rejoint la notion de pauvreté d'accessibilité véhiculée par Jones et Lucas (2012), qui est un vecteur notable d'exclusion sociale par le transport. En ce sens, l'approche verticale de l'équité se veut cohérente avec un cadre théorique de justice en transport visant à réduire le risque d'exclusion sociale résultant d'une accessibilité déficiente aux opportunités chez des populations socialement à risque (voir section 1 : Introduction). Di Ciommo et Shiftan (2017), qui associent le terme d'équité « sociale » à l'équité verticale, croient que l'intégration des considérations éthiques au sein de la planification des transports passe par un changement de paradigme, l'accent devant être mis sur les besoins des individus plutôt que sur les comportements de mobilité. Aux États-Unis, la *Federal Transit Administration* (FTA) exige à cet effet que toute aire urbaine comptant plus de 200 000 habitants procède à une analyse d'équité dont le but est de déterminer si une modification du service impose une contrainte démesurée aux populations à faible revenu ou aux populations issues d'une minorité ethnique (Karner, 2018).

2.6.3.2 Métriques associées

Une méthode fréquemment employée dans la littérature pour évaluer l'équité verticale consiste à segmenter une population en divers sous-groupes en vertu de critères discriminants, puis à évaluer la répartition des ressources entre ces segments de population. Cette technique permet de vérifier rapidement si la distribution avantage les groupes les plus vulnérables, une situation qui serait dite

progressive puisqu'elle vise à compenser les inégalités générales de la société. La finalité de cette approche est donc cohérente avec l'approche égalitariste de justice distributive, selon laquelle une répartition de ressources doit viser une diminution des écarts tout en aidant de manière prioritaire les individus les plus vulnérables, faisant écho aux principes de différence (Rawls, 1971) et de visée prioritaire (Parfit, 1997). Parmi les méthodes de diagnostic de l'équité en transport, la plus répandue consiste à schématiser les divers segments de population sur un diagramme à bandes, ce qui permet d'évaluer de manière visuelle comment la répartition d'un bien avantage (ou non) les populations cibles. Dans un autre ordre d'idées, la corrélation de Spearman (Hauke et Kossowski, 2011), une mesure statistique de dépendance entre des variables, constitue également une métrique d'équité verticale. De manière synthétique, cet indicateur évalue si la valeur de la variable dépendante respecte un rang de priorité relatif à la variable indépendante. Dans une optique d'équité verticale, la corrélation de Spearman permettrait donc d'observer si les populations les plus défavorisées sont les plus avantagées par la répartition de ressources, dans la mesure où plus un individu est vulnérable, plus il mérite un rang prioritaire quant au partage des ressources. Une relation parfaitement équitable résulterait en un indice de Spearman d'une valeur de 1 point. En dépit de la pertinence de cet indicateur, il demeure pratiquement inutilisé dans la littérature.

2.6.4 Méthodes appliquées de diagnostic d'équité

La littérature portant sur l'équité en transport fait état d'approches variées pour traduire l'enjeu du partage équitable de l'accessibilité au sein d'outils adaptés à la planification. L'opérationnalisation des principes distributifs de justice ainsi que la prise en compte des besoins et capacités variables des individus constituent à cet égard les principaux défis associés à la définition d'un modèle (Di Ciommo et Shiftan, 2017). Trois familles de méthodes de diagnostic de l'équité en transport seront détaillées dans cette section, à savoir le décalage spatial (*spatial mismatch*), l'analyse d'adéquation de l'offre aux besoins (*needs-gap analysis*) ainsi que le diagnostic d'accessibilité différenciée aux opportunités. Elles relèvent toutes d'une définition verticale de l'équité, stipulant que les capacités et besoins varient au sein d'une population, justifiant des traitements préférentiels (Litman, 2017).

2.6.4.1 Décalage spatial (*spatial mismatch*)

La littérature sur le décalage spatial, essentiellement américaine, s'intéresse à la distance séparant les secteurs d'habitation des zones d'emplois dans le contexte précis de délocalisation de l'activité

économique vers les périphéries des régions métropolitaines (Litman, 2017). Cette approche s'est penchée principalement sur la défavorisation socioéconomique des Afro-Américains en lien avec leur concentration dans les villes-centre en perte de vitesse et leur éloignement des lieux d'emplois situés dans les banlieues, ce décalage spatial nuisant à l'amélioration des perspectives économiques de ce groupe (Grengs, 2010).

Reposant à la base sur l'unique séparation physique, divers auteurs se sont montrés critiques quant à l'approche du décalage spatial, qui devrait selon eux reposer sur l'accessibilité aux emplois par l'entremise du transport collectif (Fan, Guthrie et Vardhan Das, 2016; Grengs, 2010). Dans cette perspective, diverses solutions furent mises de l'avant, telle que la bonification de l'offre de transport en commun vers les banlieues et l'instauration de navettes opérées par l'employeur ou de réseaux de covoiturage, cela dans le but de favoriser l'accès à ces emplois chez les résidents défavorisés des quartiers centraux (Blumenberg et Ong, 1998). Or, selon Garrett et Taylor (1999), ces interventions n'auraient démontré qu'une efficacité limitée, peu d'individus étant prompts à effectuer de longs trajets en transport collectif vers la périphérie, surtout lorsqu'il s'agit d'emplois faiblement rémunérés ne justifiant pas un si long trajet.

Dans le cas de régions urbaines très peu denses au sein desquelles l'offre de transport collectif n'est pas compétitive et la voiture constitue la norme de mobilité, certains auteurs préfèrent d'ailleurs le concept de décalage « modal » à celui de décalage « spatial », misant plutôt sur une accessibilité bonifiée à l'automobile chez les populations défavorisées (Grengs, 2010; Blumenberg et Manville, 2004). Dans un contexte de forte dépendance automobile, les conséquences associées au fait de ne pas posséder de voiture sont si frappantes, notamment en matière d'accessibilité à l'emploi, qu'il s'agit généralement du premier achat majeur fait par les ménages lorsqu'ils en ont les moyens (Pucher et Renne, 2003). Dans ces circonstances, des chercheurs vont jusqu'à suggérer que les autorités financent l'acquisition de voitures par les ménages à faible revenu (Grengs, 2010). Or, cela ne constitue pas, sauf exceptions, une solution souhaitable à grande échelle et ce, pour diverses raisons. Blumenberg et Manville (2004) mentionnent à cet égard une détérioration de la qualité de l'air, une croissance des besoins en carburant, un renforcement de la congestion routière, mais, surtout, l'apparition d'un fardeau lié aux coûts élevés d'opération d'une voiture chez les ménages à faible revenu, engendrant un stress supplémentaire pour ces individus, une conséquence dont fait aussi mention Roberto (2008).

2.6.4.2 Adéquation de l'offre aux besoins (*needs-gap analysis*)

Diverses méthodes de diagnostic de l'équité d'une offre de transport collectif recensées au sein de la littérature reposent sur une évaluation de l'adéquation de cette offre aux besoins des populations socialement défavorisées. Cette approche repose sur la comparaison de deux indicateurs distincts. Le premier traite du niveau de vulnérabilité sociale d'une zone, sensé justifier une desserte accrue de transport collectif découlant de la plus grande captivité des populations à faible revenu à l'égard de ce service. Le deuxième indicateur témoigne quant à lui de l'intensité de l'offre de transport collectif dans cette même zone. La comparaison des deux mesures permet ensuite de localiser des zones à la vulnérabilité sociale prononcée dont le niveau de desserte est relativement faible, une situation perçue comme problématique par cette approche (d'où le nom anglais d'origine de « *needs-gap* »), ou encore des zones à faible vulnérabilité jouissant d'une desserte abondante, chez lesquelles il serait justifiable de réduire le service pour le réorienter vers les zones à risque souffrant d'un niveau insuffisant de fourniture de service (Fransen et al., 2015).

Le diagnostic d'adéquation s'effectue toujours au niveau d'une zone, fournissant alors un portrait agrégé de la situation, basé sur les niveaux moyens de défavorisation et de qualité de la desserte de transport collectif. L'indicateur relatif à la vulnérabilité sociale est généralement dérivé de données issues de recensements nationaux et tient compte de facteurs tels que le taux de motorisation, l'âge, le niveau de revenu et le taux de chômage (Fransen et al., 2015; Currie, 2010). L'indicateur relatif à la qualité de l'offre de transport est quant à lui dérivé de diverses mesures, telles que le nombre d'arrêts, le nombre de lignes et la fréquence moyenne de passage (Jiao et Dillivan, 2013). À noter que cet indicateur repose la plupart du temps sur l'intensité de l'offre de transport collectif (Currie, 2010; Currie et al., 2009; Jiao et Dillivan, 2013) plutôt que sur l'accessibilité territoriale aux opportunités découlant de cette desserte (Fransen et al., 2015). De manière synthétique, le but de l'approche d'adéquation de l'offre à la demande est d'identifier des secteurs socialement à risque propices à l'apparition du phénomène de pauvreté d'accessibilité, ce qui peut se répercuter par un risque accru d'exclusion sociale par le transport chez certains individus (Chapitre 1 - Introduction).

2.6.4.3 Analyse différenciée de l'accessibilité

Le concept d'accessibilité spatiale aux opportunités constitue une approche pertinente pour établir le diagnostic d'équité d'une offre de transport (Karner, 2018; Martens, 2016), d'une part en raison de sa capacité à tenir compte des effets distributifs entre des individus aux conditions diverses (Van

Wee et Geurs. 2011) et, d'autre part, parce qu'il représente en quelque sorte la finalité d'un système de transport, qui est de favoriser la participation sociale des individus via un accès facilité aux lieux d'activité disséminés à travers le territoire (Miller, 2018; Di Ciommo et Shiftan, 2017). Dans cette optique, plusieurs auteurs semblent privilégier l'évaluation des niveaux d'accessibilité de groupes de population aux caractéristiques variables afin d'établir un diagnostic d'équité en transport dans une perspective d'équité verticale. L'objectif consiste alors à identifier si l'accessibilité induite par les réseaux de transport et la distribution spatiale des opportunités tendent à favoriser les individus les plus vulnérables en matière de mobilité (El-Geneidy et al., 2016).

Pour diagnostiquer l'équité de l'offre de transport collectif de Melbourne, Delbosc et Currie (2011) ont comparé l'intensité de la desserte entre divers groupes de population, segmentés selon le niveau de revenu, l'âge et la possession d'un véhicule, faisant usage d'un diagramme à bandes permettant une évaluation rapide de la situation. Karner (2018) a comparé les niveaux d'accès à l'emploi des résidents de Phoenix selon le revenu, tout en effectuant une distinction des emplois selon le salaire, ce qui permet d'éviter de surestimer le nombre d'emplois accessibles aux individus peu qualifiés. Outre le revenu, l'âge et la possession d'un véhicule, divers facteurs fréquemment considérés pour segmenter la population sont le genre, l'ethnicité et la condition physique de l'individu (El-Geneidy et Cerdà, 2010). Bien que l'évaluation comparative de l'accessibilité soit généralement employée pour diagnostiquer l'offre actuelle de transport collectif, cette approche s'avère également valable pour estimer la répartition des bénéfices de scénarios divers (nouvelle offre de transport, reconfiguration du réseau, etc.) entre les groupes d'individus (Deboosere, El-Geneidy et Levinson, 2018; Foth, Manaugh et El-Geneidy, 2013).

L'accessibilité différenciée aux opportunités peut aussi être évaluée à la lumière d'un seul facteur discriminant, la littérature faisant état de divers cas pertinents. En ce sens, plusieurs études reposent uniquement sur l'aspect financier de l'accessibilité en transport collectif. El-Geneidy et al. (2016) se sont intéressés à la variation relative du nombre d'emplois accessibles selon que la composante tarifaire soit considérée ou non. Ils ont observé une réduction moindre chez les personnes à faible revenu par rapport au reste de la population, ce qui fait état d'une situation relativement équitable. Di Ciommo et Shiftan (2017) mentionnent également l'existence de mesures d'accessibilité faisant écho à la proportion du revenu allouée à la mobilité en fonction du niveau de revenu des individus. Mis à part les considérations financières, un autre élément ayant attiré l'attention des chercheurs réside dans la variation de l'accessibilité entre les individus motorisés et ceux sans voiture, un type

d'analyse qui trouve sa justification dans le contexte de dépendance automobile. En ce sens, Golub et Martens (2014) ont défini un ratio d'accès à l'emploi, qui découle du quotient de l'accessibilité en transport collectif sur l'accessibilité en voiture (Golub et Martens, 2014). Les chercheurs ont jugé que ce ratio doit s'élever à 0.33, soit un emploi accessible en transport collectif pour trois en voiture, un seuil sous lequel il est question de pauvreté d'accessibilité.

La littérature sur l'équité en transport abonde de méthodes reposant sur l'utilisation d'une mesure précise d'accessibilité, telle que le nombre d'emplois disponible dans un temps donné, mais peu se sont penchés sur l'ébauche d'un diagnostic approfondi de l'équité. Une approche s'avère cependant digne de mention en matière d'accessibilité différenciée aux opportunités. Ainsi, Martens (2016) a défini une séquence d'étapes devant faciliter l'identification de secteurs affectés par un déficit d'accessibilité en transport. Il propose ainsi de définir dans un premier temps les facteurs en vertu desquels certains individus seront considérés défavorisés, à la suite de quoi une agrégation au niveau du secteur de recensement permet d'identifier quelles zones contiennent les proportions les plus grandes d'individus vulnérables. Il s'agit ensuite d'établir une hiérarchie des zones selon leur niveau de défavorisation, puis de comparer le niveau d'accessibilité de ces zones en analysant si les secteurs prioritaires bénéficient d'une meilleure accessibilité que la moyenne, ce qui rejoint le principe d'équité verticale (Litman, 2017). Cela permet de faciliter l'identification des groupes de population à risque de pauvreté d'accessibilité en transport collectif dans l'optique de prévenir le phénomène d'exclusion sociale.

2.6.4.4 Vers une approche désagrégée de diagnostic d'équité

Il ne semble pas exister à ce jour d'approche désagrégée qui permette de diagnostiquer de manière combinée l'accessibilité à différentes échelles pour chaque individu. Il existe certes des méthodes qui tiennent compte simultanément de l'accessibilité à pied, en transport collectif et de la qualité d'une desserte, notamment le *Land Use and Public Transit Accessibility Index* (LUPTAI) (Pitot, Yigitcanlar, Sipe et Evans, 2006) et le *Public Transit and Walking Accessibility Index* (PTWAI) (Mavoa, Witten, McCreanor et O'Sullivan, 2012). Cependant, ces dernières n'ont pas été mises en relation avec des théories de justice distributive en vue de développer une approche intégrée pour diagnostiquer l'équité d'une offre de transport collectif. C'est à cette lacune que cherche à répondre l'approche développée dans ce mémoire.

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE

Ce chapitre se décompose en plusieurs sections. La méthode générale est tout d'abord présentée dans ses grandes lignes. S'ensuit alors une description des ensembles de données employés et des manipulations nécessaires afin d'obtenir des mesures d'accessibilité. Par après, deux approches de diagnostic d'équité sont proposées pour valoriser ces mesures à la lumière de principes de justice. L'approche égalitariste sera présentée dans un premier temps, suivi d'une approche sufficientariste.

3.1 Méthode générale

La problématique de l'équité en transport s'avère relativement complexe, mettant en relation divers enjeux à plusieurs échelles distinctes et pouvant être abordée à la lumière de principes distributifs aux fondements variables, parfois en contradiction, comme en fait foi la revue littéraire. Ce faisant, il serait prétentieux de penser pouvoir traiter l'ensemble des facettes relatives à l'équité du transport au sein d'un seul mémoire. C'est pourquoi la présente recherche s'intéresse tout particulièrement à la distribution de l'accessibilité potentielle aux opportunités entre les individus d'une population dont les besoins et capacités sont variables. La contribution d'un déficit d'accessibilité à l'exclusion sociale chez les populations défavorisées étant dorénavant globalement reconnue (*Social Exclusion Unit*, 2003; Van Wee et Geurs, 2011; Martens, 2016; Jones et Lucas, 2012), le but principal de la méthode proposée consiste à permettre l'identification de zones combinant une forte concentration d'individus vulnérables en matière de mobilité et un niveau d'accessibilité insuffisant, susceptible d'accroître le potentiel d'exclusion sociale dans ces secteurs. Dans une moindre mesure, la méthode permet aussi de vérifier si l'accessibilité produite par les réseaux de transport collectif avantage les segments de population vulnérables, dans une logique d'équité compensatoire associée à la logique égalitariste de justice (Rawls, 1971).

La méthode globale peut être scindée en trois volets distincts. Le premier concerne spécifiquement la mesure de l'accessibilité, qui constitue le principal bénéfice associé aux réseaux de transport de même que leur composante « sociale » (Martens, 2017; Di Ciommo et Shiftan, 2017). Une variété de chercheurs mise ainsi sur le concept d'accessibilité pour traiter de la question de l'équité d'une offre de transport, notamment parce ce concept fournit une perspective quant aux effets distributifs variables parmi une population (Van Wee et Geurs, 2011; Nazari Adli et al., 2019; Karner, 2018). Ce premier volet est lui-même scindé en deux parties, la première s'intéressant à l'accessibilité aux

opportunités réparties au sein du territoire via les réseaux de transport actif et collectif, tandis que la deuxième partie se penche plutôt sur le niveau d'exposition à l'offre de transport collectif, relatif à la qualité de la desserte. Cette distinction fait écho aux propos de Murray et Wu (2002), selon qui l'accessibilité d'une offre de transport collectif est tributaire, d'une part, du niveau d'accès local à cette offre à partir du lieu de résidence et, d'autre part, de la couverture géographique générée par cette offre de transport. Selon Scheurer et al. (2007), il importe donc de considérer ces deux aspects complémentaires dans les exercices de planification du transport collectif. Même parmi les mesures d'accessibilité spatiale, une distinction est faite entre les opportunités locales, accessibles à distance de marche par une majorité d'individus, et les opportunités régionales, lesquelles sont généralement accessibles par l'entremise d'un mode de transport motorisé. Cette distinction revêt une importance notable dans une perspective d'équité sociale, car la présence d'une gamme d'opportunités locales réduit la nécessité de recourir à un mode motorisé pour se déplacer, exerçant conséquemment une pression moindre sur les individus vulnérables en matière de mobilité (Van Wee et Geurs, 2011). Cela se reflète dans une participation sociale accrue chez ces segments de populations, comme en témoignent diverses recherches (Cornut et Madre, 2017; Lucas et al., 2018; Currie et al., 2009).

Bien que l'accessibilité constitue l'objet principal d'un diagnostic d'équité d'une offre de transport et qu'elle puisse même selon certains être synonyme de cette équité (Martens, 2017), sa mesure ne renseigne pas sur la répartition de cette ressource entre les membres d'une société. Dans cet ordre d'idées, la véritable évaluation de l'équité débute après l'établissement des mesures d'accessibilité. Le deuxième volet de la méthodologie concerne ainsi le diagnostic d'équité d'une offre de transport dans son état actuel, en reposant naturellement sur les mesures produites au sein du premier volet. Une perspective double visant à fournir une compréhension élargie de l'équité est retenue dans le cadre du présent mémoire. La première s'inscrit dans une approche égalitariste et traite de l'équité de façon relative, en cherchant à savoir si une situation avantage les individus les plus vulnérables. La deuxième perspective s'inscrit plutôt dans une approche sufficientariste, s'intéressant au niveau absolu de ressources dont disposent les individus, cherchant à savoir si des individus souffrent d'un accès jugé insuffisant à certaines opportunités. La décision de jumeler ces deux principes de justice distributive reflète une position de plus en plus répandue dans la littérature sur l'équité en transport, qui combine les théories égalitariste et sufficientariste (Pereira et al., 2017; voir section 2.3.5).

Les deux approches de diagnostic sont d'ailleurs toutes deux scindées en deux types d'analyse. Du côté de l'égalitarisme, une première approche s'intéresse aux niveaux moyens d'accessibilité dont

jouissent les individus en fonction de leur niveau de vulnérabilité en transport, tandis qu'une autre approche recourt à des typologies d'accessibilité spatiale pour identifier des zones d'intervention prioritaires. En ce qui concerne le sufficientarisme, la première approche s'intéresse à la déficience d'accès à un type précis d'opportunité et ce, tant au niveau de l'accessibilité locale, régionale que de l'offre de transport collectif, alors que la deuxième approche propose plutôt un pointage global de pauvreté d'accès. Dans une perspective propre à l'exclusion sociale par le transport, un déficit d'accessibilité est surtout problématique chez les individus vulnérables en transport. Il importe alors d'identifier les secteurs souffrant d'une accessibilité déficiente tout en concentrant beaucoup d'individus vulnérables, ce qui renvoie au principe rawlsien du *maximin* (Rawls, 1971) et suggère une hybridation des approches égalitariste et sufficientariste.

La méthode pourrait éventuellement intégrer un troisième volet, qui ne sera cependant pas couvert dans le cadre du présent mémoire. Ce volet concernerait les retombées variables de divers scénarios en termes d'accessibilité, évaluées à la lumière des quatre types d'analyse mis de l'avant lors de la phase du diagnostic des conditions d'accessibilité actuelles. Il serait alors possible d'observer si les gains d'accessibilité profitent principalement aux individus vulnérables d'un point de vue de la mobilité, ou encore dans quelle mesure une intervention facilite l'atteinte des seuils d'accès chez certains individus souffrant initialement d'un déficit d'accessibilité. Pour être targuée d'équitable, une intervention devrait profiter principalement aux individus défavorisés dont les niveaux d'accès aux opportunités sont jugés insuffisants en fonction des seuils reconnus par la collectivité (Martens, 2016). L'évaluation de scénarios pourrait couvrir des horizons très variés, plusieurs facteurs ayant une incidence sur la production de l'accessibilité, qui est le produit, faut-il le rappeler, d'attributs liés à l'individu, aux réseaux de transport de même qu'à l'organisation spatiale du territoire (Sioui, 2014). En ce sens, il serait pertinent de s'intéresser à des scénarios de modification d'une offre de transport, de modification des usages urbains ou encore d'une intégration de la tarification sociale du transport collectif, ou encore à tout autre scénario susceptible d'influencer l'accessibilité vécue.

La méthodologie, présentée de manière synthétique dans les paragraphes précédents, sera détaillée dans les prochaines sections. Elle peut apporter une réponse pertinente bien que non exhaustive à la problématique telle que formulée précédemment. La Figure 3.1 résume de manière schématique les grandes lignes de la méthodologie proposée.

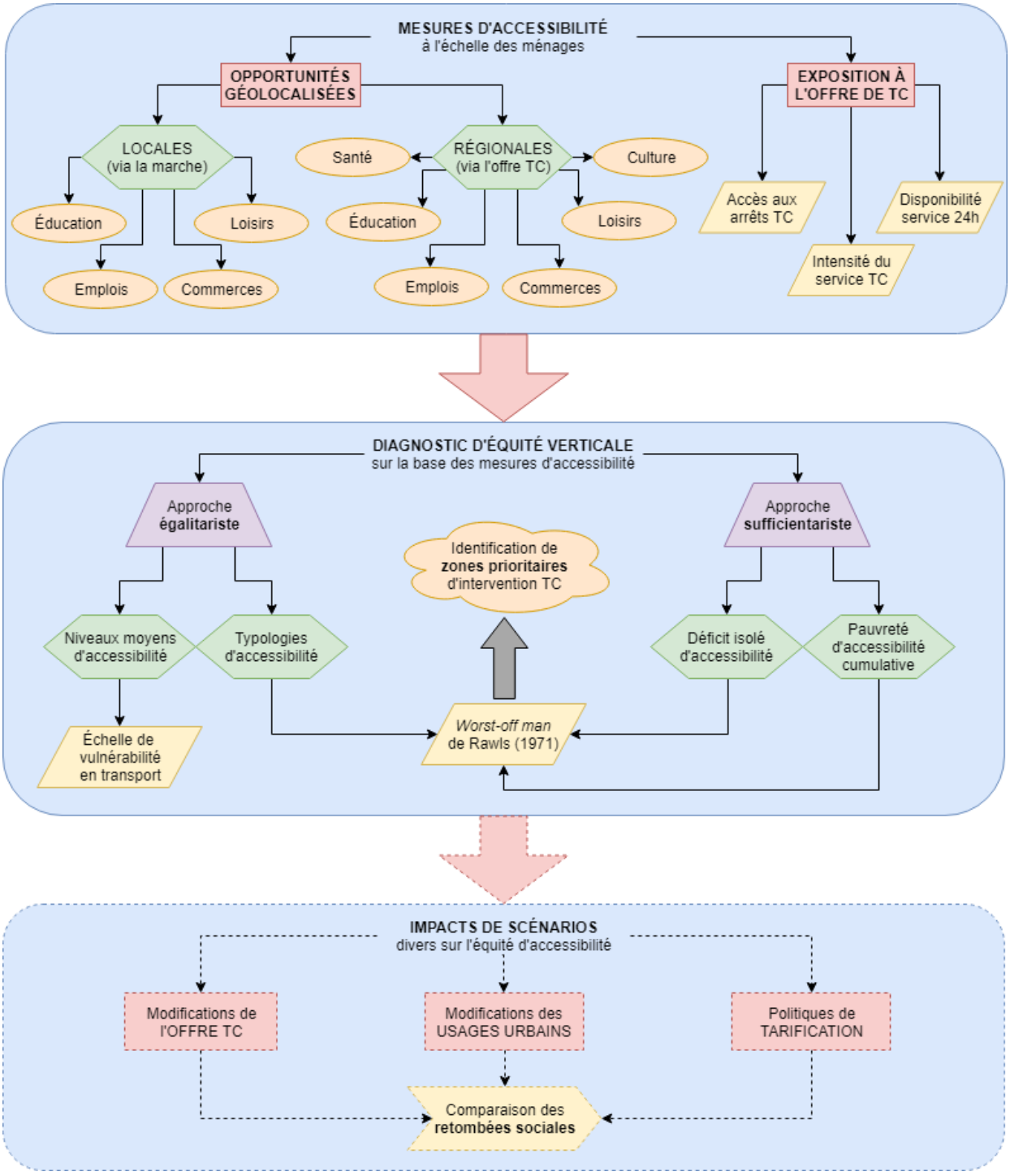


Figure 3.1 - Schéma synthétique de la méthodologie.

3.2 Région d'analyse

L'approche de diagnostic doit pouvoir s'appliquer à divers contextes urbains. Cependant, à des fins de démonstration, une région d'analyse a été sélectionnée pour le développement de la méthode. Il s'agit du territoire de l'Agglomération de Montréal (Figure 3.2), qui constitue une des cinq régions de la Communauté métropolitaine de Montréal (CMM) et en constitue la zone la plus peuplée. La région englobe la Ville de Montréal ainsi que 14 villes liées et s'étend sur une superficie terrestre de 498,1 km^2. Tout près de deux millions de personnes résidaient sur ce territoire en date de 2017, soit environ la moitié de la population de l'aire métropolitaine (CMM, 2019). L'agglomération est parcourue par divers axes structurants de transport collectif à haute fréquence, lesquels prennent la forme d'un métro constitué de quatre lignes totalisant 71 kilomètres (en date de 2019). S'ajouteront à cela, dans les prochaines années, le *Réseau express métropolitain* (REM), le *Système rapide par bus Pie-IX* ainsi que le prolongement de la ligne bleue du métro vers l'est du territoire d'étude.

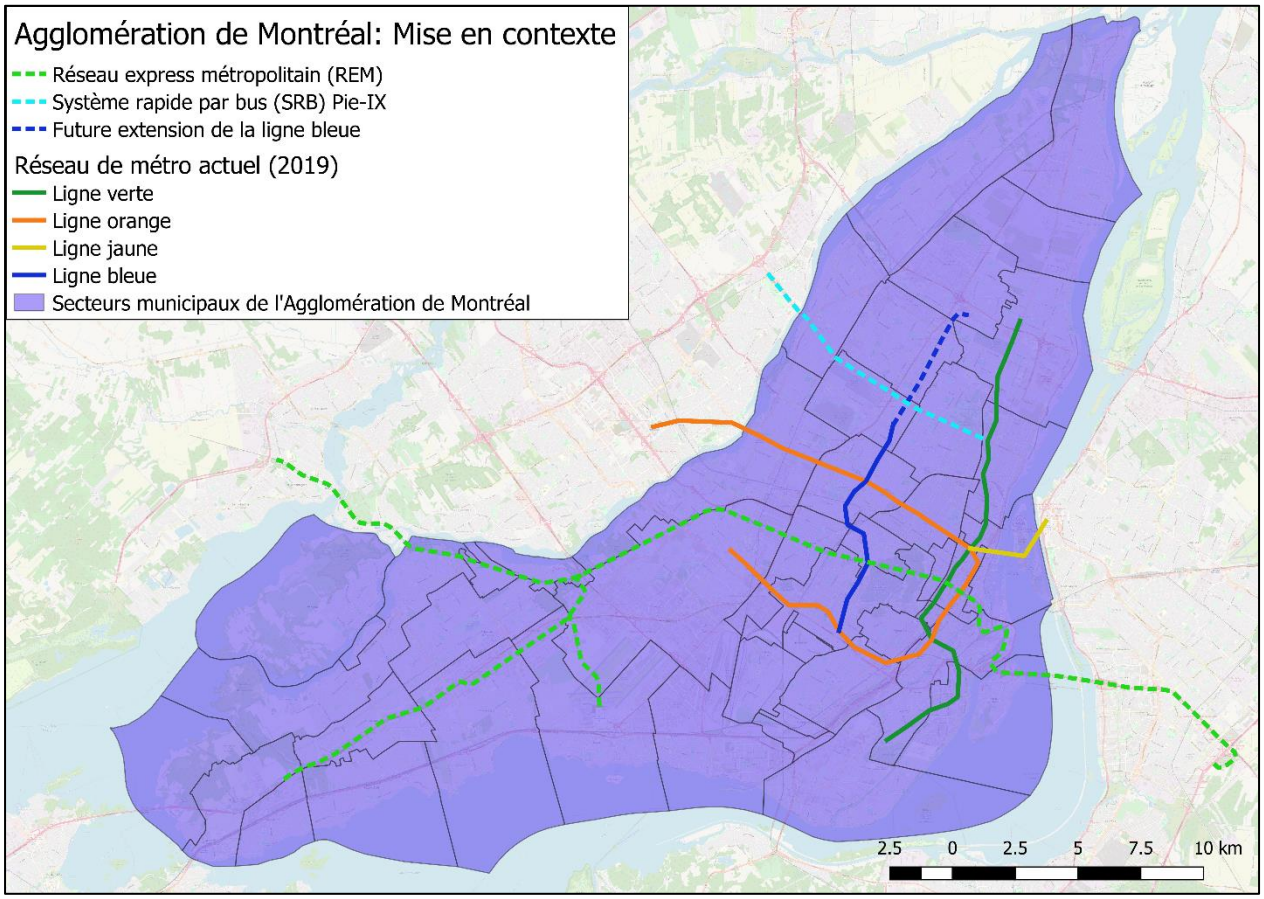


Figure 3.2 - Agglomération de Montréal (en indigo) et réseaux structurants de transport collectif.

3.3 Description des données

3.3.1 Enquête Origine Destination 2013

Une des principales sources de données sur laquelle repose la méthode réside dans les fichiers de déplacements de l'Enquête Origine-Destination 2013. Cette enquête de mobilité, menée à tous les cinq ans dans diverses régions urbaines du Québec, permet de brosser un portrait des habitudes de déplacements des populations étudiées. Dans le cas du Grand Montréal, qui cumule environ quatre millions d'habitants, l'échantillon concerne plus ou moins 4% des ménages, rejoints via un registre de numéros de téléphones fixes couplé à un échantillon de numéros sans fil. L'étude concerne plus précisément les habitudes de mobilité les jours ouvrables de semaine. Elle est donc menée du mardi au samedi relativement au jour précédent et couvre la période d'automne. En plus de collecter des données sur les déplacements, l'Enquête Origine-Destination amasse des données relatives aux ménages et aux individus, ce qui permet d'enrichir les analyses subséquentes dans le but précis de bonifier les pratiques de planification. Les données permettent notamment d'approximer le lieu de domicile des répondants, ce qui permet le développement de mesures d'accessibilité.

Dans le contexte de ce mémoire, seules les observations relatives à l'agglomération de Montréal, (se rapportant donc aux 19 arrondissements de Montréal et aux 14 villes liées) furent considérées, le but étant avant tout de valider le cadre méthodologique. La base de données en question contient en conséquence autour de 36 000 ménages, pour un total de 82 000 individus et d'environ 200 000 déplacements enregistrés. Un filtre fut appliqué dès le départ afin d'exclure les individus dont au moins un des déplacements contenait une extrémité hors du territoire couvert par l'enquête de mobilité (Grand Montréal), afin de faciliter l'analyse des profils de mobilité des individus enquêtés. Puisqu'un des buts du présent mémoire est de développer une approche désagrégée de diagnostic de l'équité d'une offre de transport collectif, il fut décidé de travailler à l'échelle de l'individu dès le départ, ce que permet justement le niveau de précision de l'Enquête Origine-Destination.

3.3.2 Données *GTFS*

Les données *GTFS*, abréviation pour *General Transit Feed Specification*, constituent une deuxième source d'information utile au présent mémoire. Celles-ci représentent l'encodage des informations relatives à une offre de transport collectif sous forme de base de données relationnelle, permettant une diversité d'usages, dont le plus répandu est la fourniture d'horaires aux usagers du transport

collectif via des applications (Fortin, Morency et Trépanier, 2016). Le format de données *GTFS* est à l'origine le fruit d'une collaboration entre Google et TriMet, l'agence responsable du transport collectif pour la région de Portland, en Oregon. Depuis ses débuts en 2005, ce modèle de données a connu un gain croissant de popularité, notamment en raison de sa simplicité et de son faible coût, deux facteurs associés à la démocratisation de l'outil chez un grand nombre d'agences responsables de la planification du transport collectif (Fortin et al., 2016). C'est notamment le cas des sociétés actives sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Montréal, pour lesquelles les données *GTFS* ont été extraites afin de permettre divers calculs dans le cadre de ce projet de recherche.

Un jeu de données *GTFS* doit contenir au minimum six fichiers de type CSV pour être valide, soit ceux relatifs à l'agence de transport (*agency*), au calendrier des opérations (*calendar*), aux circuits (*routes*), aux trajets (*trips*), aux arrêts (*stops*) ainsi qu'aux heures de passage (*stop_times*). La liste n'est pas exhaustive, puisqu'un ensemble de données *GTFS* peut optionnellement contenir jusqu'à sept autres fichiers, relatifs à la tarification (*fare_rules* et *fare_attributes*), aux périodes d'opération (*calendar_dates*), aux fréquences (*frequencies*, surtout dans le cas des circuits à haute fréquence), aux correspondances (*transfers*) ou à la géométrie des circuits (*shapes*) (Fortin et al., 2016; voir la Figure 3.3). Ce fichier est utile pour effectuer des analyses spatiales via des outils de géomatique.

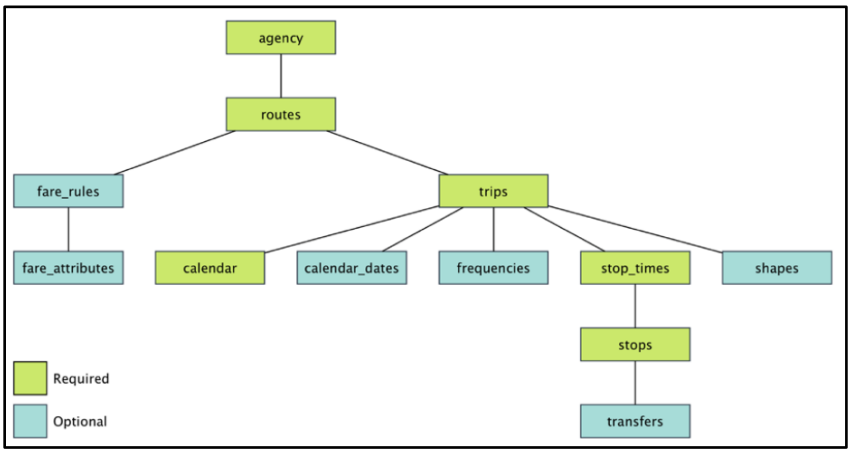


Figure 3.3 - Schéma d'un ensemble complet de données *GTFS*

Outre son utilité pour la planification des trajets chez l'usager des transports collectifs, un ensemble *GTFS* peut aussi s'avérer fort utile dans une perspective de planification des transports. En ce sens, Fortin et al. (2016) font état de divers usages observés ou potentiels de ce type de données. Un de ceux-ci consiste à définir des mesures d'accessibilité aux arrêts de transport collectif, en créant des zones tampon autour des arrêts géolocalisés à même les données *GTFS*. Cela permet de déterminer

la proportion d'individus ayant accès au réseau de transport collectif. Certains avancent aussi que les ensembles *GTFS* pourraient servir à bonifier l'analyse des réseaux actuels dans une perspective d'optimisation des opérations, notamment via la théorie des graphes (Fortin et al., 2016).

3.3.3 Opportunités géolocalisées

Dans la mesure où le diagnostic d'équité d'une offre de transport collectif repose avant tout sur l'évaluation des niveaux d'accessibilité à diverses opportunités, il s'avère nécessaire de construire une base de données couvrant une gamme variée de lieux d'activités associés au cadre théorique de l'équité en transport. Pour ce faire, quatre sources de données furent mises à profit afin d'extraire un maximum d'opportunités susceptibles de cadrer dans ce type d'analyse.

La première source d'information est la base de données *CanMap* produite par *DMTI Spatial*, une entreprise canadienne commercialisant des produits de géomatique à des fins variées. La base de données *CanMap* contient plus d'un million de points d'intérêt enregistrés sous forme de vecteurs *GIS*, ce qui facilite l'analyse spatiale (*DMTI Spatial*, s.d.). Une segmentation des opportunités en diverses catégories simplifie l'analyse et se prête bien au contexte d'une évaluation d'accessibilité à une gamme variée de lieux d'activité. Selon l'entreprise à l'origine de ce jeu de données, *CanMap* constituerait la base de données d'opportunités la plus complète au Canada (*DMTI Spatial*, s.d.). Puisque le jeu de données est vaste, il s'est avéré nécessaire de consulter un guide afin de filtrer seulement les opportunités susceptibles d'être pertinentes pour les calculs d'accessibilité.

Une brève évaluation du contenu de la base de données *CanMap* aura suffi pour déceler des lacunes évidentes relativement à certaines catégories d'opportunités, ce qui a rendu nécessaire le recours à une autre source d'information afin d'enrichir le jeu de données. *OpenStreetMap* (OSM) constitue une source alternative prometteuse, qui est issue de la collaboration entre plusieurs individus visant à construire une carte mondiale fidèle à la réalité (OpenStreetMap, 2018). Cette base de données ouverte, à laquelle tous peuvent donc contribuer, rassemble des données qui sont généralement fiables (Ather, 2009; Kounadi, 2009), bien que subsiste un risque d'erreur, cette base de données étant le résultat de diverses contributions individuelles, n'offrant ainsi aucune garantie absolue relativement à la qualité des données. C'est néanmoins une des principales sources ayant permis d'enrichir la base de données d'opportunités spatiales, en supplément à celle de *CanMap*.

La troisième source de données employée pour construire la base de données d'opportunités relève de ministères affiliés au gouvernement du Québec, ce qui contribue à hausser significativement la qualité des informations par rapport aux deux premières sources, plus approximatives. Des fichiers de type *shapefile* sont effectivement disponibles sur le portail *Données Québec* en ce qui concerne les établissements d'enseignement du Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur. Par ailleurs, le Ministère de la Santé et des services sociaux du Québec rend disponible directement sur son site Internet des fichiers cartographiques de ses établissements. Bien que certaines opportunités relatives à l'éducation ou à la santé soient comprises au sein des bases de données *CanMap* et *OSM*, il va sans dire que la précision des informations est plus grande dans les cas des jeux de données issus d'organisations ministérielles, justifiant ainsi le recours prioritaire à ces dernières.

La quatrième source de données relatives aux opportunités relève des municipalités présentes sur le territoire d'étude, à savoir Montréal et ses 14 villes liées. Il s'agit en fait de données ouvertes en format *shapefile* (.shp) des divers lieux d'activités, notamment des institutions culturelles et des parcs. À noter qu'il s'agit néanmoins de sources secondaires en comparaison des trois précédentes, qui fournissent l'essentiel des opportunités spatiales considérées (voir section 3.3.1).

3.3.4 Recensement canadien de 2016

Le recensement canadien, du fait de la nature agrégée de ses résultats, ne permettait pas le niveau de définition recherché dans le cadre du présent projet de recherche, qui vise à établir un diagnostic à l'échelle de l'individu. Il existe néanmoins un type d'information ne pouvant être obtenu que via les données du recensement, à savoir les statistiques relatives à l'emploi au sein de chaque secteur de recensement (SR). Puisque l'accessibilité à l'emploi constitue une des mesures les plus connues dans une perspective d'équité sociale en transport, le recours aux matrices de navettage dérivées du recensement canadien de 2016 s'avérait inévitable. Ces matrices, disponibles en format *Beyond 20/20* pour l'ensemble des régions métropolitaines de recensement, fournissent une estimation du nombre d'emplois dans chaque secteur, de même que des informations relatives aux salaires de ces emplois et à leur catégorie professionnelle (Statistique Canada, 2016).

3.4 Mesures d'accessibilité

Le choix d'un modèle de mesures d'accessibilité constitue un choix délicat, étant donné la grande variété existant à ce niveau, mais surtout les implications relatives au choix d'un modèle par rapport

à un autre. Selon Geurs et van Wee (2004), deux chercheurs ayant analysé avec rigueur les tenants et aboutissants des diverses variantes, il est recommandé d'opter pour un modèle qui soit à la fois conceptuellement valide et facilement interprétable non seulement par les chercheurs, mais avant tout par les preneurs de décision et le grand public. Cerdà et El-Geneidy (2010) ont aussi effectué une revue des différents modèles et mettent également de l'avant l'importance d'un compromis lorsque vient le temps d'opter pour une approche, en appuyant leurs propos sur divers articles :

> « La facilité à communiquer et interpréter une mesure d'accessibilité est un critère déterminant pour sa fréquence d'utilisation et son utilité pour les planificateurs, décideurs et résidents de la communauté. Une mesure facilement compréhensible qui propose une vision intuitive du système de transport pourrait avoir plus de valeur qu'une mesure théorique exigeant de longues explications (Koenig, 1980). La mesure d'accessibilité doit être cohérente avec la perception que les gens ont de leur environnement et elle doit contenir les éléments qu'ils jugent importants (Handy et Niemeier, 1997). Par conséquent, il est important de trouver 'le bon équilibre entre une mesure ayant un fondement théorique et empirique solide et une mesure qui est assez simple pour être employée dans les processus d'aménagement interactifs et créatifs où les participants ont habituellement différents niveaux et champs d'expertise.' (Bertolini et al., 2005, p.218). » (Cerdà et El-Geneidy, 2010, page 45)

Geurs et van Wee (2004) classent les modèles de mesures d'accessibilité en quatre catégories, soit les mesures basées sur l'infrastructure, les mesures basées sur l'emplacement, les mesures basées sur l'individu ainsi que les mesures basées sur l'utilité (voir 3.1.1). La famille de mesures reposant sur l'infrastructure ne constituerait pas une option, étant donné qu'il ne s'agit que de mesures de performance d'un réseau de transport, ce qui traduit une approche de planification orientée vers la mobilité et non l'accessibilité (Figure 2.2). Les modèles basés sur l'individu et l'utilité constituent sûrement les deux approches les plus rigoureuses d'un point de vue théorique, étant plus fidèles aux perceptions des individus, mais aussi à leurs préférences. Or, ce sont deux approches difficilement applicables dans la pratique en raison des requis de données, ces dernières n'étant d'ailleurs pas toujours disponibles, notamment en ce qui a trait aux horaires des commerces et des individus, de même qu'aux besoins, contraintes et préférences de ces derniers. C'est sans aborder les obstacles de communicabilité qui concernent ces deux approches et limitent sévèrement leur utilisation. Reste alors la famille des mesures basées sur l'emplacement, regroupant les modèles d'opportunités cumulées (isochrones), gravitaires et de compétition.

Le modèle gravitaire trouve un écho favorable au sein de la littérature scientifique relative à l'équité en transport. Il constitue un compromis acceptable, reposant sur des assises théoriques relativement robustes et n'étant pas trop friand en matière de données. Or, comme mentionné précédemment, les mesures qui en résultent s'avèrent difficiles à interpréter puisqu'elles ne traduisent pas un nombre concret d'opportunités. De plus, sa logique peut être complexe à communiquer au grand public. Malgré quelques imperfections, le modèle d'opportunités cumulées jouit quant à lui d'une facilité d'interprétation et de communicabilité, ce modèle étant particulièrement intuitif. Par ailleurs, il existerait une forte corrélation entre les modèles isochrones et gravitaires, faisant en sorte qu'il est possible d'employer le modèle de son choix de manière interchangeable (El-Geneidy et Levinson, 2006; Manaugh et El-Geneidy, 2011). Cette relation tiendrait tout particulièrement pour les déplacements en transport collectif d'une durée allant de 30 à 45 minutes (El-Geneidy et Cerdà, 2010). À la lumière de ces arguments, les mesures d'accessibilité reposeront sur le modèle d'opportunités cumulées pour les volets relatifs à l'accessibilité locale et régionale aux activités.

3.4.1 Choix des catégories d'opportunités

La notion de mesure d'accessibilité est une chose, le choix des opportunités à considérer en est une autre. La décision doit cependant se montrer cohérente avec le cadre conceptuel au sein duquel la mesure vient s'inscrire, qui concerne dans ce cas-ci l'équité d'une offre de transport collectif. Dans une perspective de réduction du risque d'exclusion sociale par le transport, il importe de chercher à ce que tous puissent couvrir leurs besoins fondamentaux et accéder aux opportunités dont ils ont besoin pour atteindre leur plein potentiel. Il s'agit donc de définir un panier de biens et services auxquels tous devraient pouvoir accéder, à défaut de quoi subsiste le risque qu'un individu soit exclu de certaines opportunités qu'il pourrait juger nécessaire à son bien-être.

Comme en témoigne la revue littéraire, le choix des opportunités devrait normalement résulter d'un exercice de consultation visant à sonder les besoins du public cible (voir section 2.1.3). Il faudrait effectivement éviter les écueils paternalistes découlant d'une décision en vase clos (Martens, 2016). Or, à défaut de procéder à un tel exercice, la présente méthode s'est inspirée de la littérature pour retenir des opportunités variées permettant de composer un « panier de biens », qui comporte donc un aspect arbitraire. Les opportunités d'emplois constituent la catégorie d'opportunité la plus souvent employée parmi les articles portant sur l'accessibilité, d'autant plus que l'emploi favorise l'inclusion sociale (Blumenberg et Manville, 2004). En outre, une panoplie d'opportunités furent

également considérées, à la lumière de la littérature sur l'équité d'une offre de transport ainsi que sur l'exclusion sociale (*UK Social Exclusion Unit*, 2003; Fransen et al, 2015; Lucas et al. 2015; Litman, 2017; Van Wee et Geurs, 2011). Le Tableau 3.1 présente les opportunités retenues, qui sont regroupées par catégorie, à savoir l'emploi, l'éducation, la santé, les commerces et les loisirs.

Tableau 3.1 - Choix des opportunités pour les mesures d'accessibilité.

Emplois	Éducation	Santé	Commerces	Loisirs
Quantité d'emplois (échelle du secteur de recensement)	Garderies et CPE	CLSC	Supermarchés	Bibliothèques
	Écoles primaires	Hôpitaux	Pharmacies	Musées
	Écoles secondaires		Magasins d'escompte	Espaces verts
	Centres de formation professionnelle		Magasins du dollar	Grands parcs
	CÉGEPs			
	Universités			

3.4.2 Opérations sur les bases de données d'opportunités

Dans une perspective plus méthodologique, il importe de spécifier que la totalité des manipulations des opportunités a eu lieu via QGIS et un serveur *PostgreSQL*, un outil fort utile pour croiser divers ensembles de données. Tant pour *CanMap* que pour *OpenStreetMap*, les ensembles de base furent extraits en format *shapefile* (SHP), puis implémentés dans QGIS. L'étape suivante fut alors de les intégrer au serveur *PostgreSQL* via le *Gestionnaire BD*, un outil interne de QGIS permettant une transposition de couches d'information spatiale en tables de base de données. La marche à suivre pour filtrer les données au sein du serveur *PostgreSQL* fut cependant différente pour les deux bases de données d'opportunités.

Du côté de *CanMap*, le filtre s'est appliqué sur la couche des *Enhanced Points of Interest* (EPOI), qui contient la totalité des opportunités. Pour chaque type d'opportunité retenue, des termes précis sous forme d'expressions régulières furent employés pour extraire uniquement des lieux d'intérêt conformes à la catégorie correspondante. La liste des expressions régulières (Tableau 3.2) n'est pas exempte de limitations importantes cependant, puisque seuls des termes génériques ou associés à des chaînes connues (dans le cas des commerces) ont été employés pour faire le tri. Elle fournit cependant une bonne estimation des opportunités, les principales bannières étant toutes présentes.

Tableau 3.2 - Expressions régulières employées dans CanMap.

Catégorie	Opportunité	Expressions régulières employées
Éducation	Garderies et CPE	%GARDERIE%' ; '%CPE%' ; '%CENTRE DE LA PETITE ENFANCE%' ; '%SERVICE DE GARDE%' ; '%DAYCARE%' (name not like '%SCOLAIRE%')
Commerces	Supermarchés	%MAXI%' ; '%IGA%' ; '%MÉTRO%' ; 'METRO%' ; '%SUPER C%' ; '%PROVIGO%' ; '%RICHELIEU%' ; '%INTERMARCH%' ; '%MOURELATOS%' ; '%ADONIS%' ; '%PA SUPERMARCH%' ; '%LOBLAWS%'
	Pharmacies	%PHARMACIE%' ; '%UNIPRIX%' ; '%PHARMAPRIX%' ; '%FAMILIPRIX%' ; '%PROXIM%' ; '%JEAN COUTU%'
	Magasins d'escompte	%FRIPERIE%' ; '%FRIPE-PRIX%' ; '%ARMEE DU SALUT%' ; '%ARMÉE DU SALUT%' ; '%SALVATION ARMY%' ; ('%ARMEE DU SALUT%' and '%MAGASIN%') ; ('%ARMÉE DU SALUT%' and '%MAGASIN%') ; '%VILLAGE DES VALEURS%' ; '%VALUE VILLAGE%'
	Magasins du dollar	%DOLLAR%' (not like '%ORMEAUX%' and not like '%DOLLARD%'
Loisirs	Musées	*tou_type* like 'MUS' or 'GDN' or 'NAT' or 'HIS'

Du côté d'*OpenStreetMap*, les catégories étaient bien délimitées dès le départ, rendant le recours à un filtre supplémentaire futile. Il importe cependant de faire mention d'une particularité du jeu de données d'*OSM*, qui tient à la présence d'opportunités sous forme de points, mais également sous forme de polygones et ce, parfois pour un même type d'opportunité. Par ailleurs, des opportunités pouvaient être représentées par les deux types de vecteur, causant l'apparition de doublons au sein du même ensemble de données. L'enjeu était en ce sens de trouver une façon de fusionner les deux couches spatiales tout en filtrant les doublons. Pour ce faire, une jointure spatiale (de type *left join*) fut opérée dans *PostgreSQL* selon une condition bien précise, à savoir que le centroïde du polygone et les points soient distants d'au moins 10 mètres, ce qui permettait d'éviter de créer des doublons. Cette manipulation concernait seulement les supermarchés et les pharmacies. En ce qui a trait aux espaces verts, une simple fusion des couches '*osm_leisure_park_polygon'* et '*osm_leisure_nature_ reserve_polygon*' fut conduite, tandis que dans les cas des grands parcs, il a plutôt été question de fusionner la couche '*osm_leisure_nature_ reserve_polygon*' avec une table rassemblant les divers parcs faisant partie du réseau montréalais des Grands Parcs (Ville de Montréal, s.d.), extraits grâce à des expressions régulières et des identifiants uniques relatifs à chaque grand parc (Figure 3.4).

```
-- Étape 7.4: Création d'un SHP combinant l'ensemble des GRANDS PARCS (leisure_park et leisure_nature_reserve)

drop table if exists opportunites.osm_grands_parcs;
create table opportunites.osm_grands_parcs as
  select osm_id,name,geom from opportunites.osm_leisure_park_polygon
      where (name like 'Parc des Rapides' and osm_id = '7906778') or name like 'Parc Angrignon'
         or (name like 'Parc René-Lévesque' and osm_id = '117595232')
         or (name like '%Outremont%' and name like '%Belvédère%') or name like 'Parc du Mont-Royal'
         or name like '%Parc La Fontaine%' or name like '%Cité-du-Havre%' or name like '%Jean-Drapeau%'
         or (name like 'Parc Maisonneuve' and osm_id = '87382614') or name like '%Promenade-Bellerive%'
         or name like '%Frédéric-Back%' or name like '%Simone-Dénéchaud%'
union
  select osm_id,name,geom from opportunites.osm_leisure_nature_reserve_polygon
  order by osm_id asc;
select count(*) from opportunites.osm_grands_parcs; --69 (sans double count)
```

Figure 3.4 - Extrait du code servant à créer la couche des Grands Parcs.

Une fois l'ensemble des couches d'opportunités filtrées de *CanMap* et d'*OpenStreetMap* créées, la prochaine étape fut de les fusionner, du moins en ce qui concerne les catégories pour lesquelles les deux ensembles s'avéraient incomplets, tout en portant une attention particulière aux doublons. Ce fut le cas des supermarchés, des pharmacies et des musées, les autres types d'opportunités n'ayant été extraits que d'une seule base de données. Une fois de plus, c'est par l'entremise d'une jointure spatiale (de type *left join*) que la fusion des couches de *CanMap* et d'*OSM* fut opérée, en recourant à la fonction *ST_DWithin* pour éviter la création de doublons au passage. Le seuil de distance s'est établi cette fois à 200 mètres pour les supermarchés et les pharmacies, ainsi qu'à 100 mètres pour les musées. Ces seuils sont le fruit d'une décision arbitraire, qui semblait produire le résultat voulu selon une validation visuelle sommaire (dans QGIS). Il est fort probable que cela ait induit divers biais et il serait en ce sens possible de raffiner la méthodologie. Il reste que la fusion des deux bases de données a permis d'enrichir les couches d'opportunités par rapport à l'usage d'une seule couche de données, comme en témoigne le

Tableau 3.3.

Tableau 3.3 - Nombre d'occurrences de chaque ensemble et doublons épargnés.

Catégorie	**Opportunité**	**Nombre d'occurrences**			**Doublons épargnés**
		CanMap	*OSM*	(Fusion)	
Éducation	Supermarchés	421	521	713	229
	Pharmacies	1125	382	1225	282
Loisirs	Musées	96	37	121	12

À la suite d'une comparaison des couches de *CanMap* et d'*OSM*, une décision alternative fut de ne pas fusionner les deux ensembles et de plutôt opter intégralement pour un seul des deux en raison d'un écart de notable au niveau de la qualité des couches. En outre, les données relatives à l'emploi étaient contenues dans les matrices de navettage, importées dans *PostgreSQL* via un fichier CSV, auxquelles ont été jointes les centroïdes des secteurs de recensement afin de pouvoir procéder à des opérations spatiales. Les bibliothèques de la Ville de Montréal furent quant à elles extraites d'une fichier *shapefile* disponible en données ouvertes, tandis que celles des 14 villes liées furent ajoutées manuellement dans QGIS, puis importées dans *PostgreSQL*. Les institutions scolaires, du primaire jusqu'à l'université, ont été extraites d'une couche fournie par le Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur du Québec, tandis que les établissements de santé, soit les CLSC et les hôpitaux, sont tirés d'une couche fournie par le Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec. Le Tableau 3.4 fournit un portrait global de la provenance des diverses opportunités.

Tableau 3.4 - Provenance des opportunités géolocalisées.

Catégorie	**Opportunité**	**Source(s)**			**Détails**
		OSM	*CanMap*	Autre	
Emplois	Emplois (SR)			**X**	Statistique Canada
Éducation	Garderies et CPE		**X**		-
	Écoles primaires			**X**	MEES
	Écoles secondaires			**X**	MEES
	Centres de formation professionnelle			**X**	MEES
	CÉGEP			**X**	MEES
	Universités			**X**	MEES
Santé	CLSC			**X**	MSSS
	Hôpitaux			**X**	MSSS
Commerces	Supermarchés	**X**	**X**		-
	Pharmacies	**X**	**X**		-
	Magasins d'escompte		**X**		-
	Magasins du dollar		**X**		-
Loisirs	Bibliothèques			**X**	Ville Mtl + liées
	Musées	**X**	**X**		-
	Espaces verts	**X**			-
	Grands parcs	**X**		**X**	Ville Mtl

3.4.3 Distinction des échelles locale et régionale

La littérature relative à l'exclusion sociale par le transport accorde un statut particulier au potentiel d'accessibilité locale, susceptible de répondre à divers besoins sans nécessité de recourir aux modes motorisés, ce qui constitue un atout pour les individus vulnérables face à la mobilité, que cela soit pour des raisons financières ou autres (Currie et al., 2009). Selon Van Wee et Geurs (2011), cette distinction n'est pas suffisamment prise en compte dans les outils de planification, bien que l'offre d'opportunités locales soit déterminante dans la mobilité des individus vulnérables. En ce sens, le modèle développé dans le cadre de ce mémoire intègre une distinction d'échelles visant à définir quelles sont les opportunités accessibles à distance de marche pour une majorité d'individus. Ces dernières devraient, dans une perspective d'équité, être au moins accessibles à tous les individus perçus comme vulnérables en matière de mobilité. Quant aux activités de portée plus régionale, ce sont celles pour lesquelles l'usage d'un mode motorisé est souvent nécessaire et auxquelles une majorité d'individus n'a pas accès à même le voisinage (à distance de marche).

Le choix des seuils permettant d'identifier à quelle échelle appartiennent les diverses opportunités relève dans le cas présent d'une décision arbitraire, ce qui constitue une limite notable à la méthode proposée. Pour l'ensemble des opportunités, mis à part les emplois et les espaces verts, la barème à respecter pour qu'une opportunité soit considérée de portée locale stipule qu'au moins 75% de la population de l'agglomération montréalaise (en tenant compte des facteurs d'expansion) doit avoir accès à une occurrence au minimum en 20 minutes de marche. Les mesures sont établies en tenant compte des distances réseau via le module *Open Source Routing Machine* (OSRM). Ainsi, dans la mesure où moins de 75% de la population aurait accès à au moins une opportunité, cette dernière serait alors considérée de portée régionale. En ce qui concerne les espaces verts et les emplois, le requis d'une occurrence n'avait pas de valeur intrinsèque et le choix du seuil s'est plutôt fait à la lumière d'une distribution de la quantité d'opportunités accessibles en 20 minutes de marche dans *RStudio*. Le seuil pour les parcs fut fixé à 12,4 hectares d'espaces verts, tandis que 2890 emplois étaient nécessaires à 20 minutes de marche. En ce qui concerne cette opportunité, il fut cependant décidé de la mesurer à la fois à l'échelle locale et à l'échelle régionale, car bien que les emplois de proximité aient une incidence sur la participation sociale des individus vulnérables, peu de gens travaillent dans les faits à proximité de leur domicile (Blumenberg et Manville, 2004). Le Tableau 3.5 présente les seuils employés pour distinguer les deux échelles ainsi que les pourcentages d'individus en mesure d'atteindre ce seuil en 20 minutes de marche.

Tableau 3.5 - Distinction entre opportunités locales et régionales.

Catégorie	Opportunité	Seuil minimal	Pourcentage	Échelle
Emplois	Emplois (SR)	2890 (20e perc.)	80,3%	**(les deux)**
Éducation	Garderies et CPE	1	96,3%	Locale
	Écoles primaires	1	97,6%	
	Écoles secondaires	1	79,6%	
	Centres de formation professionnelle	1	44,6%	Régionale
	CÉGEPs	1	15,2%	
	Universités	1	6,9%	
Santé	CLSC	1	50,8%	
	Hôpitaux	1	28,2%	
Commerces	Supermarchés	1	94,8%	Locale
	Pharmacies	1	90,8%	
	Magasins d'escompte	1	50,2%	Régionale
	Magasins du dollar	1	75,0%	Locale
Loisirs	Bibliothèques	1	66,3%	Régionale
	Musées	1	31,8%	
	Espaces verts (hectares)	12,4 (10e perc.)	90,7%	Locale
	Grands parcs	1	11,3%	Régionale

Le scénario optimal pour un individu vulnérable en matière de mobilité consisterait à jouir d'une accessibilité locale à l'ensemble des opportunités identifiées. Dans la mesure où une personne vulnérable jouirait d'une accessibilité locale déficiente, il serait alors important de voir à ce que l'offre de transport collectif à proximité compense cette situation en fournissant une accessibilité adéquate à diverses opportunités et ce, dans un temps raisonnable. Ainsi, bien que l'accessibilité locale ne repose que sur la marche, une faiblesse à son égard peut servir à justifier une desserte bonifiée de transport collectif pour les secteurs caractérisés par de fortes concentrations de populations vulnérables.

3.4.4 Mesures d'opportunités cumulées

Les mesures d'accessibilité locale et régionale reposent sur un modèle d'opportunités cumulées, dont l'équation (Figure 3.5) considère chaque opportunité individuellement à partir d'un point de départ, représenté ici par le domicile des ménages enquêtés de l'Enquête Origine-Destination 2013. Une fonction de coût est alors associée à cette opportunité, cette fonction prenant soit une valeur de 1 si l'opportunité peut être atteinte à l'intérieur du laps de temps défini, ou bien de 0 si ce n'est pas le cas. Pour faciliter l'interprétation, ce modèle est parfois représenté par un polygone spatial à l'intérieur duquel se trouvent des opportunités (Figure 3.6).

OPPORTUNITÉS CUMULÉES

$$A_i = \sum_{j=1}^{n} O_j f(C_{ij})$$

$$f(C_{ij}) = \begin{cases} 1 \text{ si } C_{ij} \leq t_{ij} \\ 0 \text{ si } C_{ij} > t_{ij} \end{cases}$$

Source: Bhat et al. (2000)

Figure 3.5 - Équations du modèle d'opportunités cumulées.

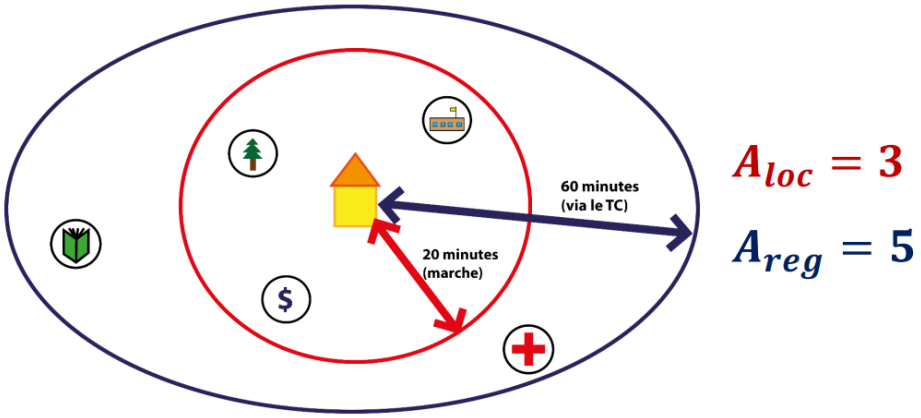


Figure 3.6 – Illustration de mesures d'accessibilité locale (A_{loc}) et régionale (A_{reg}).

3.4.4.1 Échelle locale

Les mesures d'accessibilité à l'échelle locale ne reposent pour ce mémoire que sur la marche, bien qu'il puisse éventuellement être pertinent d'intégrer aussi le vélo parmi les alternatives possibles. La méthode de calcul est relativement simple et repose globalement sur l'outil *Open Street Routing Machine* (OSRM), qui calcule des itinéraires *réseau* entre deux points fournis en données entrantes. Deux tables contenant les coordonnées de latitude et de longitude ont tout d'abord été produites, soit une première pour les ménages de l'agglomération de Montréal enquêtés dans le cadre de l'Enquête Origine-Destination 2013 et une deuxième rassemblant toutes les opportunités retenues, qu'elles soient situées sur le territoire d'étude ou en dehors de ce dernier, l'accès aux opportunités n'étant pas limité uniquement à l'île de Montréal. Un appel à *OSRM* est fait dans un second temps via la plateforme *Transition* (Transition, 2017), permettant de calculer le temps entre chacune des paires *domicile-opportunité*. Certains paramètres du calculateur sont alors fixés (arbitrairement),

tels que la vitesse de marche (5 km/h) et la pénalité d'attente aux feux de circulation (20 secondes). L'étape ultime du processus consiste alors à comptabiliser la quantité d'opportunités accessibles en fonction de seuils de temps variables, établis dans le cas de ce mémoire à 5, 10, 15 et 20 minutes de marche. Les résultats peuvent finalement être exportés en format *csv* et importés dans un serveur *PostgreSQL* afin de permettre l'analyse et la manipulation des données.

3.4.4.2 Échelle régionale

Les mesures d'accessibilité à l'échelle régionale se révèlent légèrement plus complexes que celles propres à l'échelle locale, car outre l'utilisation du calculateur *OSRM* pour la portion piétonne des trajets, elles font aussi intervenir les données *GTFS* des diverses sociétés de transport collectif afin de traduire l'accessibilité en transport collectif dont jouissent les individus. La totalité du processus se déroule au sein de la plateforme *Transition*, par l'entremise d'un module relatif à l'accessibilité.

La première étape consiste en l'importation des deux mêmes tables que pour l'accessibilité locale, à savoir une table relative à la position spatiale des ménages et une seconde traduisant la position des opportunités à travers le territoire. Par la suite, deux tables intermédiaires en sont dérivées, une première générant des paires *ménages-arrêts* tandis qu'une deuxième s'attarde plutôt à la création de paires *opportunités-arrêts*. Cette étape mise dans les deux cas sur une distance de marche limitée à 15 minutes et faisant appel au calculateur *OSRM*, qui permet de précalculer les temps de marche.

L'étape suivante consiste, de manière très simplifiée, à calculer le temps de parcours optimal entre les arrêts des tables *ménages-arrêts* et *opportunités-arrêts*, et ce, pour un départ simulé à 8 heures du matin, en semaine, à l'automne. Cela constitue une période fréquemment choisie pour définir des calculs d'accessibilité, traduisant l'accessibilité en pointe matinale (Boisjoly et El-Geneidy, 2016). Pour tenir compte du facteur de variabilité temporelle de l'offre de transport collectif, les calculs sont effectués sur une période de 30 minutes, soit de 7h45 à 8h15, à des intervalles de 5 minutes, et la moyenne des temps de parcours optimaux constitue dans cette perspective la mesure finale retournée par l'algorithme. Divers paramètres sont d'ailleurs stables pour l'ensemble des calculs et ont de ce fait une incidence sur les résultats, d'où l'importance d'en faire mention.

Tout d'abord, un temps d'attente minimal de 3 minutes est prévu pour l'ensemble des arrêts, ce qui signifie qu'un individu qui arriverait seulement 2 minutes à l'avance à l'arrêt ne pourrait pas monter à bord du véhicule, étant considéré « en retard ». Par ailleurs, toute correspondance lors d'un trajet se voit attribuer une pénalité de 3 minutes, rendant impossible un transfert pour lequel l'intervalle

est inférieur à cette durée. Dans le même sens, la distance de marche maximale pour effectuer une correspondance entre deux lignes est limitée à 15 minutes de marche, ce qui correspond aussi à la durée employée pour définir le temps de marche maximal entre les domiciles et les arrêts de départ, de même qu'entre les arrêts d'arrivée et les opportunités (les destinations).

À ce stade, les temps de marche à l'origine et à la destination de même que les temps de parcours optimisés sont calculés. Il ne reste alors plus qu'à combiner ces trois mesures pour obtenir la durée totale d'un trajet entre un domicile et une opportunité. Ce procédé est répliqué pour l'ensemble des paires *ménages-opportunités*, permettant ainsi d'obtenir un temps de parcours en transport collectif qui tient compte de l'ensemble des composantes d'un trajet, à savoir le temps d'accès à l'arrêt, le temps d'attente, le temps passé à bord du véhicule, la durée des correspondances ainsi que le temps de marche jusqu'à la destination. Comme pour l'accessibilité locale, le nombre total d'opportunités est finalement calculé selon des seuils variables, établis pour ce volet à 15, 30, 45 et 60 minutes de parcours total. Le fichier *csv* résultant peut ensuite être intégré à *PostgreSQL* pour analyse.

3.4.5 Mesures d'exposition à l'offre de transport collectif

Bien que l'essentiel des mesures d'accessibilité concerne des opportunités spatiales présentes aux échelles locale et régionale (voir 4.3.4), un volet distinct de l'analyse d'accessibilité se penche sur l'exposition des individus à l'offre de transport collectif à l'échelle du voisinage de leur domicile. Cette distinction est soutenue par divers chercheurs, qui prétendent que l'évaluation segmentée de l'accessibilité aux opportunités et à l'offre de transport permet une compréhension approfondie du potentiel d'action dont bénéficient les populations (Murray et Wu, 2002; Boisjoly et El-Geneidy, 2016). Cet avis trouve un écho particulièrement favorable en ce qui concerne le transport collectif, puisque l'accessibilité fournie par ce dernier est contrainte par les horaires et la fréquence, variables d'un endroit à l'autre. Pour Nazari Adli et al. (2019), une desserte de transport collectif doit non seulement fournir un accès aux lieux de destination souhaités, mais doit le faire au moment désiré, à défaut de quoi ce service revêt peu d'intérêt. Le fait de s'intéresser à la qualité de l'offre s'avère de ce fait complémentaire aux mesures d'accessibilité régionale en transport collectif, fournissant un proxy de la fréquence à laquelle celle-ci est disponible, permettant de contourner partiellement la nécessité de mesurer l'accessibilité régionale pour différentes périodes de la semaine.

L'accessibilité à une offre de transport collectif prend souvent la forme d'un indicateur composite, qui combine divers attributs relatifs à la qualité de la desserte (Di Ciommo et Shiftan, 2017). Parmi

les mesures fréquemment mises à profit, il est possible de faire mention de la diversité des modes disponibles, de la fréquence du service, du nombre d'arrêts et de circuits accessibles selon un seuil prédéterminé, etc. Ces mesures recourent généralement à une zone tampon (*buffer*) définie autour d'un point précis dans l'espace, s'agissant souvent du domicile ou des arrêts. Le rayon de ces zones peut varier, bien que l'ordre de grandeur soit généralement compris entre 400 mètres (Scheurer et al., 2007) et 500 mètres (Fortin et al., 2016). Dans le cadre du présent mémoire de recherche, celui-ci a été défini non pas en fonction d'une distance, mais plutôt selon un temps de marche, établi ici à 5 minutes. En fixant la vitesse de marche (uniforme pour tous les individus) à 5 km/h, cela traduit un rayon d'environ 417 mètres de marche, compris dans l'intervalle [400-500] mètres. À noter que ce rayon peut se trouver réduit lorsque le trajet rencontre des feux de circulation, car une pénalité de 20 secondes s'applique à chacun d'eux. Un deuxième rayon de mesure a également été établi à 10 minutes de marche (834 mètres au maximum) afin d'analyser la variabilité des calculs. Ce choix de paramètres s'applique à tous les individus, bien qu'il soit raisonnable de penser que des groupes (aînés, personnes à mobilité réduite, etc.) ne puissent se conformer à ces standards. En ce sens, une perspective consisterait à personnaliser les paramètres afin de les adapter aux capacités et besoins variables des individus, permettant de produire un diagnostic d'accessibilité (section 5.4.2).

Trois indicateurs complémentaires ont été développés dans le cadre de ce projet de recherche afin de mesurer le niveau d'exposition à l'offre de transport collectif. Le premier concerne l'accès aux arrêts/stations, le deuxième l'intensité du service en termes de passages-ligne, alors que le troisième indicateur traite de la couverture temporelle du service en termes d'heures cumulées de service. Il importe de mentionner une limite notable avant de présenter ces indicateurs, qui réside dans le fait que contrairement aux mesures d'opportunités cumulées (pour lesquelles les *GTFS* de l'ensemble des opérateurs actifs au sein du Grand Montréal furent considérés), seules les données *GTFS* de la Société de transport de Montréal (STM) ont été employées pour réaliser les calculs de ce troisième volet. Il reste que les circuits des autres sociétés de transport qui offrent un rabattement vers des terminus métropolitains de l'île ne sont pas considérés, tout comme le réseau de trains de banlieue d'exo. Cela représente une limite modérée, considérant la nature locale de ce volet, lequel s'attarde uniquement à l'offre présente dans un rayon de 10 minutes de marche des domiciles, qui a peu de chance de s'étendre au-delà du territoire de l'agglomération de Montréal. Or, la fréquence plus restreinte de ce réseau aurait vraisemblablement peu d'effets sur les indicateurs d'intensité et de couverture temporelle du service, quoique cela reste à démontrer par des analyses plus poussées.

3.4.5.1 Accès aux points d'entrée des réseaux

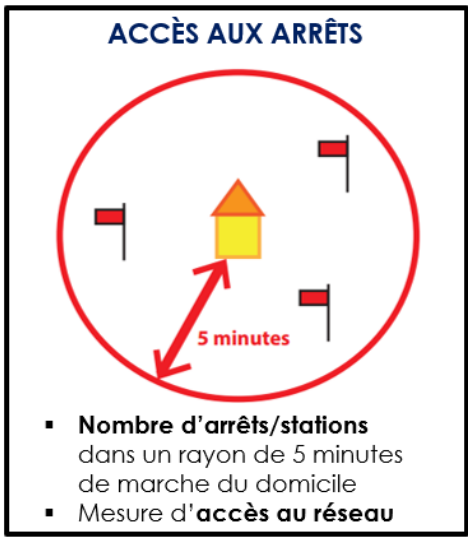


Figure 3.7 - Mesure d'accès aux arrêts.

Le premier indicateur comptabilise le nombre d'arrêts, gares ou stations de métro accessibles à partir du lieu de résidence en fonction des distances de marche fixées à 5 ou 10 minutes (Figure 3.7). Le calcul repose sur l'outil *OSRM*, pour lequel l'appel fut exécuté via la plateforme *Transition*. La première étape consiste à définir des paires *ménages-arrêts* selon un seuil limité à un kilomètre à vol d'oiseau. Il s'agit ensuite d'extraire les coordonnées de latitude et de longitude, puis d'expédier le fichier à *OSRM*, qui s'affaire alors à calculer la distance et le temps de marche selon les réseaux adaptés à la circulation piétonne.

Les résultats sous format *csv* peuvent ensuite être intégrés au serveur *PostgreSQL*. L'ultime étape consiste alors à comptabiliser, pour chaque ménage, le nombre d'arrêts accessibles en fonction des seuils établis à 5 et 10 minutes, moyennant une condition relative au temps d'accès *domicile-arrêt*.

3.4.5.2 Intensité quotidienne de service

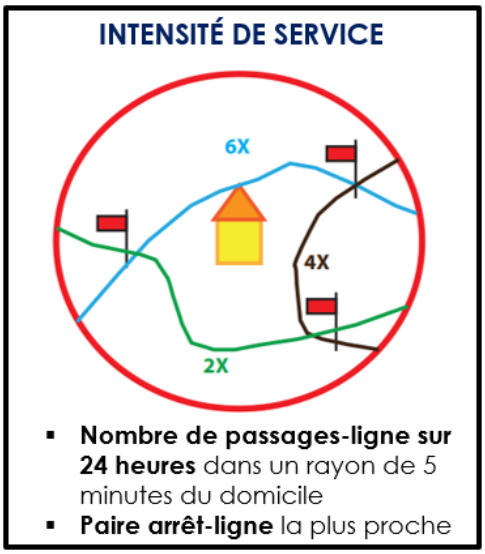


Figure 3.8 - Mesure des passages-ligne.

Le deuxième indicateur d'exposition à l'offre de service se rapporte à l'intensité de la desserte sur une base journalière pour une journée de semaine. Les calculs, effectués selon les horaires *GTFS* de l'automne 2018, visent à traduire une quantité quotidienne de passages-ligne transitant au sein du voisinage du domicile des ménages (Figure 3.8). Bien que l'intensité de service soit souvent abordée en termes de passages-arrêt, cette notion comporte une faille liée à un risque de comptabilisation multiple. L'enjeu est lié aux distances souvent réduites entre deux arrêts consécutifs d'une même ligne. Dans la mesure où plusieurs arrêts appartenant au même circuit peuvent se retrouver dans la zone tampon d'un ménage, cela peut résulter en la comptabilisation de plusieurs passages-arrêts relatifs à un seul et même voyage d'un circuit, menant alors à une surestimation du service auquel

est exposé un individu, ce dernier étant fort susceptible d'accéder à un circuit par l'entremise du point d'accès situé le plus près de son domicile. Une façon de contourner cet enjeu est de comptabiliser les passages-lignes, eux-mêmes dérivés des passages-arrêt, puisqu'une manipulation permettant d'isoler la paire arrêt-ligne la plus proche du domicile.

D'un point de vue méthodologique, le calcul du nombre de passages-ligne comporte certains défis techniques. Tout d'abord, les manipulations ont été exécutées via deux langages de programmation, soit en Javascript et en SQL. La première étape, réalisée en Javascript, visait à analyser les données *GTFS* de la STM afin d'en extraire diverses informations relatives à l'offre de service et ce, pour tous les arrêts du réseau. Ces manipulations, disponibles en annexe (voir l'annexe A), reposent sur les fichiers *stm_stops*, *stm_trips*, *stm_stop_times* et *stm_frequencies* et permettent de calculer, pour chaque période de service (semaine, samedi, dimanche, jour férié), le nombre de passages à chaque arrêt, mais aussi l'intervalle moyen entre deux passages à un même arrêt et la disponibilité cumulée du service à ce dernier sur l'espace d'une journée (voir section 3.3.5.3).

La suite des manipulations est réalisée en langage SQL via le serveur *PostgreSQL*. Il s'agit alors de créer, dans un premier temps, des paires *arrêts-lignes* comprenant le nombre de passages selon la direction (nord/sud, est/ouest). Survient alors une fusion avec la table *distance_menages_arrets*, qui renferme les distances et temps de marche des domiciles aux arrêts, calculés dans le cadre des mesures d'accès aux arrêts (voir 3.3.5.1). Cela permet l'obtention d'une table fournissant, pour les divers ménages de l'agglomération, les arrêts accessibles en fonction d'une certaine distance, mais aussi les lignes y transitant de même que le nombre de passages quotidiens. Une sélection est alors faite selon un critère de distance pour ne conserver que la paire *arrêt-ligne* la plus proche des lieux de résidence pour chaque circuit répertorié dans le voisinage d'un ménage. Cette paire fait écho au point d'accès qu'emploierait en toute rationalité un individu souhaitant accéder à une ligne précise. La dernière étape, relativement simple, consiste alors à comptabiliser le nombre de passages-ligne en fonction des deux seuils de distance préétablis, à savoir 5 et 10 minutes de marche du domicile.

3.4.5.3 Couverture temporelle du service

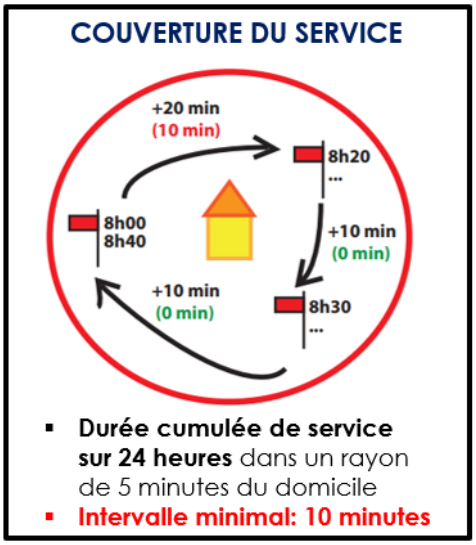


Figure 3.9 - Mesure de disponibilité temporelle continue d'une offre de TC.

Outre la présence de points d'accès au réseau à proximité du domicile et la fréquence journalière des divers circuits à ces arrêts, c'est peut-être (avant tout) le fait de bénéficier d'une offre de transport collectif en continu qui importe, c'est-à-dire de manière constante tout au long de la journée (Nazari Adli et al., 2019). Le calcul relatif à cet indicateur revêt une complexité certaine en termes de manipulations. L'idée de cet indicateur est d'évaluer si l'offre à laquelle est exposé un ménage est offerte en continue tout au long de la journée (sur 24 heures), ou bien si cette offre connaît au contraire des périodes d'interruption au cours desquels le ménage ne dispose d'aucun service. Cette approche fait écho à certaines recherches relatives à la variabilité temporelle d'une desserte de transport collectif en fonction du temps d'attente maximal toléré par les individus (Polzin, Pendyala et Navari, 2002). Le calcul de cet indicateur de couverture temporelle du service repose sur l'hypothèse voulant qu'un individu doive disposer d'au minimum un passage aux 10 minutes dans le voisinage de son domicile. Ainsi, l'intervalle compris entre la 10e minute suivant le dernier passage et l'heure du prochain passage est considéré comme une période exempte de couverture (Figure 3.9).

Comme pour l'indicateur relatif aux passages-ligne, le calcul de la disponibilité cumulée de service a représenté un certain défi technique. Dans ce cas-ci, l'ensemble de la démarche a été menée dans *PostgreSQL* sur la base de divers fichiers *GTFS*. La première étape consiste à produire deux tables intermédiaires qui seront nécessaires pour les calculs ultérieurs. Une de ces tables (*stops_trips*) vise à dresser, pour chaque arrêt, les heures de passage croissantes, toutes lignes confondues, du premier au dernier trajet transitant par cet arrêt. Une autre table (*menages_stops_routes*) instaure des trios *ménages-arrêts-lignes* comprenant la distance de marche entre le domicile et chaque arrêt contenu à l'intérieur d'une distance seuil. Une deuxième étape consiste alors à trier, pour chaque ménage, les paires *arrêts-lignes* de manière à ne conserver, pour chaque circuit, que la paire la plus proche du domicile. La troisième étape consiste alors à fusionner les deux tables intermédiaires, menant ainsi à l'obtention d'une seule table qui fournit, pour chaque ménage de l'agglomération, les heures

de passage croissantes, du premier au dernier trajet, toutes lignes confondues. Une quatrième étape permet alors d'évaluer, de manière itérative, l'intervalle entre deux passages consécutifs au niveau de chaque ménage. Lorsque cet intervalle est inférieur à 10 minutes, la condition de continuité du service est respectée, ce qui n'est guère le cas lorsque l'intervalle excède ce seuil. L'évaluation des intervalles étant menée du premier au dernier passage quotidien, il devient possible de cumuler les durées d'interruption de service. L'étape finale consiste alors à définir la couverture potentielle de service de chaque ménage, en calculant l'intervalle entre la dernière et la première heure de passage de la journée, pour ensuite y soustraire la durée cumulée des interruptions de service. Cette valeur représente alors le nombre d'heures quotidiennes d'exposition au service pour un ménage, et cette donnée peut ensuite être imputée à chaque individu logeant à la même adresse.

3.5 Diagnostic d'équité sociale en transport

Le diagnostic d'équité d'une offre de transport collectif repose, dans le cadre du présent mémoire, sur l'étude de la répartition de l'accessibilité au sein d'une population, cette ressource étant souvent considérée comme le principal bénéfice dérivé des systèmes de transport (Di Ciommo et Shiftan, 2017; Martens, 2016). Cette accessibilité est essentielle aux individus afin que ces derniers puissent participer à la vie sociale et économique (Martens, 2012; Van Wee et Geurs, 2011). Afin de refléter les tendances identifiées au sein de la littérature relative à l'équité en transport, l'analyse se fera en fonction d'une perspective double, faisant appel aux principes égalitariste et sufficientariste de justice distributive. Cette approche dite hybride permet d'illustrer la variabilité du diagnostic selon le principe choisi. En vertu de l'égalitarisme (voir section 2.3.2), le principal objectif poursuivi est la réduction des écarts entre individus d'une même population relativement à la répartition d'une ressource, le cas échéant l'accessibilité aux diverses opportunités. Or, le fait que tous ne soient pas égaux en matière de mobilité justifie cependant un traitement de faveur à l'égard des populations vulnérables, rejoignant le principe de visée prioritaire (Parfit, 1997) et le 2e principe de John Rawls (1971), en vertu duquel la présence d'inégalités est acceptable dans la mesure où celles-ci se font à l'avantage des plus vulnérables, cela dans le but de tendre vers une égalité des chances (Martens, 2016). Quant au principe sufficientariste (voir section 2.3.3), il repose plutôt sur l'idée d'un seuil quantifiable en-dessous duquel un niveau d'accès aux ressources est insuffisant. Lorsque transposé dans un cadre d'équité en transport, cela fait écho à un niveau d'accessibilité insuffisant pouvant entraîner une participation sociale réduite voire, dans les cas extrêmes, de l'exclusion sociale. Cela

concerne surtout les individus identifiés comme vulnérables en regard de la mobilité (3.5.1), pour lesquels le principe du *maximin* est mis à profit (Rawls, 1971). Celui-ci justifie que l'on s'intéresse à l'atteinte du seuil de suffisance tout particulièrement pour les individus les plus vulnérables.

Les besoins et capacités variables des individus en termes de mobilité doivent en tout état de cause orienter le diagnostic, notamment dans le cas d'une offre de transport collectif, qui ne revêt pas la même importance pour tous dans l'instauration d'une égalité des chances. Ce faisant, il importe avant tout de caractériser les individus en fonction du niveau de vulnérabilité en transport éprouvé par ceux-ci, cela afin d'identifier les segments de population à risque de connaître une participation sociale réduite en raison de contraintes relatives à la mobilité. Une échelle de vulnérabilité (3.4.1, ci-dessous) permettra alors d'appréhender la répartition de l'accessibilité entre individus.

3.5.1 Échelle de vulnérabilité sociale en transport

Comme en témoigne la littérature (section 2.4), la vulnérabilité individuelle en matière de mobilité résulte d'un amalgame de facteurs divers associés, d'une part, aux caractéristiques des individus et du ménage et, d'autre part, aux attributs de leur voisinage, qui fait autant référence aux opportunités qu'aux alternatives de transport. Dans une optique d'évaluation de l'adéquation d'une desserte de transport collectif, il importe de définir une échelle de vulnérabilité, car tous ne témoignent pas de besoins similaires à l'égard de ce service public. En effet, une situation de vulnérabilité élevée en matière de mobilité peut se traduire par des besoins accrus en matière de transport collectif, ce qui est d'autant plus vrai lorsque le voisinage offre peu d'opportunités locales. Dans ces circonstances, cette offre peut contribuer à réduire de manière notable chez ces individus le risque d'expérimenter une pauvreté d'accessibilité. Dans le cadre de la présente recherche, l'analyse des caractéristiques du voisinage fait partie intégrante du volet portant sur les mesures d'accessibilité (section 3.4) et elles ne seront donc pas considérées pour le développement de l'échelle de vulnérabilité, qui se penchera sur les attributs individuels et liés au ménage. Conformément au désir d'effectuer la recherche à une échelle désagrégée, l'échelle sera définie au niveau de l'individu, en dérivant au besoin certains attributs propres aux ménages (pour les convertir en caractéristiques personnelles).

Litman (2017) a mentionné que la vulnérabilité est un phénomène cumulatif, ce qui signifie qu'elle est proportionnelle au nombre de facteurs de risque se rapportant simultanément à un individu. Par ailleurs, dans une optique de diagnostic de l'équité verticale, le fait d'utiliser une échelle graduelle facilite grandement l'analyse, dans la mesure où il importe de vérifier si la répartition d'un bien se

fait à l'avantage des plus vulnérables. Ce faisant, le recours à une échelle cumulative est pertinent. De telles échelles ne semblent pas exister au niveau individuel dans le monde du transport, ce qui n'est cependant pas le cas au niveau zonal. À cet égard, Foth et al. (2013) ont développé un indice de défavorisation zonale à l'échelle du secteur de recensement qui repose sur quatre attributs issus du recensement canadien, à savoir le revenu médian du ménage, le taux de chômage, le pourcentage d'immigrants récents ainsi que la proportion de ménages accordant plus de 30% du revenu pour se loger. Ils s'en sont servis pour évaluer l'équité de l'offre de transport collectif torontoise dans une perspective d'accessibilité et de temps de parcours. Dans la même lignée, Currie (2010) a mis au point un indicateur de besoins en transport collectif (*Transport needs index*) reposant sur une vaste gamme de facteurs de vulnérabilité en transport. Cette échelle, reprise entre autres par Fransen et al. (2015), est calculée au niveau du secteur de recensement afin d'évaluer l'équité de l'offre locale de transport collectif. L'échelle de vulnérabilité développée dans le cadre de la présente recherche s'inspirera donc de ces métriques, en la développant cependant à l'échelle individuelle. En puisant dans la revue littéraire, il est possible d'identifier les attributs pertinents pour définir cette échelle.

Ainsi, divers attributs présents dans les données de l'Enquête Origine-Destination 2013 et associés à une forme de vulnérabilité en transport ont été sélectionnés : le statut de femme, le fait d'être âgé de moins de 16 ans ou de 65 ans et plus, le statut de parent, la monoparentalité, l'accès limité voire nul à une voiture ainsi que le statut de ménage à faible revenu. Étant donnée la nature cumulative de l'échelle, les facteurs de vulnérabilité s'additionnent. Il importe de mentionner que des facteurs supplémentaires auraient pu être intégrés à l'échelle de vulnérabilité individuelle, mais ne le seront pas faute d'information à cet égard dans l'ensemble de données EOD13. Il est notamment question de la situation d'emploi, de l'ethnicité et des limitations fonctionnelles, tous des éléments associés à une vulnérabilité accrue au chapitre de la mobilité (Litman, 2017).

À la lumière de ces facteurs, il est aisé d'entrevoir la pertinence de l'échelle cumulative proposée, qui constitue une typologie adaptée à l'évaluation de la répartition d'une offre de transport collectif dans une optique d'équité verticale. Les pointages employés varient en fonction du facteur, certains attributs ayant été jugés moins pénalisants que d'autres. Il importe de mentionner que le choix des pénalités associées relève d'une décision purement arbitraire, et qu'une variation de ces derniers pourrait contribuer à faire varier les analyses subséquentes. En ce sens, le statut de femme, le fait d'être âgé de moins de 16 ans (impossibilité de détenir un permis de conduire) ou de 65 ans et plus (perte de capacités progressive), la monoparentalité, l'accès nul à une voiture ainsi que le statut de

faible revenu sont tous associés à un point entier de vulnérabilité. Un accès partiel à la voiture, occasionné par le partage d'une voiture entre plusieurs membres d'un ménage, se traduit par un demi-point, étant moins pénalisant qu'un accès nul. La pénalité associée au statut de parent varie selon l'âge des enfants, la présence d'un enfant de moins de 5 ans valant un point et demi, tandis qu'un enfant âgé entre 6 et 12 ans entraîne une pénalité d'un point et celle d'un jeune âgé entre 13 et 18 ans, d'un demi-point seulement, étant donné l'autonomie croissante des enfants. À noter qu'à des fins de simplification, seule la présence d'au moins un enfant par tranche d'âge fut considéré au moment des calculs et non pas le nombre d'enfants par catégorie. Cette abstraction constitue en ce sens une limite mineure à la méthode et pourrait faire l'objet d'un raffinement éventuel.

3.5.2 Diagnostic égalitariste

L'approche égalitariste s'intéresse aux écarts entre individus et au niveau relatif de ressources dont dispose chaque individu. L'égalitarisme est traité sous l'angle du principe de différence de Rawls (1971) dans le cadre de ce mémoire. En ce sens, il s'agit d'évaluer si la répartition de l'accessibilité favorise les segments de population vulnérables en matière de mobilité, de sorte à encourager une participation sociale accrue chez ces derniers. Cela peut être assimilé à de l'équité compensatoire (ou « verticale »), puisque cela revient à prôner l'atteinte de niveaux d'accessibilité supérieurs par les groupes cibles afin de « compenser » la présence de contraintes à la mobilité chez ceux-ci (Pereira et al., 2017). Cela constitue une condition essentielles à l'instauration d'une « égalité des chances » si chère aux tenants du principe de justice égalitariste (Rawls, 1971; Martens, 2016).

Deux types d'analyse sont ici présentés en lien avec l'approche égalitariste. La première fait état du portrait agrégé de la répartition de l'accessibilité à l'ensemble des opportunités et ce, aux trois échelles (locale, régionale, offre de transport collectif), ce qui permet d'évaluer de manière générale si le principe d'équité compensatoire est respecté. Cela passe par une analyse comparative entre les divers segments de l'échelle de vulnérabilité. Le deuxième type d'analyse, plus exhaustif, mise sur la définition de typologies d'accessibilité, permettant une compréhension plus fine des enjeux et des solutions potentielles selon le contexte géographique, tout en offrant un éclairage intéressant sur la répartition géographique de la vulnérabilité sociale en transport au sein d'un territoire. Cette deuxième analyse, dite par typologie, s'intéresse davantage à l'accessibilité relative des individus.

3.5.2.1 Analyse comparative des niveaux moyens d'accessibilité

Ce premier volet du diagnostic égalitariste d'équité vise à permettre une compréhension rapide et synthétique de la répartition de l'accessibilité entre les individus selon leur niveau de vulnérabilité. La méthode consiste à regrouper ceux-ci selon leur pointage de vulnérabilité, puis à déterminer le nombre moyen d'opportunités accessibles dans chaque catégorie pour divers intervalles de temps. Le recours à un formatage conditionnel dans *Excel* permet alors d'attester de manière visuelle si la répartition favorise les segments les plus vulnérables, ce qui représenterait une situation équitable en vertu du principe de différence (Rawls, 1971) et de celui de visée prioritaire (Parfit, 1997). Cette analyse ne vise qu'à témoigner du niveau général de l'équité d'accessibilité aux opportunités et à l'offre de transport collectif, n'offrant qu'un niveau de résolution très faible sur les zones propices à l'apparition du phénomène de pauvreté d'accessibilité.

3.5.2.2 Typologies d'accessibilité multiniveaux

Ce deuxième type d'analyse de style égalitariste s'intéresse aux niveaux relatifs d'accessibilité des individus selon les trois volets d'accessibilité couverts, à savoir les opportunités locales accessibles à pied, les opportunités régionales accessibles via le transport collectif ainsi que la qualité de l'offre de transport collectif (voir section 3.3). Selon qu'une personne dispose d'un bon ou d'un mauvais niveau d'accessibilité relativement à ces trois volets, elle se voit attribuer une typologie spatiale traduisant les conditions d'accessibilité propres à son voisinage. Le fait que chacun des trois volets d'accessibilité fasse intervenir des solutions de registres différents facilite alors l'identification de pistes d'intervention spécifiques à chaque typologie d'accessibilité. Dans une optique de justice, il s'avère alors pertinent d'orienter les améliorations vers les secteurs les plus vulnérables d'un point de vue de la mobilité afin de réduire les diverses conséquences liées à une accessibilité défaillante.

3.5.2.2.1 Calcul des scores Z d'accessibilité

La première étape menant à l'analyse par typologie consiste à quantifier le niveau d'accessibilité de chaque individu de manière relative, c'est-à-dire par rapport à l'ensemble de la population. Cela passe par le calcul d'un score Z sur la base des diverses mesures d'accessibilité calculées (voir 3.3). Un score Z traduit la position relative d'une observation par rapport à un ensemble. Il s'agit d'une mesure fréquemment employée dans le cadre d'analyses d'accessibilité (Boisjoly et El-Geneidy, 2016; Manaugh et El-Geneidy, 2011; Mercado, Paez, Farber, Roorda et Morency, 2012). Cet

indicateur repose sur la moyenne (μ) et l'écart-type (σ) d'une distribution, comment en témoigne l'équation 9, où x_i représente la valeur d'une observation et z_i le score Z correspondant.

$$z_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \qquad (9)$$

Ainsi, pour chacune des opportunités locales (sept au total), régionales (dix au total) et mesures relatives à l'offre de transport (trois indicateurs), un score Z est calculé, traduisant alors le niveau d'accessibilité d'un individu précis à un type d'opportunité particulier. Une agrégation est ensuite menée pour les trois volets de mesures, de sorte à obtenir un score Z cumulatif pour l'accessibilité locale (Z_{loc}), l'accessibilité régionale (Z_{reg}) ainsi que l'exposition à l'offre de transport en commun (Z_{TC}). Un enjeu notable intervient à ce stade, puisqu'il n'est pas souhaitable qu'un niveau adéquat d'accessibilité à un type d'opportunité ne vienne « compenser » un mauvais niveau d'accessibilité à un autre type d'opportunité au sein d'un même volet. Pour éviter cette situation, l'ensemble des scores Z initiaux dont le signe était positif furent mis à zéro avant l'agrégation à l'échelle du volet, tandis que les scores Z de signe négatif sont demeurés tels quels. Il faut garder à l'esprit l'objectif poursuivi, qui est d'identifier les individus les moins avantagés d'un point de vue de l'accessibilité. En ce sens, la neutralisation des valeurs positives n'a pas d'impact sur la priorisation subséquente, puisque ce sont les scores Z très négatifs qu'il importe d'isoler dans cette perspective.

3.5.2.2.2 Définition des typologies d'accessibilité

À l'issue de la première étape, chaque individu est associé à trois scores Z d'accessibilité, soit un pour chacune des trois échelles de mesures. La deuxième étape consiste alors à créer les typologies d'accessibilité sur la prémisse qu'il existe un bon et un mauvais niveau d'accès pour chacun des trois volets. Cette hypothèse binaire résulte en l'instauration de huit typologies uniques en termes de contexte d'accessibilité spatiale. Le Tableau 3.6 traduit la création de ces typologies spatiales.

Tableau 3.6 - Définition des typologies d'accessibilité.

Typologie	Accessibilité		
	Locale	Régionale	Offre TC
1	✗	✗	✗
2	✗	✗	✓
3	✗	✓	✗
4	✗	✓	✓
5	✓	✗	✗
6	✓	✗	✓
7	✓	✓	✗
8	✓	✓	✓

En ce sens, la typologie #1 traduit un environnement urbain fournissant de mauvaises perspectives d'accessibilité relative et ce, tant au niveau local, régional que de l'offre de transport collectif. À l'inverse, les individus demeurant au sein de la typologie #8 jouissent d'un niveau relativement supérieur d'accès aux opportunités locales et régionales de même qu'à l'offre de transport en commun. Quant aux typologies #2 à #7, elles témoignent d'environnements urbains chez lesquels les niveaux d'accessibilité sont variables, étant supérieurs pour au moins un volet et inférieurs pour au moins un autre. En fonction du score Z cumulatif obtenu pour les trois échelles d'accessibilité, chaque individu se voit attribuer une typologie particulière selon qu'il dispose d'un bon ou d'un mauvais niveau d'accessibilité. Dans le Tableau 3.7, à titre d'exemple, des seuils arbitraires sont fixés pour chaque volet, et les individus sont triés selon qu'ils aient un bon (en vert) ou un mauvais (en rouge) niveau d'accessibilité. Une question reste cependant en suspens : qu'est-ce qui constitue un « bon » ou un « mauvais » niveau d'accessibilité? Puisque la distinction est effectuée sur des mesures d'accessibilité en soi relatives, il fut décidé de fixer un seuil discriminant.

Tableau 3.7 - Exemple d'assignation d'une typologie aux individus.

Individu	Z_{loc}	Z_{reg}	Z_{TC}	Typologie
#1	-10	-2	-3	4
#2	-1	0	0	8
#3	-5	-9	-7	5
#4	-12	-11	-13	1

3.5.2.2.3 Fixation d'un seuil percentile discriminant

Pour distinguer un bon niveau d'accessibilité d'un mauvais en vertu de cette approche, il est requis de fixer un seuil percentile par rapport à la distribution. Diverses valeurs ont été testées à cet égard. Une fonction a été programmée en SQL (*assignation_typologies*) pour voir à quelle typologie serait assigné un individu si le seuil était fixé à un certain percentile. La boucle s'applique simultanément aux trois volets (Z_{loc}, Z_{reg}, Z_{TC}) et ce, du 5e percentile jusqu'au 100e, par bonds de cinq unités. Cela résulte en une vingtaine de scénarios pour lesquels la répartition des individus entre les huit typologies affiche de très grandes variations. Par exemple, lorsque le seuil est fixé au 5e percentile, presque tous les individus se retrouvent dans la typologie #8 (la meilleure), alors qu'à l'inverse, lorsque le seuil atteint le 100e percentile, la totalité de la population se trouve dans la typologie #1 (la pire). L'objectif est de définir un seuil en vertu duquel chacune des huit typologies cumulerait un certain nombre d'observations, et autour duquel les variations entre les typologies seraient minimisées, c'est-à-dire qu'un nombre restreint de personnes changeraient de typologie par suite d'une modification du seuil percentile (selon des écarts de cinq unités).

Pour répondre à ce besoin, une fonction supplémentaire a été programmée en SQL, laquelle vise à identifier l'intensité de la variation entre deux seuils percentiles consécutifs. De façon synthétique, il s'agit d'établir, pour chaque seuil (du 5e au 100e percentile), le poids (en pourcentage) de chaque typologie au sein de la population totale. Sur cette base, il devient possible d'établir la variation du poids des typologies entre deux seuils consécutifs (par exemple, le 20e et le 25e) sous forme de valeur absolue. La somme de la variabilité sur l'ensemble des huit typologies fournit alors un proxy de l'intensité de la variation entre typologies, que l'on cherche ici à minimiser. Selon la distribution de ces variations du 5e au 100e percentile (Figure 3.10), cette variation serait minimale entre les 40e et 50e percentiles. Finalement, il fut décidé de fixer le seuil discriminant au 45e percentile.

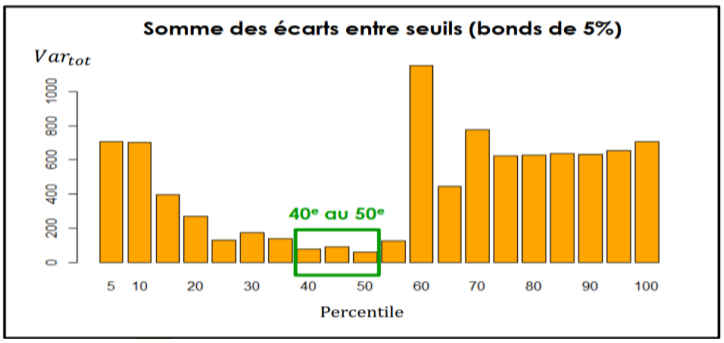


Figure 3.10 - Variations cumulées entre les seuils.

3.5.2.2.4 Carte de chaleur des segments de population vulnérables

Les trois étapes précédentes suffisent à répartir les individus entre les huit typologies d'accessibilité spatiale. Il importe ici de garder à l'esprit que dans une approche de diagnostic de l'équité, il s'avère surtout important de venir en aide aux individus éprouvant une forte vulnérabilité sociale souffrant d'un déficit d'accessibilité. Il s'agit d'ailleurs d'une façon pertinente de prioriser certaines zones au sein de chaque typologie plutôt que de chercher à améliorer les perspectives d'accessibilité pour tous les individus, sachant que les populations non vulnérables sont moins négativement impactées par une accessibilité déficiente. La technique employée pour intégrer le principe de visée prioritaire (Parfit, 1997) est celle des cartes de chaleur, qui ne requiert que peu de manipulations dans QGIS et facilite l'identification de pôles connaissant un déficit d'accessibilité chez lesquels se retrouvent des concentrations d'individus vulnérables. Il s'agit ici, pour chaque typologie, d'appliquer un filtre pour ne sélectionner que les individus vulnérables, essentiellement ceux qui combinent au moins quatre facteurs de risque, puis de traduire le tout en carte de chaleur. Dans bien des cas, il s'avère que ces populations vulnérables sont concentrées en quelques lieux précis. Cette technique permet donc d'identifier les secteurs au sein desquels des interventions au chapitre de l'accessibilité sont les plus susceptibles de se traduire par une diminution du risque de pauvreté d'accessibilité, associé au phénomène d'exclusion sociale par le transport (SEU, 2003).

3.5.3 Diagnostic sufficientariste

Alors que le volet égalitariste se penche sur la défavorisation relative, le diagnostic sufficientariste adopte une approche plus absolutiste, s'intéressant à la quantité précise d'opportunités auxquelles ont accès les individus. Cette évaluation est notamment réalisée à la lumière de seuils de suffisance que tous les individus devraient pouvoir atteindre afin de jouir de perspectives intéressantes (Meyer et Roser, 2009). Dans un angle d'accessibilité locale et en transport collectif, l'atteinte des seuils minimaux d'accessibilité aux opportunités importe avant tout pour les personnes vulnérables disposant d'un accès restreint voire nul à la voiture et/ou de ressources financières limitées, comme en témoigne la littérature sur l'équité sociale en transport (Schwanen et al, 2008; Cornut and Madre, 2017; Lucas et al., 2018). Cette perspective fait écho au principe du *maximin* (Rawls, 1971), selon lequel il importe de chercher à offrir les meilleures conditions possibles (*maxi*) aux populations les plus défavorisées (*min*). L'analyse se fera pour l'ensemble des opportunités retenues (section 3.4.1) dans un premier temps, puis de façon globale pour chacune des trois échelles d'accessibilité.

3.5.3.1 Définition des seuils de suffisance

La principale difficulté relative à l'application de l'approche sufficientariste tient à la nécessité de définir un seuil de suffisance idéalement objectif, aucun seuil neutre ne pouvant être identifié dans la littérature en ce qui a trait à l'accessibilité (Pereira et al., 2017). Puisque la conséquence d'un niveau d'accessibilité sous le soi-disant seuil consiste en un accroissement du risque d'exclusion sociale dérivé d'une participation sociale réduite (Martens et Bastiaanssen, 2015; Van Wee et Geurs, 2011), la meilleure façon d'établir un seuil de suffisance consisterait à identifier un point de rupture dans la courbe associant le niveau d'accessibilité d'une population et le taux de participation aux activités des individus (Martens, 2016). Or, cette relation est difficilement quantifiable et l'ensemble des autres méthodes proposées relèvent de près ou de loin d'une approche relative, le seuil étant souvent fixé en fonction des niveaux observés chez une population. Pour cette raison, il fut décidé de définir ici des seuils reposant sur le jugement de l'auteur quant à savoir ce qui constituerait selon lui un seuil minimal acceptable d'accessibilité. Ce faisant, il est important d'interpréter les résultats avec grande retenue, puisque le but n'est pas ici d'établir le diagnostic de l'accessibilité de la région de Montréal, mais plutôt de faire la démonstration d'une méthode potentielle visant à diagnostiquer le niveau d'équité de l'accessibilité aux opportunités via la marche et le transport collectif.

Pour chaque opportunité, il s'agit donc de définir un pointage de pauvreté d'accessibilité, fonction du niveau d'accès propre à chaque individu. Dans cette optique, une distinction fut établie entre un accès nul et un accès limité aux opportunités, cela afin d'intégrer une composante de diversité dans l'établissement du pointage de déficit d'accessibilité. Ainsi, pour chaque type d'opportunité, il est possible d'obtenir un pointage de « pauvreté » de 0, 1 ou 2 point(s), traduisant respectivement des niveaux nuls, strictement minimaux ou acceptables d'accessibilité. Cela renvoie à l'importance de la diversité des alternatives, tel qu'étudié précédemment pour les options de trajet ou relativement à l'accès aux supermarchés (Apparicio, Cloutier et Shearmur, 2007; Frappier, 2015). Les nombres nécessaires pour atteindre les divers seuils d'accessibilité relèvent d'une décision arbitraire, tout comme les seuils de temps appliqués de façon différenciée selon le type d'opportunité. Par ailleurs, pour certaines opportunités telles que les superficies de parcs (en hectares) ou encore le nombre d'emplois selon une certaine distance, la quantité minimale à atteindre fut dérivée directement de la distribution de l'accessibilité observée au sein de la population de l'agglomération montréalaise. Les Tableau 3., 3.10 et 3.11 font état des seuils liés aux pointages de pauvreté d'accessibilité.

Tableau 3.8 - Seuils pour les opportunités locales.

Opportunités locales	Temps	Nombre	Points
Supermarché	20	0	2
		1	1
		2	0
Pharmacie	20	0	2
		1	1
		2	0
Magasin du dollar	20	0	2
		1	0
Tous parcs (hectares)	15	< 5.7	2
		< 8.3	1
		>= 8.3	0
Emplois (SR)	20	< 1750	2
		< 2850	1
		>= 2850	0
Garderie/CPE	10	0	2
		1	1
		2	0
École primaire	10	0	2
		1	0
École secondaire	20	0	2
		1	0

Tableau 3.9 - Seuils pour l'offre de transport.

Exposition à l'offre TC	Temps	Nombre	Points
Accès aux arrêts	5	< 3	2
	10	< 18	1
		> 18	0
Intensité de service (passages-ligne)	5	< 100	2
	10	< 345	1
		> 345	0
Disponibilité du service (heures cumulées)	5	< 8.2	2
	10	< 17.1	1
		> 17.1	0

Tableau 3.10 - Seuils pour les opportunités régionales.

Opportunités régionales	Temps	Nombre	Points
Friperie (vêtements)	30	0	2
		1	0
Bibliothèque municipale	30	0	2
		1	0
Musée	45	0	2
		1	1
		2	0
Grand parc	45	0	2
		1	1
		2	0
Emplois (SR)	45	< 52 165	2
		< 91 477	1
		>= 91 477	0
Formation professionnelle	45	0	2
		1	1
		3	0
CÉGEP	45	0	2
		1	1
		2	0
Université	60	0	2
		1	1
		2	0
CLSC	30	0	2
		1	0
Hôpital	30	0	2
		1	0

Par exemple, une personne ne disposant d'aucun supermarché à vingt minutes de marche se verrait attribuer deux points de pauvreté d'accessibilité. Advenant que son voisinage compterait un seul supermarché, un point de pauvreté serait attribué, étant donnée l'absence de diversité. Cependant, dès lors qu'un individu dispose de deux supermarchés ou plus à distance de marche, le pointage de pauvreté d'accessibilité devient nul, la personne ayant accès à un minimum de variété. Ces seuils doubles visant à tenir compte de la diversité ne s'appliquent cependant pas à toutes les opportunités, la présence d'une seule occurrence ayant été jugée suffisante pour certaines catégories, notamment en ce qui concerne les hôpitaux, CLSC et écoles, censés offrir un niveau équivalent de services. La décision de considérer ou non la diversité des alternatives selon le cas relève d'un choix arbitraire.

3.5.3.2 Trilogies de cartes sufficientaristes

Pour témoigner de façon adéquate du processus de segmentation des individus selon leur score de pauvreté d'accessibilité, mais aussi de l'identification de pôles combinant à la fois une vulnérabilité sociale et un déficit d'accès aux services (principe du *maximin*), une méthode reposant sur l'usage combiné de trois cartes est proposée dans le cadre de ce mémoire. Une première carte traduit tout simplement la quantité brute d'opportunités, une deuxième traite de la pauvreté d'accessibilité à la lumière de seuils définis préalablement et une troisième carte vise à identifier les zones prioritaires d'intervention par l'entremise d'une carte de chaleur. Cette dernière traduit des concentrations de populations vulnérables en des endroits caractérisés par un déficit d'accessibilité aux opportunités.

3.5.3.2.1 Quantité brute d'opportunités

La première carte de la trilogie ne fait que traduire le nombre d'opportunités accessibles en fonction du seuil de temps défini pour chaque type d'opportunité. L'échelle numérique employée à des fins de discrétisation met l'accent sur les niveaux d'accessibilité les plus bas, pour traduire l'importance des premiers gains d'accessibilité (Martens et Bastiaanssen, 2019). Un code de couleur spécifique est employé, soit le style « magma », en vertu duquel les seuils inférieurs sont associés à la couleur noire, les niveaux intermédiaires à des teintes rouge et orange et les niveaux supérieurs à du jaune. Cette palette faisait bien ressortir l'intensité du nombre d'opportunités accessibles, avec les teintes vives associées à une présence plus prononcée du phénomène. Il est cependant évident que le choix des couleurs a une incidence sur l'interprétation faite des cartes, tout comme d'autres facteurs qui peuvent affecter les constats qu'en retireront les lecteurs (Monmonier, 1997).

3.5.3.2.2 Pointage de pauvreté d'accessibilité

La deuxième carte traduit le pointage de pauvreté d'accessibilité de chaque individu selon le seuil défini au préalable (fixé ici de manière arbitraire). Pour ce faire, un code de couleur très simple fut employé, soit la suite « rouge-jaune-vert », jugée intuitive pour aborder la notion de déficit d'accès. Ainsi, la couleur rouge traduit une accessibilité nulle (ou très faible) à un type d'opportunité, étant associée à deux points de déficit. La couleur jaune traduit plutôt un niveau d'accessibilité minimal, qui gagnerait tout de même à être bonifié, auquel est associé un point de « pauvreté » d'accès. Cette valeur intermédiaire ne s'applique pas à l'ensemble des opportunités. Pour conclure, la teinte verte fait écho à un niveau suffisant d'accessibilité, reflétant un pointage nul de déficit d'accessibilité.

3.5.3.2.3 Carte de chaleur : pauvreté d'accès et vulnérabilité

La troisième et dernière figure de la trilogie consiste en une carte de chaleur visant à identifier des « points chauds », traduisant des concentrations de populations vulnérables d'un point de vue de la mobilité dont les niveaux d'accessibilité à un type d'opportunité sont déficitaires. Il s'agit donc des secteurs les plus susceptibles de ressentir les conséquences de cette pauvreté d'accessibilité. Une variable est introduite afin de refléter cette situation. Il s'agit du produit mathématique du pointage de pauvreté d'accès avec le score de vulnérabilité individuel et le facteur d'expansion compris au sein de l'Enquête Origine-Destination. Cette variable est ensuite choisie dans QGIS pour opérer la discrétisation, menant à l'identification de pôles d'intervention prioritaires avec la carte de chaleur.

3.5.3.3 Pauvreté d'accessibilité globale

Il est certes pertinent d'effectuer une analyse de pauvreté d'accessibilité pour chaque opportunité de manière indépendante, mais il peut aussi être intéressant d'effectuer cette analyse à une échelle supérieure en combinant divers types d'opportunités. Le pointage de pauvreté d'accessibilité ainsi obtenu est alors plus englobant, traduisant par le biais d'une seule valeur la qualité de l'accessibilité potentielle d'un individu. En ce sens, trois indices de pauvreté d'accès ont été calculés pour chaque personne contenue au sein du territoire d'étude, soit un pour l'accessibilité locale, un second pour l'accessibilité régionale (via le transport collectif) et un troisième relatif à la qualité de l'exposition aux services de transport en commun. La méthode ne consiste qu'à cumuler les scores de pauvreté d'accessibilité aux opportunités et ce, pour chacun des trois volets de mesures.

À la suite de l'obtention d'un pointage de pauvreté d'accessibilité pour les trois volets, la prochaine étape fut de combiner ces trois indicateurs pour créer un pointage global de pauvreté d'accessibilité. Il devient dès lors possible d'appréhender, par l'entremise d'une seule carte, quels quartiers offrent à leurs habitants une accessibilité parfaite ou, à l'inverse, témoignent de contraintes d'accessibilité à divers types d'opportunités, se reflétant par un pointage de « pauvreté » d'accès plus élevé. Cet indicateur renferme un potentiel certain, traduisant simultanément le niveau d'accessibilité locale, l'accessibilité régionale à partir du domicile de même que la qualité de la desserte de transport en commun qu'on y retrouve.

CHAPITRE 4 RÉSULTATS

Avant de procéder à la présentation des résultats, il importe tout d'abord de spécifier que le but de ce mémoire n'est pas d'effectuer le diagnostic de l'équité du transport collectif de l'agglomération de Montréal, mais bien de développer un cadre d'analyse conceptuellement rigoureux pour traiter de l'équité du transport collectif. En ce sens, les résultats présentés dans cette section ne servent qu'à illustrer le potentiel de la méthode dans le but d'en tester la viabilité. Par ailleurs, la présence de limites et hypothèses variées invite le lecteur à user de précaution à la vue des résultats, qui sont dépendants des choix effectués lors du développement de l'approche.

4.1 Échelle de vulnérabilité en transport

Avant d'explorer plus en profondeur l'idée d'une échelle de vulnérabilité, un test de corrélation a été effectué à l'échelle individuelle selon les attributs retenus (voir section 3.5.1) afin d'investiguer la présence de corrélations entre ceux-ci. Les résultats de ce test (Figure 4.1) révèlent la présence de corrélations faibles entre une majorité de variables, à l'exception de la relation entre l'accès à une automobile (*sans auto*) et le fait d'être âgé de moins de 16 ans (*age<16*), qui atteint une valeur de 0,51. Puisqu'un individu de moins de 16 ans ne peut techniquement pas conduire de voiture, il serait sensé que la corrélation atteigne une valeur de 1, ce qui n'est cependant pas le cas, puisque le calcul considère l'ensemble de la population, dont des individus de plus de 16 ans sans accès à la voiture. La présence de cette corrélation n'empêche cependant pas le maintien des deux variables dans la constitution de l'échelle de vulnérabilité sociale en transport (résultat d'un choix arbitraire).

	femme	*age<16*	*age>65*	*parent*	*monopar*	*sans auto*	*faible rev.*
femme	1,00						
age<16	-0,03	1,00					
age>65	0,04	-0,20	1,00				
parent	0,01	-0,24	-0,22	1,00			
monopar	0,06	-0,04	-0,04	0,18	1,00		
sans auto	0,09	**0,51**	-0,02	-0,26	-0,01	1,00	
faible rev.	0,02	0,00	0,07	0,00	0,03	0,16	1,00

Figure 4.1 - Corrélation entre les attributs relatifs à l'échelle de vulnérabilité.

En vertu de cette échelle, une claire majorité d'individus n'affiche qu'une vulnérabilité faible voire nulle en matière de mobilité. En effet, plus des deux tiers (67,4%) de la population (pondérée en fonction de la variable *facper11* de l'EOD13) est comptabilisée parmi les segments V1, V2 ou V3, les plus bas en matière de vulnérabilité sociale en transport (Tableau 4.1). À l'inverse, seule une

part restreinte des individus (8,4%) peut être considérée comme hautement vulnérable, en retenant les segments V5, V6 et V7 de l'échelle. Ceux-ci cumulent au-dessus de trois points de vulnérabilité, soit au minimum quatre facteurs de risque simultanément. Comme en fait foi le Tableau 4.1, divers facteurs sont prédominants au sein de ces trois segments. Ainsi, les femmes (94% à 100%) vivant dans un ménage à faible revenu (84% à 100%) sans accès à une voiture (77% à 99%) représentent une proportion importante de ce groupe de population. Les parents (43% à 100%) sont également bien représentés chez ces segments, notamment les ménages monoparentaux, surtout au sommet de l'échelle (segments V6 et V7). À noter que le total de la population est moindre par rapport à la population réelle de l'agglomération de Montréal, étant donné que les individus dont au moins un déplacement comporte une extrémité hors du territoire de l'EOD13 ont été retirés de l'échantillon. Bien que cela simplifie le diagnostic des portraits de mobilité (voir 4.1.2), cela demeure une limite.

Tableau 4.1 - Segments de vulnérabilité et prépondérance des attributs constituants.

Segment de vulnérabilité	Pointage de défavorisation	Population	% du total	Femme	<16 ans	>65 ans	Parent	Monopar-entalité	Sans auto	Faible revenu
V1	0 point	138 598	7,83	0%	0%	0%	0%	0,0%	0%	0%
V2	]0,1] point	433 895	24,52	27%	0%	9%	10%	0,0%	23%	5%
V3	]1,2] points	620 750	35,07	50%	17%	13%	21%	0,6%	47%	16%
V4	]2,3] points	428 522	24,21	77%	36%	18%	30%	2,9%	64%	41%
V5	]3,4] points	126 170	7,13	94%	35%	23%	43%	8,2%	77%	84%
V6	]4,5] points	19 868	1,12	99%	0%	6%	100%	34,4%	90%	94%
V7	]5,6] points	2 007	0,11	100%	0%	13%	100%	89,1%	99%	100%
Total	-	1 769 810	100,00%	51%	17%	13%	21%	2,0%	44%	24%

Une évolution de certains attributs peut être observée en progressant sur l'échelle de vulnérabilité (Figure 4.2). Une analyse a été menée en retirant tour à tour chaque attribut du score pour étudier comment celui-ci se comporte face aux autres facteurs. À la lumière de cette expérience, la part de femmes tend à croître lorsque le pointage de vulnérabilité augmente, ce qui semble corroborer le fait que le statut de femme soit associé à une plus grande vulnérabilité. La part d'individus vivant dans un ménage à faible revenu et la proportion de parents monoparentaux indique une tendance similaire. Quant à l'accès nul à la voiture, aucune progression notable n'est constatée, la proportion d'individus ne disposant d'aucun accès régulier à ce mode demeurant près de la moyenne (44%) pour plusieurs segments de l'échelle de vulnérabilité. Ce constat peut laisser penser à l'existence du phénomène de motorisation contrainte (Mattioli, 2014) chez certains individus vulnérables, qui n'ont parfois d'autre choix que de posséder une voiture pour mener à bien les tâches quotidiennes. Cette hypothèse nécessiterait cependant de plus amples analyses visant à s'assurer qu'il s'agit bien de motorisation contrainte et non pas d'un autre phénomène induisant des résultats similaires.

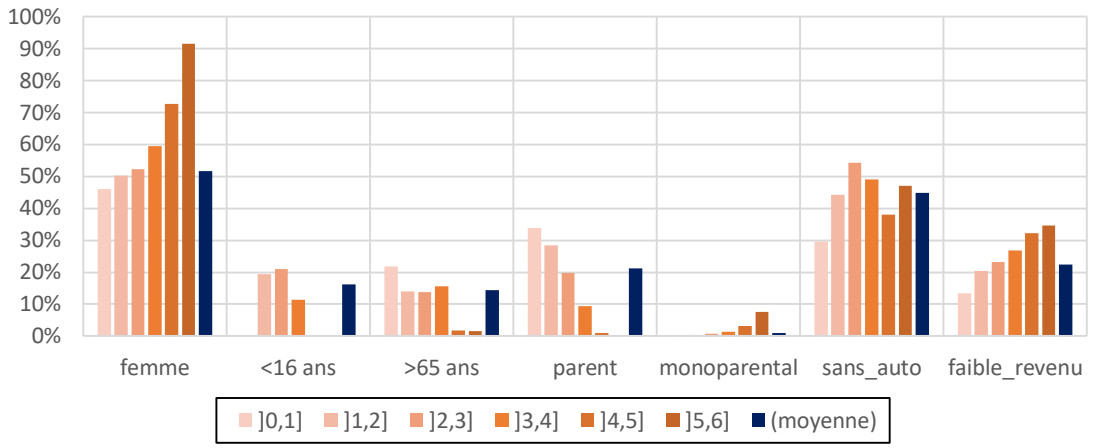


Figure 4.2 - Progression des attributs le long de l'échelle de vulnérabilité.

Pour l'ensemble des analyses subséquentes, deux groupes de population ont été extraits de l'échelle de vulnérabilité et seront fréquemment mis en opposition. Cette segmentation repose sur un choix arbitraire d'isoler les groupes en fonction du nombre de facteurs de vulnérabilité cumulés. D'une part, on retrouve une population de référence caractérisée par une vulnérabilité faible se composant des segments V1-V2-V3 de l'échelle (67,4 % de la population) alors que, d'autre part, la population dite « vulnérable » se compose plutôt des segments V5-V6-V7 (8,4% de la population). C'est cette dernière qui, en vertu de la littérature sur l'équité en transport, est davantage à risque d'exclusion sociale lorsque les niveaux d'accessibilité sont défaillants. La Figure 4.3 résume la distinction entre les segments peu et hautement vulnérables.

Figure 4.3 - Population de référence (V1-V2-V3) et population vulnérable (V5-V6-V7).

Il importe de faire mention de la variabilité du facteur de pondération de l'EOD selon les segments de vulnérabilité (Tableau 4.2), puisque cela est susceptible d'influencer l'ensemble du diagnostic. De manière générale, les pointages intermédiaires de vulnérabilité sont associés à des facteurs de pondération moindres que dans les extrémités de l'échelle (segments V1, V6 et V7). Cela traduit

potentiellement un sous-échantillonnage des individus les plus vulnérables, chez qui un facteur de pondération plus grand doit être appliqué pour reconstituer la population de référence dans l'EOD. Cette réalité devra être prise en compte lors des analyses, lesquelles font appel à ces facteurs pour identifier divers secteurs prioritaires d'intervention. Les facteurs maximaux (Tableau 4.2) sont de portée très variable, mais sont généralement élevés, tirant la moyenne vers le haut. Celle-ci est plus élevée que le facteur de pondération médian pour tous les segments de population (Figure 4.4).

Tableau 4.2 - Valeurs moyennes du facteur de pondération selon le niveau de vulnérabilité.

Vulnérabilité	Moyenne	Minimum	25e percentile	Médiane	75e percentile	Maximum
V1	25,1	3,9	16,4	23,1	30,3	105,6
V2	23,4	3,3	15,7	21,2	28,5	150,9
V3	22,7	1,7	15,6	20,9	27,6	121,3
V4	22,4	1,7	16,1	21,0	27,0	135,5
V5	22,7	3,1	16,8	21,9	27,7	138,0
V6	24,1	2,2	17,7	23,3	29,3	67,4
V7	25,7	8,7	19,5	24,3	30,9	91,2

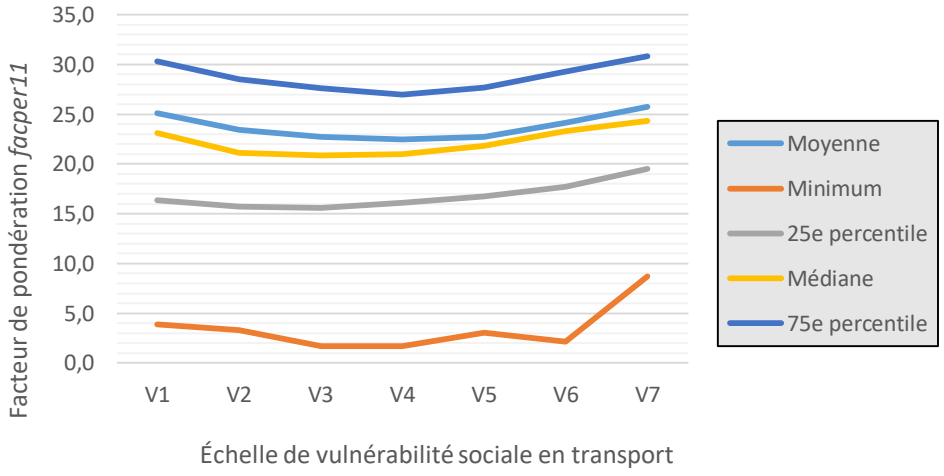


Figure 4.4 - Variabilité du facteur de pondération selon le segment de vulnérabilité.

4.1.1 Distribution spatiale de la vulnérabilité en transport

La vulnérabilité sociale en transport n'est pas répartie de manière uniforme sur le territoire couvert par la présente analyse. Les individus peu vulnérables (V1-V2-V3, Figure 4.5) sont concentrés dans les environs du centre-ville ainsi que dans la portion ouest de l'agglomération, tandis que les segments vulnérables (V5-V6-V7, Figure 4.6) sont plutôt représentés dans le nord-est, le centre et le sud-ouest de l'île, avec quelques autres poches de défavorisation sociale présentes ailleurs.

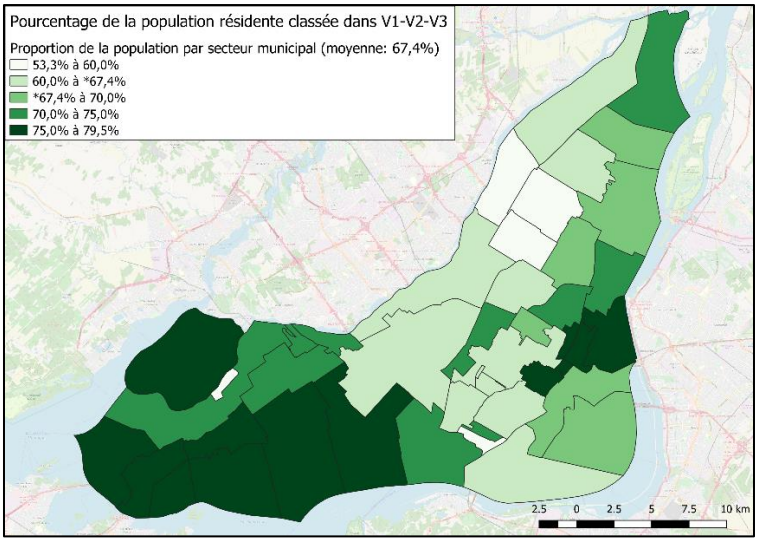


Figure 4.5 - Concentration de la population de référence (V1-V2-V3) par secteur municipal.

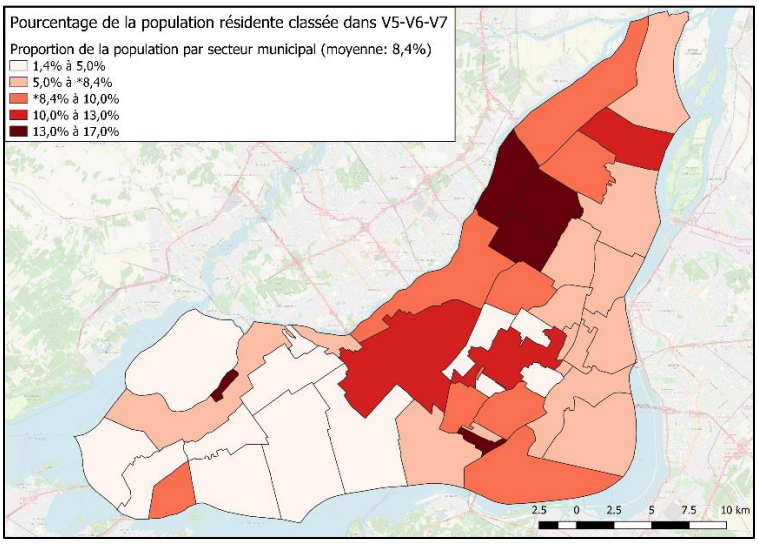


Figure 4.6 - Concentration de la population vulnérable (V5-V6-V7) par secteur municipal.

La façon de traiter visuellement la vulnérabilité sociale en transport a une incidence sur les constats qu'on retire de l'analyse. En ce sens, la représenter sous forme de proportion de la population d'un secteur plutôt qu'en valeur absolue (Figure 4.5 et 4.6) peut laisser croire que les populations vulnérables sont plutôt absentes des quartiers centraux fortement peuplés. Une représentation par carte de chaleur permet cependant de traduire la présence de concentrations d'individus vulnérables (V5-V6-V7) même au sein de ces quartiers, qui sont caractérisés par une forte densité de population et une mixité sociale prononcée (Figure 4.7). Cela confirme l'importance de recourir à différentes formes de visualisation afin de bien cerner le phénomène de la vulnérabilité sociale en transport.

L'utilisation de cartes de chaleur appelle cependant à la prudence, étant donné que les facteurs de pondération individuels de l'EOD sont mis à profit et que ces derniers sont calculés au niveau du secteur municipal, à une échelle agrégée. Cela induit un léger biais quant à la précision de l'analyse.

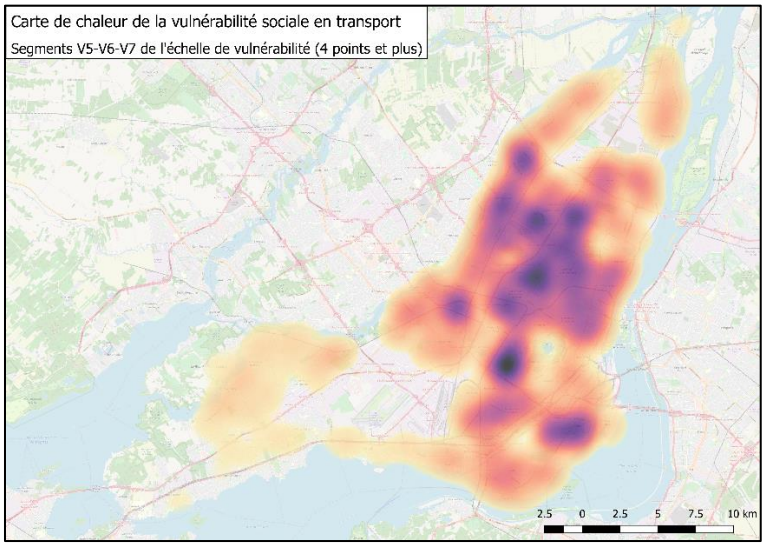
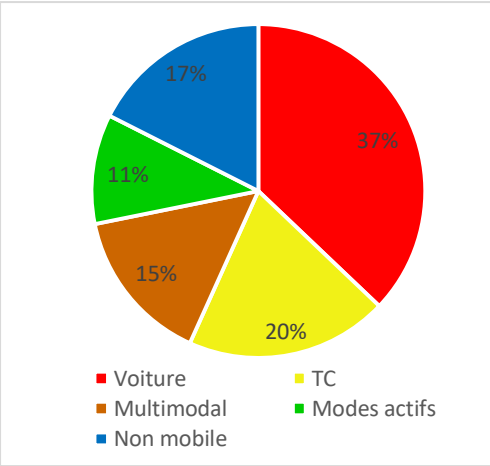
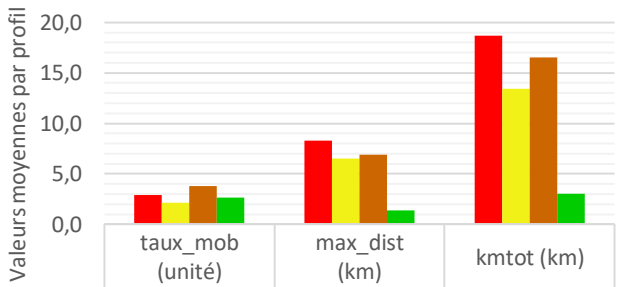


Figure 4.7 - Concentrations spatiales de populations vulnérables (V5-V6-V7).

4.1.2 Profils de mobilité des segments de population

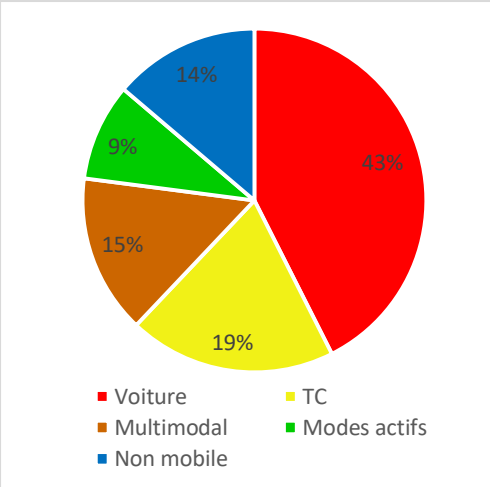
Outre une distribution spatiale fortement variable (voir la section 4.1.1), les segments de population de référence et vulnérables se distinguent également au chapitre des habitudes de mobilité. En effet, bien que les profils de mobilité de la population de référence (V1 à V3, Figure 4.9) soient proches de ceux de l'ensemble de la population (Figure 4.8), le portrait change pour les individus perçus comme vulnérables (V5 à V7, Figure 4.10). Ceux-ci ne sont que 19% à recourir à une automobile (soit en tant que conducteur ou que passager) pour effectuer la totalité de leurs déplacements, alors que c'est le cas de 43% des individus compris au sein de la population de référence (V1 à V3) et de 37% de la population totale. Le fait qu'un cinquième des individus vulnérables ait recours à ce mode de transport justifierait en ce sens des analyses plus approfondies, ces derniers jouissant d'un accès limité à l'automobile en vertu des attributs employés pour définir l'échelle. Cela permettrait d'identifier s'il est question de motorisation contrainte (Mattioli, 2014) ou de raccompagnements effectués par des proches, une forme de mobilité répandue chez les individus vulnérables (Stanley et Lucas, 2008). Dans un autre ordre d'idées, il est possible de constater que le transport collectif n'attire pas beaucoup plus d'usagers vulnérables que chez les autres groupes de population, toutes proportions gardées, ce qui semble contredire la croyance populaire selon laquelle ceux-ci auraient

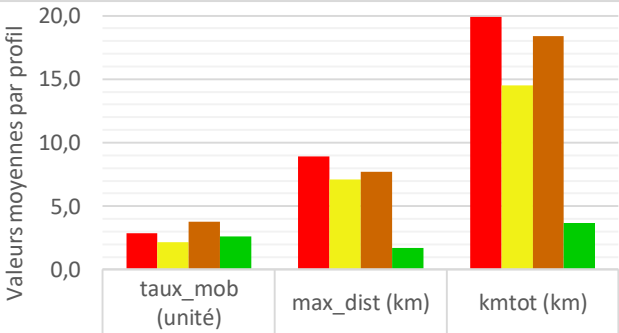




	taux_mob (unité)	max_dist (km)	kmtot (km)
Voiture	2,9	8,3	18,7
TC	2,2	6,5	13,4
Multimodal	3,8	6,9	16,5
Modes actifs	2,6	1,4	3,1

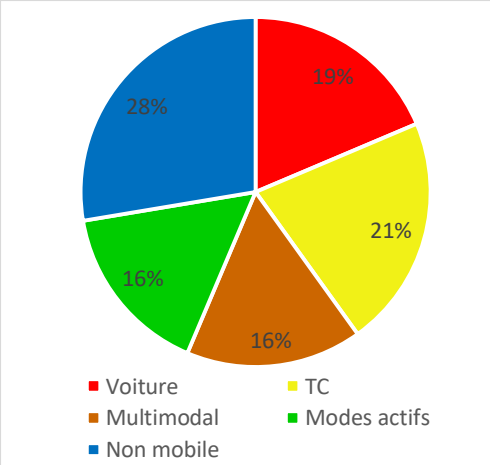
Figure 4.8 - Profils de mobilité pour l'ensemble de la population (V1 à V7; 100% de la population).

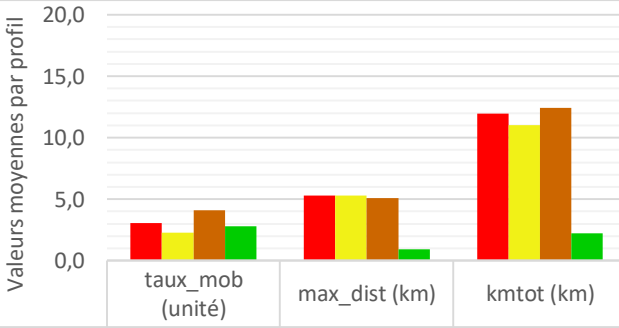




	taux_mob (unité)	max_dist (km)	kmtot (km)
Voiture	2,9	8,9	19,9
TC	2,2	7,1	14,5
Multimodal	3,8	7,7	18,4
Modes actifs	2,6	1,7	3,7

Figure 4.9 - Profils de mobilité de la population de référence (V1-V2-V3; 67,4% de la population).





	taux_mob (unité)	max_dist (km)	kmtot (km)
Voiture	3,1	5,3	12,0
TC	2,3	5,3	11,0
Multimodal	4,1	5,1	12,4
Modes actifs	2,8	0,9	2,2

Figure 4.10 - Profils de mobilité de la population vulnérable (V5-V6-V7; 8,4% de la population).

davantage recours à ce service. Ainsi, l'écart dans l'usage de l'automobile entre les populations de référence (V1-V2-V3) et vulnérable (V5-V6-V7) est plutôt compensé par le recours plus prononcé aux modes actifs chez ce dernier groupe (16% contre 9%), mais surtout par une prévalence accrue de la non mobilité (28% contre 14%) chez les individus vulnérables. Quant à savoir si cela résulte d'une volonté personnelle ou de la présence de contraintes à la mobilité, des analyses subséquentes auprès des populations concernées seraient nécessaires (tout comme des analyses plus segmentées).

L'étude de trois indicateurs de mobilité, à savoir le taux de mobilité moyen (*taux_mob*), la distance euclidienne maximale moyenne à partir du domicile (*dist_max*) et la distance cumulative moyenne parcourue en une journée (*kmtot*, euclidienne) permet une analyse approfondie des profils de mobilité des segments de population (Figure 4.8 à 4.10). Ainsi, bien que les individus vulnérables (V5 à V7) effectuent en moyenne davantage de déplacements, ce qui peut être associé au statut de parent qui en concerne plusieurs, leurs trajets sont généralement plus courts. En effet, tant la distance maximale au domicile (*max_dist*) que la distance quotidienne parcourue (*kmtot*) affichent des valeurs sensiblement plus petites chez les individus vulnérables par rapport à la population totale ou de référence. Ces résultats semblent corroborer les conclusions de certaines études relatives à la mobilité des populations défavorisées (Cornut et Madre, 2017; Di Ciommo et Shiftan, 2017). Par ailleurs, le fait que les distances parcourues soient moindres chez celles-ci nourrit l'argumentaire en faveur des opportunités locales (échelle du voisinage) pour ce segment de population (Lucas et al., 2018; Van Wee et Geurs, 2011; Blumenberg et Ong, 1998; Currie et al., 2009). Bien que pertinentes pour évaluer les implications de l'échelle de vulnérabilité en termes de mobilité, ces quelques analyses restent de portée limitée et mériteraient de plus amples investigations pour mieux comprendre les défis auxquels font face les populations vulnérables.

4.2 Diagnostic égalitariste

4.2.1 Analyse comparative des niveaux moyens d'accessibilité

Cette première analyse, effectuée à un niveau très agrégé, vise à traduire le niveau d'accessibilité moyen selon le niveau de vulnérabilité individuelle et ce, pour les trois échelles de mesure (locale, régionale, offre TC). Deux seuils de distance sont employés pour chacune d'elles afin d'illustrer la variabilité du diagnostic selon le seuil employé. L'objectif de ce type d'analyse est de valider si les segments vulnérables bénéficient d'une accessibilité supérieure via la marche et le transport public,

suivant le principe de visée prioritaire stipulant qu'il importe moralement d'avantager les individus les plus défavorisés (Parfit, 1997; Meyer et Roser, 2009), ce qui prévaut aussi pour l'accessibilité.

4.2.1.1 Accessibilité locale

Les mesures d'accessibilité aux opportunités locales, soit celles accessibles à 75% de la population à l'échelle du quartier (voir section 3.4.3), reposent sur des seuils (arbitraires) de 10 et 20 minutes de marche à partir du domicile. Les Tableau 4.3 et 4.4 témoignent d'une continuité entre les seuils.

Tableau 4.3 - Quantité d'opportunités accessibles à 10 minutes de marche selon la vulnérabilité.

Nombre moyen d'opportunités	10 minutes de marche							
	Emplois	Garderie	Magasin dollar	École (p)	École (s)	Parcs (ha)	Pharmacie	Supermarché
V1	3 084	2,2	0,57	1,7	0,57	7,7	2,0	1,2
V2	3 215	2,4	0,60	1,7	0,63	7,8	2,2	1,3
V3	3 081	2,5	0,63	1,8	0,65	7,7	2,2	1,4
V4	2 938	2,5	0,68	1,8	0,65	7,6	2,1	1,3
V5	2 796	2,6	0,75	2,0	0,65	7,3	2,1	1,3
V6	3 031	2,8	0,84	2,2	0,69	7,3	2,2	1,3
V7	3 034	3,2	1,02	2,3	0,50	7,2	2,3	1,6
Moyenne	3 059	2,5	0,64	1,8	0,64	7,7	2,2	1,3

Tableau 4.4 - Quantité d'opportunités accessibles à 20 minutes de marche selon la vulnérabilité.

Nombre moyen d'opportunités	20 minutes de marche							
	Emplois	Garderie	Magasin dollar	École (p)	École (s)	Parcs (ha)	Pharmacie	Supermarché
V1	12 776	8,1	2,2	5,9	2,2	35,4	7,4	4,7
V2	13 843	8,7	2,3	6,2	2,4	35,8	7,9	5,1
V3	13 725	8,9	2,3	6,4	2,5	35,9	7,8	5,1
V4	12 668	9,0	2,4	6,5	2,5	34,8	7,5	4,9
V5	12 340	9,3	2,6	6,7	2,5	33,9	7,6	4,8
V6	12 423	9,8	2,8	7,0	2,5	33,8	7,7	4,9
V7	11 955	10,8	2,8	7,0	2,7	33,7	7,7	5,5
Moyenne	13 306	8,9	2,4	6,4	2,5	35,4	7,7	5,0

Il est possible de constater, pour les deux échelles, que la répartition spatiale des garderies et CPE, des magasins du dollar ainsi que des écoles primaires et secondaires favorise de manière générale les individus vulnérables, ceux-ci disposant en moyenne d'une quantité plus grande d'opportunités que la population de référence (V1-V2-V3). Le constat est inversé relativement aux parcs de même qu'aux emplois de proximité, dont la répartition avantage plutôt les individus peu vulnérables, bien que les écarts pour ces deux ressources soient relativement restreints entre les groupes d'individus. Quant à la distribution spatiale de pharmacies et de supermarchés, aucune tendance n'émerge, ces ressources étant potentiellement réparties de manière plus uniforme sur le territoire.

4.2.1.2 Accessibilité régionale

Les mesures d'accessibilité régionale aux opportunités via le réseau de transport collectif reposent sur des seuils (arbitraires) de 30 et 60 minutes, qui tiennent compte à la fois du temps en véhicule, du temps d'accès (à pied) à l'origine et à la destination, du temps d'attente ainsi que du temps de correspondance, s'il y a lieu. Selon le seuil de distance considéré, le diagnostic d'équité varie de façon importante (Tableau 4.5 et 4.6). Bien qu'il soit à toutes fins pratiques impensable d'extraire une tendance des niveaux d'accessibilité à 30 minutes, le portrait est tout autre pour le seuil fixé à 60 minutes et ce, pour l'ensemble des opportunités relatives à l'échelle régionale.

Tableau 4.5 - Quantité d'opportunités accessibles en 30 minutes de TC selon la vulnérabilité.

Nombre moyen d'opportunités	30 minutes de transport collectif									
	Emplois	Friperie	Bibliothèque	Musée	Grand parc	CFP	CÉGEP	Université	CLSC	Hôpital
V1	77 663	5,6	4,1	5,2	0,44	3,8	0,86	0,83	4,0	1,4
V2	89 022	6,4	4,5	6,0	0,47	3,8	0,93	1,00	4,4	1,6
V3	89 775	6,6	4,7	6,0	0,46	3,8	0,95	1,04	4,4	1,7
V4	81 805	6,2	4,6	5,3	0,47	3,6	0,92	0,96	4,1	1,6
V5	78 982	6,1	4,6	4,9	0,49	3,7	0,95	0,90	4,0	1,6
V6	81 268	6,3	4,7	5,0	0,49	3,7	0,97	0,94	4,1	1,6
V7	77 383	6,7	5,1	4,7	0,52	3,8	0,94	0,99	4,2	1,4
Moyenne	85 833	6,3	4,6	5,7	0,47	3,8	0,93	0,99	4,3	1,6

Tableau 4.6 - Quantité d'opportunités accessibles en 60 minutes de TC selon la vulnérabilité.

Nombre moyen d'opportunités	60 minutes de transport collectif									
	Emplois	Friperie	Bibliothèque	Musée	Grand parc	CFP	CÉGEP	Université	CLSC	Hôpital
V1	552 109	37,4	25,2	34,5	4,6	27,3	6,2	4,6	25,1	11,1
V2	586 507	39,8	26,6	36,6	4,7	28,8	6,6	4,9	26,6	11,9
V3	605 527	41,0	27,4	37,8	4,8	29,4	6,8	5,0	27,3	12,2
V4	607 100	40,9	27,4	37,7	4,8	29,3	6,8	5,1	27,3	12,1
V5	624 849	41,9	28,0	38,7	4,9	30,2	6,9	5,3	28,0	12,3
V6	648 538	43,3	28,9	40,1	5,1	31,4	7,3	5,5	29,2	12,7
V7	664 880	45,0	30,1	41,9	5,2	32,3	7,3	5,6	30,1	13,6
Moyenne	599 015	40,5	27,1	37,3	4,8	29,2	6,7	5,0	27,0	12,0

L'accessibilité en transport collectif aux opportunités régionales apparaît hautement équitable à la lumière de l'échelle de vulnérabilité (V1 à V7, Tableau 4.6), le nombre moyen de lieux accessibles augmentant de manière constante à mesure que le niveau de vulnérabilité croît. Il est ainsi possible de conclure que le réseau de transport collectif de l'agglomération de Montréal contribue à instaurer une égalité des chances, du moins relativement à l'accessibilité potentielle qu'il confère au segment de population le plus vulnérable en matière de mobilité (V5-V6-V7). Ce constat doit pourtant être considéré avec réserve, car cette équité n'est vraie que moyennant des temps de trajet relativement longs, les niveaux d'accessibilité à 30 minutes ne semblant pas favoriser les individus vulnérables.

Or, comme en témoignent les profils de mobilité (voir section 4.1.2), ces populations ont tendance à se déplacer sur de plus courtes distances et ce, pour diverses raisons (présence d'enfants à charge, sensibilité aux coûts du transport, salaires bas ne justifiant pas de longs trajets, etc.). De plus, toute la question de la tarification sociale du transport est absente de la présente analyse, bien qu'elle ait un impact important sur l'accessibilité réelle des individus (Preston et Rajé, 2007; Lucas, 2012).

4.2.1.3 Exposition à l'offre de transport collectif

Tout comme pour l'accessibilité régionale aux opportunités, les mesures d'exposition à l'offre de transport collectif revêtent une tendance équitable en vertu du principe de visée prioritaire. En effet, les segments de population vulnérables (V5-V6-V7) jouissent d'une desserte de qualité supérieure à celle de la population de référence (V1-V2-V3), toutes proportions gardées. Ce constat tient à la fois pour l'offre présente à 5 minutes de marche et celle dans un rayon plus englobant de 10 minutes (Tableau 4.7). Ainsi, les individus vulnérables disposent généralement d'un meilleur accès aux arrêts, d'une fréquence de service plus élevée et d'une meilleure continuité temporelle du service. Cet avantage comparatif peut contribuer à réduire la pression de motorisation chez ces individus.

Tableau 4.7 - Exposition à l'offre de TC à 5 et 10 minutes de marche selon la vulnérabilité.

	Exposition locale à l'OFFRE TC					
Nombre moyen d'opportunités	5 minutes de marche			10 minutes de marche		
	Arrêts	Passages-ligne	Heures de dispo	Arrêts	Passages-ligne	Heures de dispo
V1	7,4	314,3	13,9	30,1	749,6	18,7
V2	7,7	339,6	14,3	31,3	794,5	19,0
V3	7,8	349,7	14,6	31,9	815,5	19,2
V4	7,9	352,1	14,8	31,8	807,1	19,4
V5	8,4	374,9	15,7	32,9	823,4	19,9
V6	8,8	393,1	16,2	33,6	832,5	20,1
V7	8,5	359,2	16,6	33,8	836,9	20,3
Moyenne	7,8	347,4	14,6	31,7	804,0	19,2

4.2.1.4 Discussion

L'analyse comparative des niveaux d'accessibilité permet de mettre en lumière une certaine forme d'équité verticale dérivée de la répartition de l'offre de transport collectif, cette dernière favorisant les segments de population vulnérables tant en termes de qualité de la desserte que de l'accessibilité régionale induite par ce service. Cela renforce l'argument en vertu duquel Montréal fait état d'un réseau de transport collectif équitable (Deboosere et El-Geneidy, 2018). Il est cependant impossible d'affirmer que cette situation relève uniquement de décisions favorables de la part des agences de

transport collectif, ce portrait pouvant également résulter de la décision de ces individus de résider à proximité des services de transport collectif et des politiques d'aménagement des municipalités. Cette analyse, qui fournit seulement un portrait agrégé des niveaux d'accessibilité, serait pertinente dans le cadre d'études visant à comparer les niveaux d'accessibilité de diverses régions urbaines.

4.2.2 Typologies d'accessibilité multiniveaux

4.2.2.1 Synthèse des typologies

La méthode de diagnostic de l'équité par typologies d'accessibilité est dite égalitariste parce qu'elle repose sur les niveaux relatifs d'accessibilité dont jouissent les individus, calculés par l'entremise d'un score Z. Selon ce que chaque personne obtient comme pointage pour les trois échelles d'étude (accessibilité locale, accessibilité régionale, exposition à l'offre TC), celle-ci est assignée à une des huit typologies existantes, chacune synonyme d'un contexte spatial unique (Figure 3.6). La Figure 4.11 traduit de manière visuelle la répartition des individus au sein du territoire d'étude en fonction de leur typologie. Deux typologies ressortent du lot, soit les #1 (en rouge) et #8 (en violet).

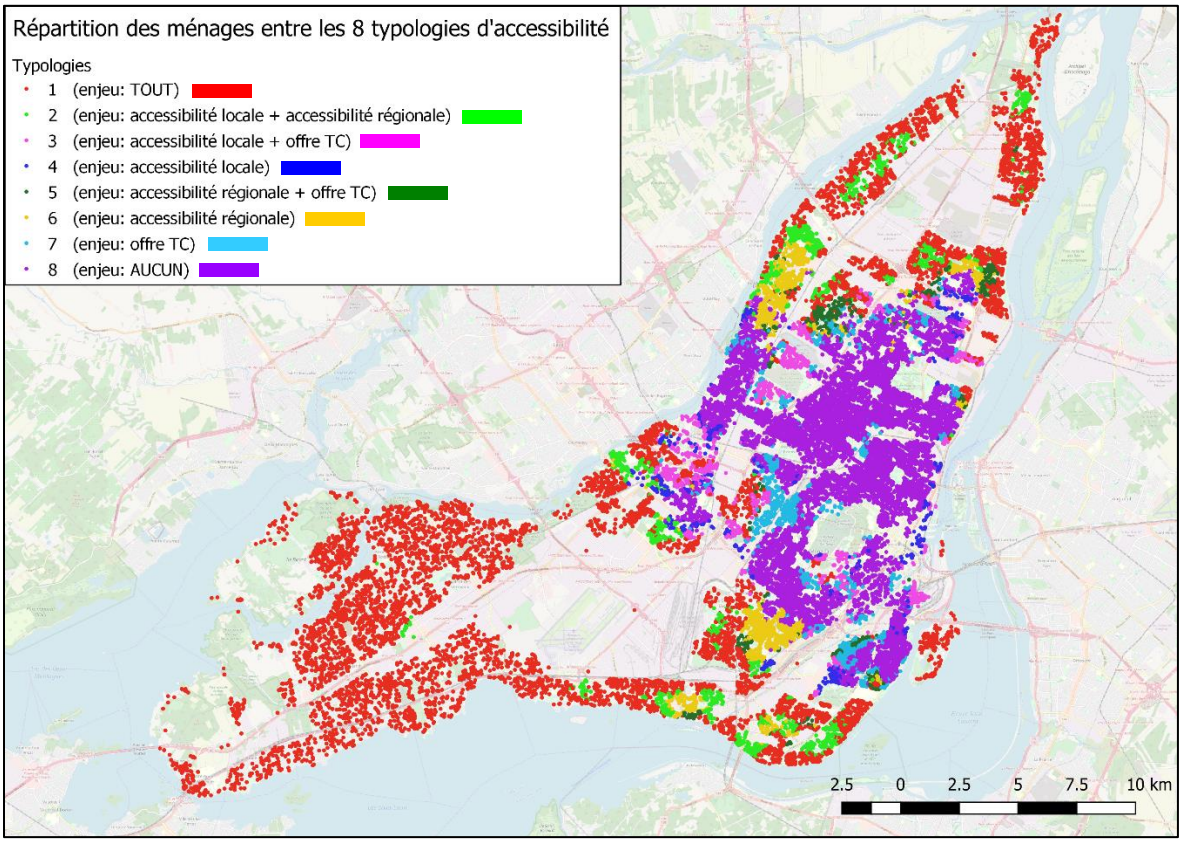


Figure 4.11 - Carte-synthèse des huit typologies d'accessibilité.

Celles-ci constituent les deux scénarios extrêmes et rassemblent respectivement 31,8% et 42,3% de l'ensemble de la population. La première témoigne de niveaux d'accessibilité moindres pour les trois volets de mesures, tandis que la deuxième affiche des niveaux supérieurs pour ces trois mêmes niveaux. Entre ces deux cas de figure subsiste un total de six typologies intermédiaires, lesquelles rassemblent environ le quart de la population (25,9%) et présentent des caractéristiques hautement variables. Toutes partagent cependant un point en commun, soit de compter minimalement un volet d'accessibilité de niveau supérieur et un autre de niveau inférieur. Fait notable, ces six typologies sont essentiellement concentrées au nord-est et au sud-ouest de l'agglomération (Figure 4.11).

Tableau 4.8 - Caractéristiques générales des typologies d'accessibilité.

Typologie	Statut d'accessibilité			Population	% Total	[V5-V7] (%)
	Locale	Régionale	Offre TC			
1	✗	✗	✗	563 509	31,8	6,6
2	✗	✗	✓	98 844	5,6	11,1
3	✗	✓	✗	85 999	4,9	10,1
4	✗	✓	✓	44 571	2,5	10,3
5	✓	✗	✗	40 190	2,3	9,5
6	✓	✗	✓	90 734	5,1	11,9
7	✓	✓	✗	97 277	5,5	9,3
8	✓	✓	✓	748 686	42,3	8,4
Total	-	-	-	1 769 810	100,0	8,4

En vertu du découpage retenu pour construire l'échelle de vulnérabilité en transport, environ 8,4% de la population du territoire d'étude appartient au segment dit « vulnérable » (V5-V6-V7, voir la section 4.1). Cette valeur varie d'une typologie à l'autre, avec une forte sous-représentation de ce groupe au sein de la typologie #1, associée aux pires niveaux d'accessibilité. Bien que ces individus auraient avantage à demeurer au sein de la typologie #8 (meilleure accessibilité), leur concentration s'y trouve dans la moyenne. C'est plutôt au sein des typologies intermédiaires que se trouvent les concentrations les plus fortes d'individus définis comme socialement vulnérables en matière de mobilité (Tableau 4.8). Leur poids s'y chiffre entre 9,3% (typologie #7) et 11,9% (typologie #6), traduisant une présence jusqu'à 42% plus prononcée de ce segment de population comparativement à la moyenne. À la vue de ces résultats, il est possible d'émettre une hypothèse en lien avec le choix du lieu de résidence des populations vulnérables, selon laquelle celles-ci chercheraient à éviter les zones de très faible accessibilité (typologie #1), mais qu'à défaut de pouvoir demeurer dans la zone la plus accessible (typologie #8) en raison de contraintes budgétaires, elles optent finalement pour une des typologies intermédiaires d'accessibilité, lesquelles fournissent au moins un certain niveau

d'accès aux opportunités. La validation de cette hypothèse (Mattioli, 2014) impliquerait cependant de plus amples analyses, notamment d'ordre économique, en lien avec les valeurs immobilières.

Divers constats émergent du croisement des typologies avec le niveau de vulnérabilité et les profils de mobilité des individus (Tableau 4.9 et 4.10). Ainsi, tant parmi la population de référence que chez les segments vulnérables, la typologie #1 est associée à une surreprésentation de l'automobile et de l'absence de mobilité (*non mob*), tandis que les profils relatifs au transport collectif, actif et à la multimodalité (*multi*) y sont sous-représentés par rapport à la moyenne propre à chacun des deux segments de population. Cette situation s'applique également à la typologie #2, bien que les écarts à la moyenne soient réduits. Un constat inverse peut être tiré de la typologie #8, laquelle est associée à une surreprésentation des modes collectifs et actifs ainsi que de la multimodalité, alors que moins d'individus y emploient uniquement l'automobile ou témoignent d'une absence de mobilité. Il en va de même pour la typologie #7, bien que l'amplitude soit réduite. Le portrait de mobilité entre la population de référence (V1-V2-V3) et le segment vulnérable (V5-V6-V7) s'avère variable au sein des typologies intermédiaires. Une représentation visuelle des résultats en fonction de la typologie et du niveau de vulnérabilité (Figure 4.12) apporte un éclairage supplémentaire sur la question.

Tableau 4.9 - Comportements de mobilité chez la population de référence (V1-V2-V3).

Typologie	Statut d'accessibilité			Comportements de mobilité: V1-V2-V3 (%)				
	Locale	Régionale	Offre TC	Auto	TC	Multi	Actifs	Non mob
1	✗	✗	✗	56,3	13,6	11,8	3,1	14,7
2	✗	✗	✓	52,0	16,5	10,9	6,0	13,8
3	✗	✓	✗	43,0	21,0	13,6	7,9	13,9
4	✗	✓	✓	34,5	22,1	18,2	10,5	13,3
5	✓	✗	✗	46,0	17,0	13,2	6,6	16,7
6	✓	✗	✓	45,5	19,3	13,5	6,8	14,2
7	✓	✓	✗	42,0	19,0	14,9	10,0	13,2
8	✓	✓	✓	30,1	24,1	17,9	14,5	12,7
Moyenne	-	-	-	42,3	19,4	14,9	9,1	13,7

Tableau 4.10 - Comportements de mobilité chez la population vulnérable (V5-V6-V7).

Typologie	Statut d'accessibilité			Comportements de mobilité: V5-V6-V7 (%)				
	Locale	Régionale	Offre TC	Auto	TC	Multi	Actifs	Non mob
1	✗	✗	✗	28,0	17,5	13,2	9,6	30,6
2	✗	✗	✓	20,9	20,9	14,3	12,9	29,5
3	✗	✓	✗	17,4	24,6	15,5	12,0	29,4
4	✗	✓	✓	16,4	24,5	13,5	16,3	28,7
5	✓	✗	✗	24,1	11,2	14,7	19,3	30,7
6	✓	✗	✓	19,8	21,2	14,4	16,0	27,4
7	✓	✓	✗	14,4	25,5	17,4	17,7	24,9
8	✓	✓	✓	12,6	22,8	18,7	19,8	24,8
Moyenne	-	-	-	18,4	21,2	16,1	15,8	27,3

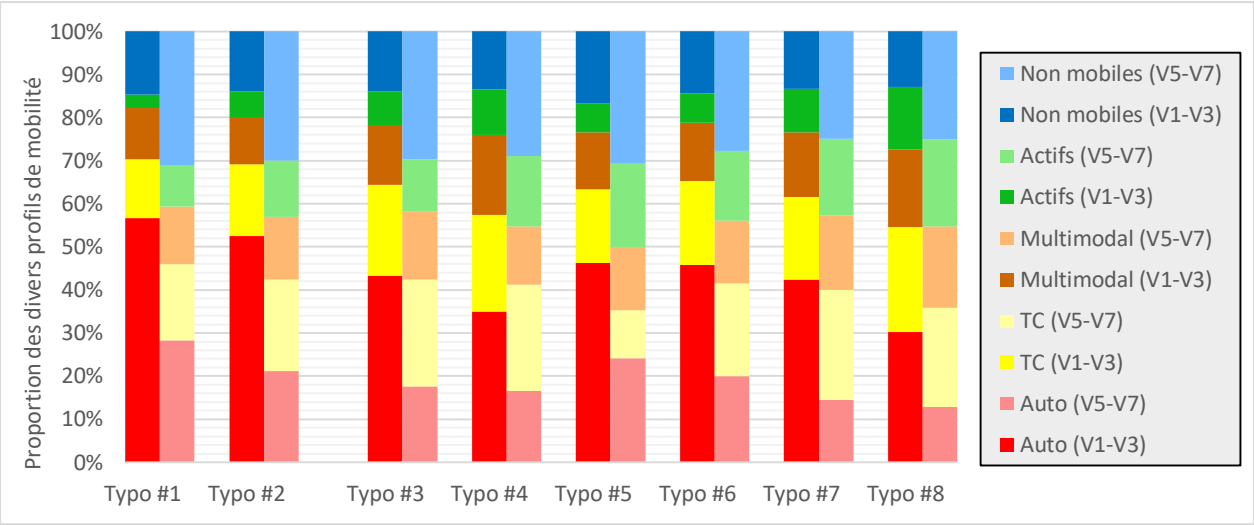


Figure 4.12 - Profils de mobilité selon la typologie d'accessibilité et le niveau de vulnérabilité.

De manière générale, les individus vulnérables (V5-V6-V7) sont proportionnellement moins portés vers l'utilisation d'une voiture comparativement à la population de référence (V1-V2-V3). L'écart semble essentiellement comblé par une absence de mobilité (*non mobiles*, en teintes de bleu), bien que le recours accru des populations vulnérables aux modes actifs, notamment dans les typologies intermédiaires (#2 à #7), compense également cette utilisation moindre de l'automobile. Un autre fait notable réside dans l'écart faible entre les deux groupes en ce qui concerne le profil « transport collectif » au sein des typologies #1 et #8 (Figure 4.12). Son utilisation par les groupes vulnérables semble toutefois réduire le recours à l'automobile au sein des typologies intermédiaires, sauf la #5. Ces observations relatives aux profils de mobilité demeurent à ce stade préliminaires et nécessitent des analyses plus poussées, notamment en ce qui a trait aux déterminants du choix modal (Poliquin, 2012), susceptibles d'apporter un éclairage quant aux profils de mobilité observés. L'enjeu est de déterminer dans quelle mesure ces comportements sont contraints ou plutôt le fruit du libre arbitre. Néanmoins, l'approche proposée offre un socle pour appuyer d'éventuelles analyses plus poussées.

4.2.2.2 Analyse comparative des typologies

Chacune des huit typologies traduit un contexte spatial unique, lequel oriente des interventions de nature variable. Par ailleurs, en vertu du principe égalitariste du *worst-off man* associé au *maximin*, il importe d'améliorer en priorité les perspectives d'accessibilité des individus vulnérables du point de vue de la mobilité, cela dans le but de réduire la pauvreté d'accessibilité et le risque d'exclusion

sociale (Martens, 2016; *UK Social Exclusion Unit*, 2003). Dans cette logique, il s'agit d'intervenir là où se concentrent les individus vulnérables et ce, pour chacune des typologies au sein desquelles au moins un des volets d'accessibilité (locale, régionale, offre TC) affiche des lacunes.

4.2.2.2.1 Typologie #1

Cette typologie témoigne des pires conditions d'accessibilité, puisque les niveaux y sont inférieurs tant pour les échelles locale et régionale que pour la qualité du service de transport collectif. Cette catégorie, qui rassemble près du tiers de la population (31,8%), concerne surtout les extrémités de l'agglomération (Figure 4.13). Les individus vulnérables y sont sous-représentés (6,6%), bien qu'il existe des concentrations de ce segment par endroits (Figure 4.14). Les interventions à privilégier sont une bonification des services de proximité, de la connectivité aux pôles d'intérêt en transport collectif et de l'intensité de l'offre en termes de fréquence et de continuité temporelle.

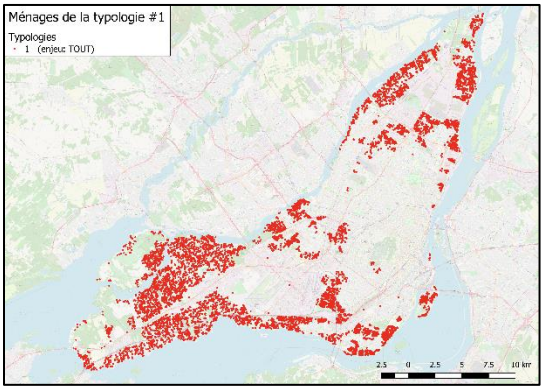


Figure 4.13 - Ménages de la typologie #1.

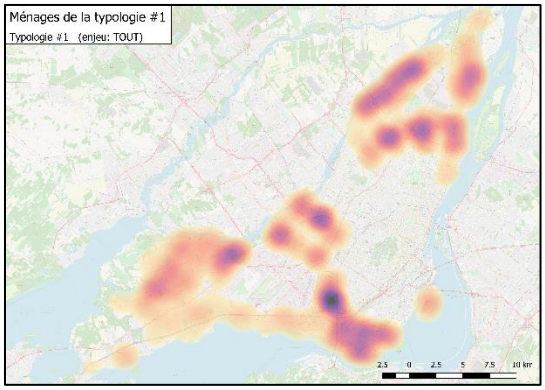


Figure 4.14 - Points de chaleur (typologie #1).

4.2.2.2.2 Typologie #2

Cette typologie s'apparente à la première (ci-haut), à la différence que l'intensité de l'offre de TC y soit classée comme supérieure. Elle rassemble 5,6% de la population. Une analyse visuelle rapide laisse croire que cette typologie peut coïncider avec certains terminus combinant plusieurs lignes de bus (Figure 4.15). Les individus vulnérables y affichent la 2e plus forte concentration (11,1%), bien que ceux-ci soient localisés en un lieu plutôt précis du territoire, soit le secteur nord-est de Montréal-Nord (Figure 4.16). Ces individus tireraient avantage d'une bonification des services de proximité et d'une connectivité accrue aux pôles d'activités via le réseau de transport collectif.

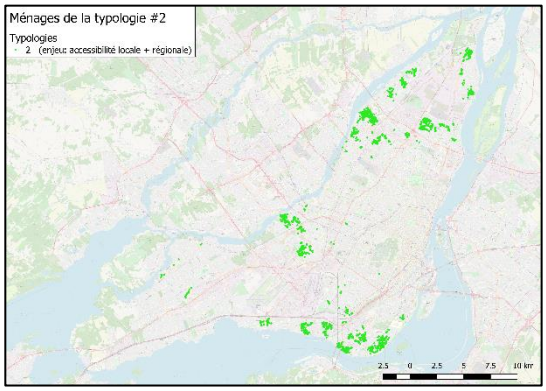


Figure 4.15 - Ménages de la typologie #2.

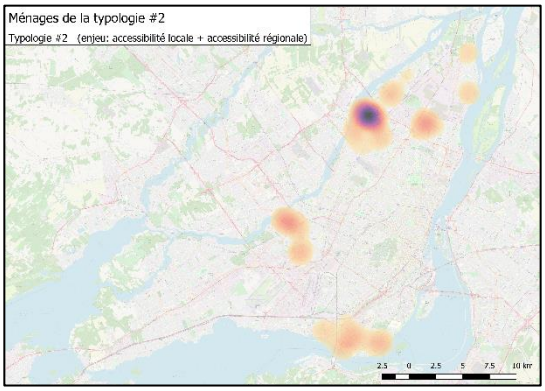


Figure 4.16 - Points de chaleur (typologie #2).

4.2.2.2.3 Typologie #3

Cette typologie témoigne d'une accessibilité régionale (via le TC) de bonne qualité, qui compense en partie le déficit d'accessibilité locale. Cette accessibilité régionale n'est cependant disponible qu'à certains moments, des lacunes subsistant en termes d'intensité de l'offre de TC. Cette typologie, qui rassemble 4,9% de la population, est souvent associée à des territoires enclavés (Figure 4.17). Les individus vulnérables, surreprésentés (10,1%), sont principalement concentrés dans deux pôles (Figure 4.18). Ces derniers bénéficieraient de meilleurs services de proximité et d'une bonification de l'offre de transport collectif (fréquence et continuité temporelle).

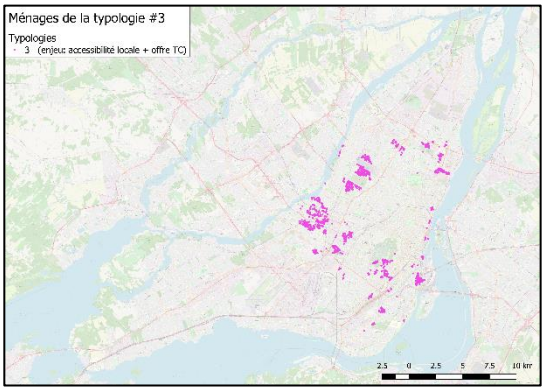


Figure 4.17 - Ménages de la typologie #3.

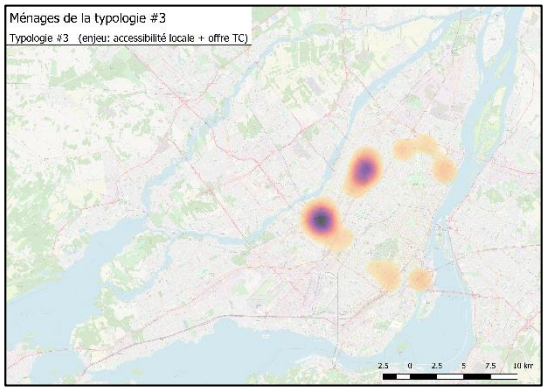


Figure 4.18 - Points de chaleur (typologie #3).

4.2.2.2.4 Typologie #4

Cette typologie (Figure 4.19) jouit d'une desserte en transport collectif de qualité supérieure, tant en termes d'intensité de l'offre que de l'accessibilité induite par cette dernière. C'est plutôt l'accessibilité locale qui y affiche des lacunes, divers services de proximité y étant absents à

distance de marche. La typologie #4 rassemble une proportion restreinte de la population (2,5%) et témoigne d'une concentration d'individus vulnérables sensiblement supérieure (10,3%) à la moyenne. Ces derniers, concentrés surtout dans le centre-nord et le sud-ouest du territoire (Figure 4.20), profiteraient de l'ajout de nouveaux services de proximité à distance de marche, réduisant ainsi la nécessité des modes motorisés pour effectuer des déplacements courants.

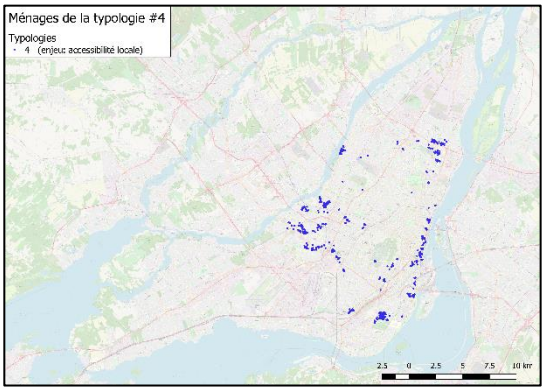


Figure 4.19 - Ménages de la typologie #4.

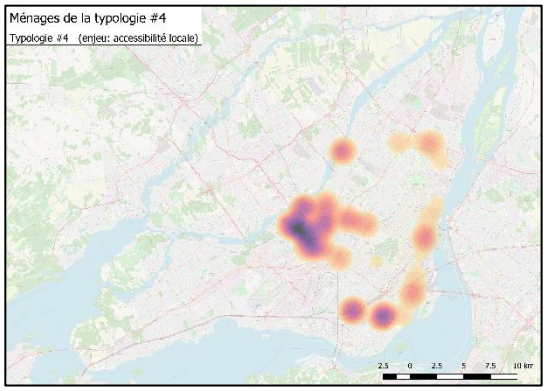


Figure 4.20 - Points de chaleur (typologie #4).

4.2.2.2.5 Typologie #5

Cette typologie (Figure 4.21), caractérisée par une accessibilité locale de niveau supérieur, présente des faiblesses au chapitre de l'accessibilité régionale en transport collectif. L'intensité de l'offre de service de qualité est aussi de qualité inférieure. Cette typologie, qui rassemble seulement 2,3% de la population, est ainsi associée à un recours moindre au transport collectif, particulièrement chez les individus vulnérables (Figure 4.12). Ceux-ci y sont légèrement surreprésentés (9,5%) par rapport à la moyenne et témoignent d'une concentration spatiale (Figure 4.22). Ils bénéficieraient notamment d'une meilleure connectivité aux pôles d'activités via le transport collectif et d'une intensification de l'offre de service en termes de fréquence et de continuité temporelle de l'offre.

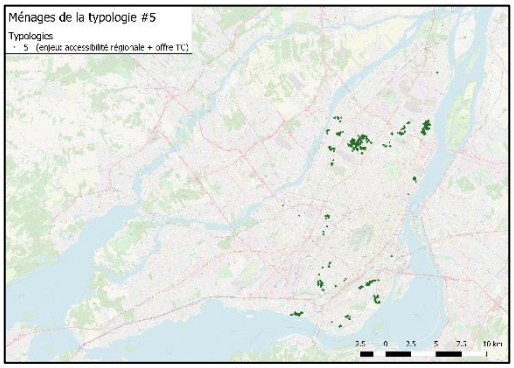


Figure 4.21 - Ménages de la typologie #5.

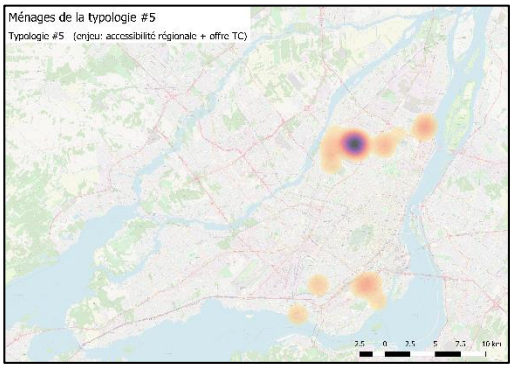


Figure 4.22 - Points de chaleur (typologie #5).

4.2.2.2.6 Typologie #6

Cette typologie (Figure 4.23) dispose d'une accessibilité locale supérieure et d'une bonne intensité de desserte en transport collectif, constat qui ne s'applique cependant pas à l'accessibilité régionale, de niveau inférieur, laquelle implique potentiellement des trajets de longue durée. La typologie #6, concerne 5,1% de la population du territoire et affiche la plus forte concentration d'individus vulnérables (11,9%). Ceux-ci sont concentrés dans deux zones précises (Montréal-Nord et l'ouest de Notre-Dame-de-Grâce, Figure 4.24). L'intervention à prioriser pour cette typologie consiste à améliorer la connectivité en transport collectif aux pôles d'activités importants de l'agglomération.

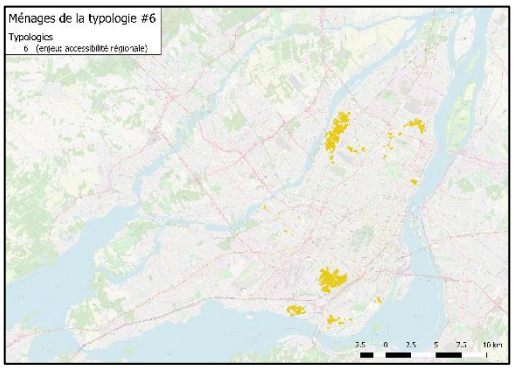


Figure 4.23 - Ménages de la typologie #6.

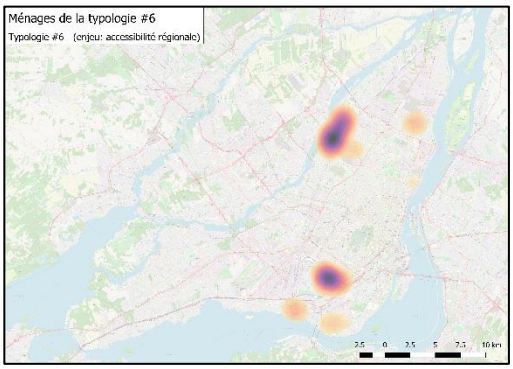


Figure 4.24 - Points de chaleur (typologie #6).

4.2.2.2.7 Typologie #7

Cette typologie, plutôt dispersée spatialement (Figure 4.25), témoigne de niveaux d'accessibilité adéquats, tant à l'échelle locale que régionale. C'est l'intensité de la desserte de transport collectif qui fait ici défaut, rendant la bonne accessibilité régionale tributaire des horaires de service. C'est cependant l'unique élément séparant cette typologie de la meilleure (#8, *4.2.2.2.8*). Elle rassemble

5,5% de la population et les individus vulnérables y sont présents dans une proportion supérieure (9,3%) à la moyenne. Ceux-ci, présents surtout au sein de deux pôles (Figure 4.26), profiteraient d'une bonification de l'intensité de l'offre de transport collectif (fréquence et continuité du service).

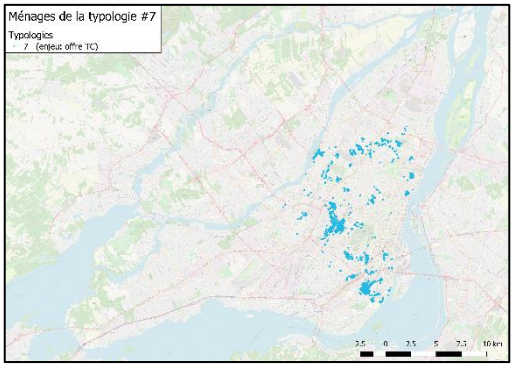


Figure 4.25 - Ménages de la typologie #7.

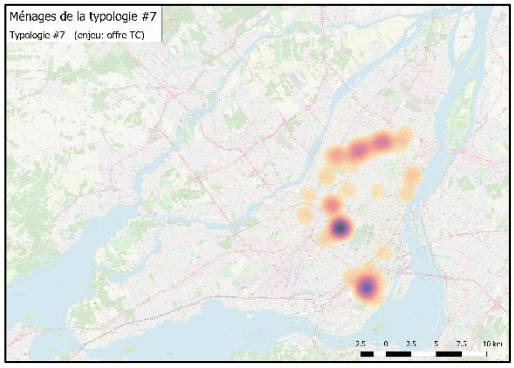


Figure 4.26 - Points de chaleur (typologie #7).

4.2.2.2.8 Typologie #8

Cette typologie, concentrée au cœur de l'agglomération (figure 4.27), constitue un idéal vers lequel tendre en matière d'accessibilité et d'offre de transport collectif, surtout dans une perspective de justice sociale. Les trois volets de mesures y témoignent de niveaux supérieurs de desserte, dont l'effet combiné peut contribuer à réduire la nécessité d'utiliser une voiture pour effectuer les tâches quotidiennes, comme en témoignent les profils de mobilité (Figure 4.12). Tandis que 42,3% de la population réside dans cette typologie, la proportion d'individus vulnérables (8,4%) y est moindre qu'au sein des typologies intermédiaires (#2 à #7). Il existe malgré tout certaines concentrations fortes de ce groupe (Figure 4.28). Aucune intervention précise n'est prioritaire pour cette typologie.

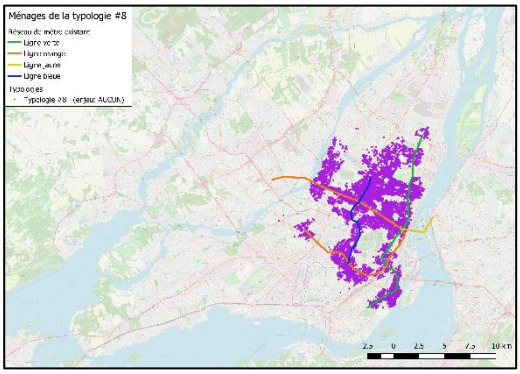


Figure 4.27 - Ménages de la typologie #8.

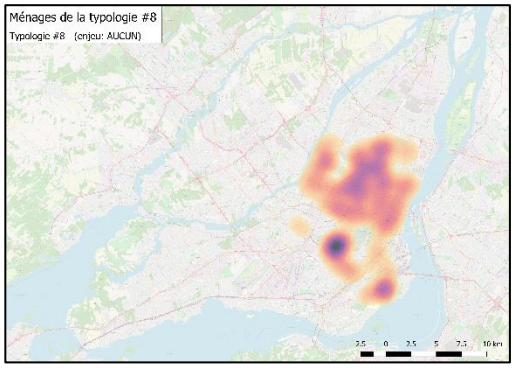


Figure 4.28 - Points de chaleur (typologie #8).

4.2.2.3 Priorisation des interventions en transport

Les lacunes propres à chaque typologie mènent à la priorisation d'interventions de registres divers (voir la section 4.2.2.2). Par ailleurs, toutes ne concernent pas que le transport, certaines typologies nécessitant des interventions qui sont plutôt du ressort de l'urbanisme, notamment lorsque l'offre locale de services fait défaut (Tableau 4.11). Considérant que les typologies #4 et #8 disposent déjà d'une desserte de transport collectif de niveau supérieur, tant en termes d'offre que d'accessibilité induite, il existe six typologies pour lesquelles des interventions relatives au transport collectif sont susceptibles d'améliorer les perspectives d'accessibilité des populations vulnérables (1,2,5,6,3,7).

Tableau 4.11 - Hiérarchisation et répartition des interventions entre transport et urbanisme.

Typologie	Niveau d'accessibilité			Qualité accessib.	Domaine d'action		Priorité	Type d'intervention à privilégier		
	Locale	Régionale	Offre TC		Transport	Urbanisme	Équité TC	Services locaux	Connectivité TC	Qualité offre TC
1	✗	✗	✗		X	X	1	X	X	X
2	✗	✗	✓		X	X	2	X	X	
5	✓	✗	✗		X	X	3		X	X
6	✓	✗	✓		X		4		X	
3	✗	✓	✗		X	X	5	X		X
7	✓	✓	✗		X		6			X
4	✗	✓	✓			X	7	X		
8	✓	✓	✓				8			

Les huit typologies ne présentent cependant pas le même niveau de gravité, certains contextes étant plus enclins à l'apparition de conséquences liées à une accessibilité déficiente chez les populations vulnérables, telles qu'une participation sociale réduite (Lucas et al., 2018; Martens et Bastiaanssen, 2015) ou bien la motorisation contrainte (Mattioli, 2014; Currie et al., 2009). À titre d'exemple, la typologie #1 nécessiterait une intervention sur les trois volets, tandis que pour la typologie #6, seule une amélioration de la connectivité en transport collectif s'avère prioritaire. Il serait ainsi possible d'établir une hiérarchie de typologies visant à intervenir de manière prioritaire dans les voisinages cumulant diverses lacunes d'accessibilité, justifiant des interventions d'ordre varié (tableau 4.11).

En vertu du principe de visée prioritaire (Parfit, 1997; Meyer et Roser, 2009), l'objectif n'est pas de bonifier l'accessibilité pour l'ensemble des individus vivant au sein des typologies défaillantes, mais plutôt d'intervenir là où sont présentes de grandes concentrations de populations vulnérables, lesquelles sont plus susceptibles d'en subir les externalités négatives (Martens, 2017). Pour chaque typologie, des zones d'interventions prioritaires ont ainsi été identifiées (voir section 4.2.2.2). Dans le même ordre d'idées, il est possible de combiner les pôles de vulnérabilité associés aux typologies pour lesquelles des actions en transport collectif sont à prioriser (Tableau 4.11). En croisant les six

typologies en question avec les segments de population vulnérables (V5-V6-V7), il est possible de mettre en évidence les zones d'intervention prioritaires en transport d'un point de vue moral (Figure 4.29). La carte de chaleur résultante jette un éclairage nouveau sur des projets de transport collectif en construction ou rêvés en termes de retombées sociales potentielles. À noter que les six typologies n'ont fait l'objet d'aucune pondération au préalable, bien qu'elles ne revêtent pas toutes le même niveau de priorité. Il importe donc d'interpréter ces résultats préliminaires avec prudence.

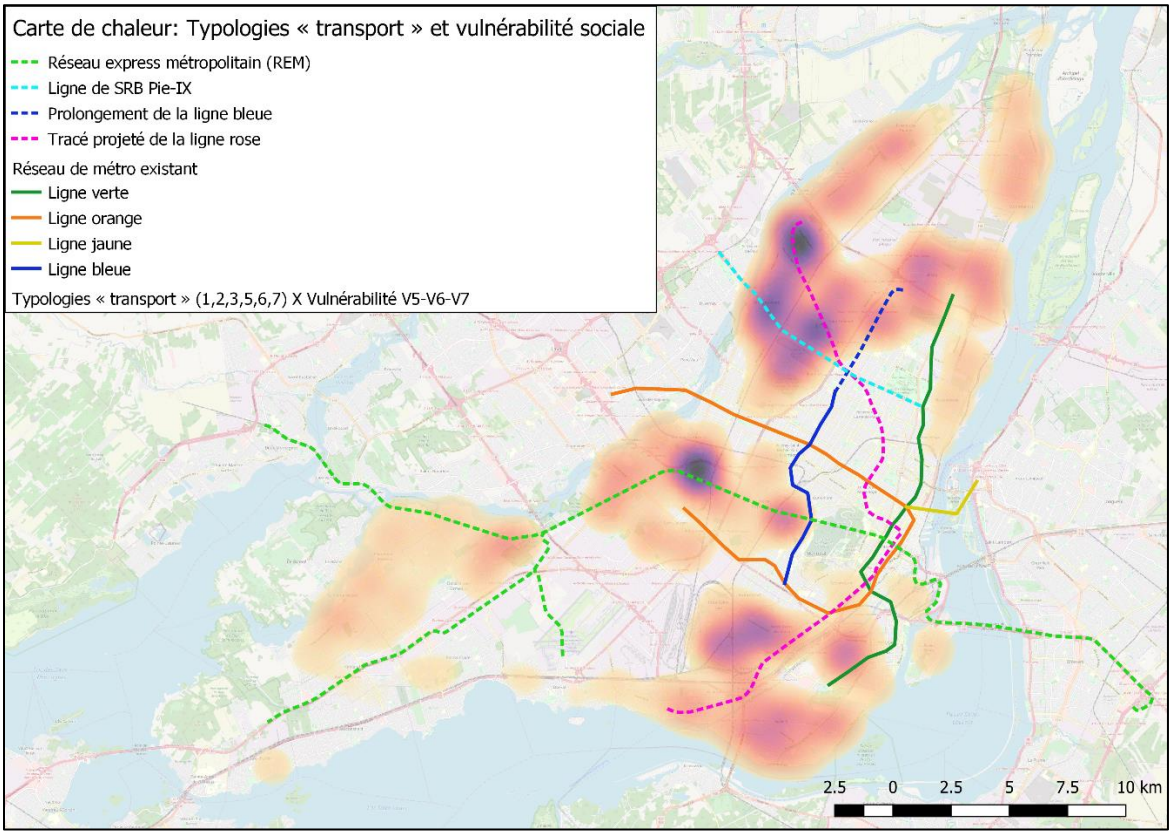


Figure 4.29 - Carte de chaleur des individus vulnérables vivant dans les typologies «transport».

4.2.2.4 Discussion

L'approche de diagnostic par typologies d'accessibilité revêt un potentiel intéressant pour identifier des secteurs enclins à l'apparition de problèmes de mobilité chez les populations vulnérables. Cette méthode permet aussi d'orienter le bon type d'intervention en fonction du contexte spécifique, que l'intervention requise soit du ressort de l'urbanisme et/ou du transport collectif. La traduction des enjeux propres à chaque typologie en fait d'ailleurs un outil potentiellement intéressant en vue de l'élaboration de plans d'urbanisme et de transport, une pratique obligatoire dans le domaine de

l'aménagement du territoire (Fontaine, Brisson et Noreau, 2018). Cela dit, l'approche par typologie demeure à ce stade-ci exploratoire et témoigne de limites diverses, lesquelles concernent la qualité des données entrantes, la relativité des résultats et les hypothèses sous-jacentes à l'utilisation des cartes de chaleur. Il est notamment question de la variabilité du facteur de pondération le long de l'échelle de vulnérabilité, traduisant un sous-échantillonnage des populations vulnérables. Toutes ces limites seront explicitées dans le chapitre relatif à la conclusion (voir section 5.3).

4.3 Diagnostic sufficientariste

Cette deuxième approche de diagnostic repose non pas sur les niveaux relatifs d'accessibilité, mais bien sur des valeurs absolues, traduisant un nombre concret d'opportunités. En ce sens, l'approche sufficientariste s'intéresse à la pauvreté d'accessibilité, situation qui résulte d'un accès insuffisant à la lumière d'un seuil idéalement dérivé des idéaux propres à une société (Martens, 2016). Cette perspective mise sur le principe du *maximin* (Rawls, 1971), en vertu duquel il importe de chercher à offrir les meilleures conditions possibles (*maxi*) aux populations les plus défavorisées (*min*).

4.3.1 Trilogies de cartes sufficientaristes

Une première approche sufficientariste pour diagnostiquer l'équité consiste à évaluer l'accessibilité à chacune des opportunités à la lumière d'un seuil de suffisance, cela afin d'identifier des secteurs caractérisés par un déficit d'accès à une opportunité précise. Les seuils considérées découlent d'un choix arbitraire (voir section 3.5.3.1), aucune valeur absolue ne semblant exister dans la littérature (Pereira et al., 2017). Une première carte traduit la quantité absolue d'opportunités, une deuxième exprime le pointage de pauvreté des individus tandis qu'une troisième cherche à mettre en évidence les secteurs à forte vulnérabilité sociale souffrant d'un déficit d'accessibilité. Il devient alors simple d'identifier des zones prioritaires d'intervention, selon le principe du *maximin* (Rawls, 1971). Pour chacun des trois volets d'accessibilité, seul un nombre restreint d'opportunités sera présenté à titre d'exemple, les cartes relatives aux autres opportunités pouvant être consultées à l'annexe B.

4.3.1.1 Accessibilité locale aux opportunités

L'échelle locale se penche sur sept types d'opportunités, soit les supermarchés, les pharmacies, les garderies, les écoles (primaires et secondaires), les parcs et les magasins du dollar. Les emplois de proximité n'ont pas été pris en compte pour ce volet-ci. Le nombre de supermarchés accessibles en

20 minutes de marche varie fortement selon le secteur, certains individus disposant de plus de 10 succursales à proximité tandis que d'autres n'en ont aucune (Figure 4.30). Selon les pointages de pauvreté, fixés à 2 points, 1 point ou 0 point, il est possible de voir quelles sont les zones moins bien pourvues (Figure 4.31). Finalement, en croisant ce pointage de pauvreté d'accessibilité avec le pointage de vulnérabilité individuel, il est possible d'identifier des zones socialement vulnérables sujettes à un déficit d'accessibilité aux supermarchés via une carte de chaleur (Figure 4.32).

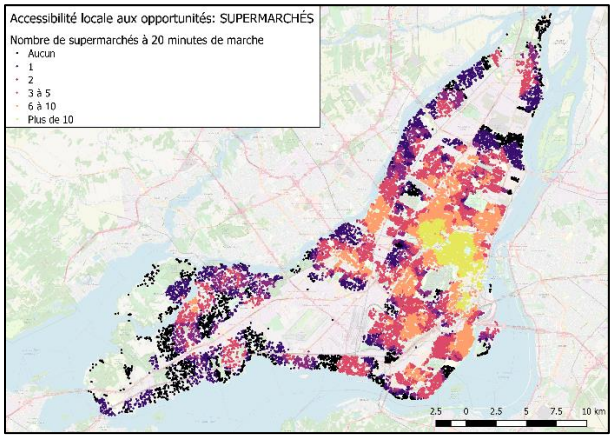


Figure 4.30 - Supermarchés à 20 minutes (à pied).

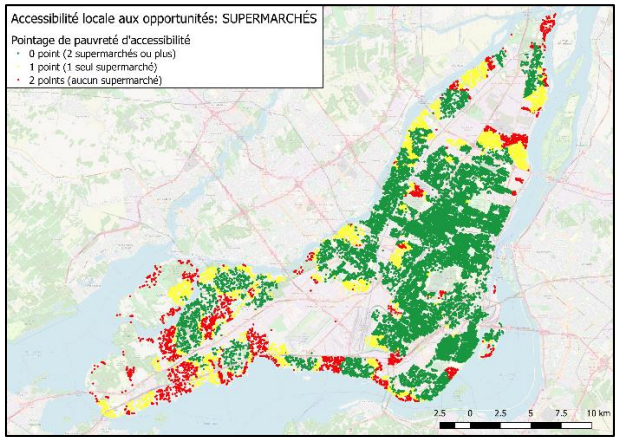


Figure 4.31 - Pauvreté d'accès aux supermarchés.

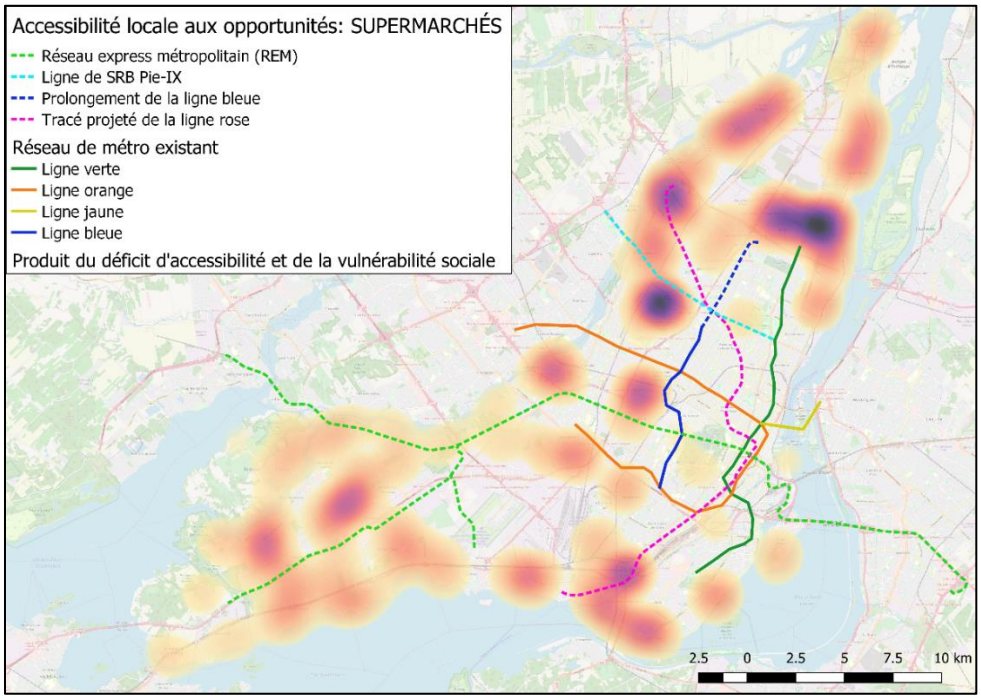


Figure 4.32 - Zones de forte vulnérabilité souffrant d'un déficit d'accès aux supermarchés.

Un processus similaire a été reproduit pour les parcs de voisinage, dont la quantité traduit le nombre d'hectares d'espaces verts accessibles. La carte relative à la quantité brute d'hectares (Figure 4.33) met en évidence plusieurs des grands parcs de l'île, lesquels fournissent à la population avoisinante une quantité appréciable d'hectares d'espaces verts. À l'inverse, certains citoyens disposent de moins de 5,7 hectares de parcs à 15 minutes de marche, soit la quantité associée ici à 2 points de pauvreté d'accessibilité (décidé de manière arbitraire). La deuxième carte (Figure 4.34) témoigne précisément de cette pauvreté, laquelle traduit également un niveau d'accès strictement minimal (8,7 hectares; 1 point). Finalement, une troisième carte (Figure 4.35) témoigne du produit entre le pointage relatif à la pauvreté d'accès et le score de vulnérabilité, mettant en lumière les zones défavorisées dont le niveau de fourniture d'espaces verts de voisinage est potentiellement déficient.

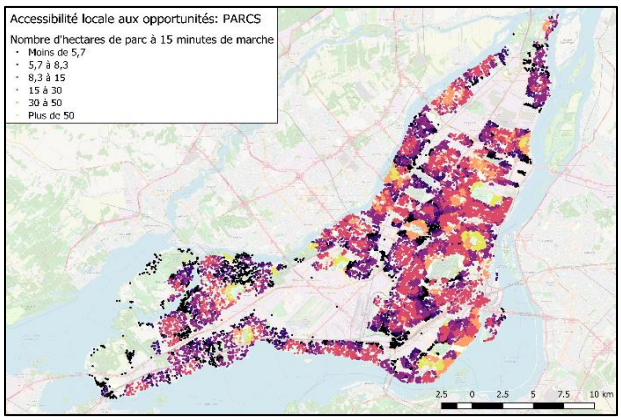


Figure 4.33 - Hectares de parc à 15 minutes à pied.

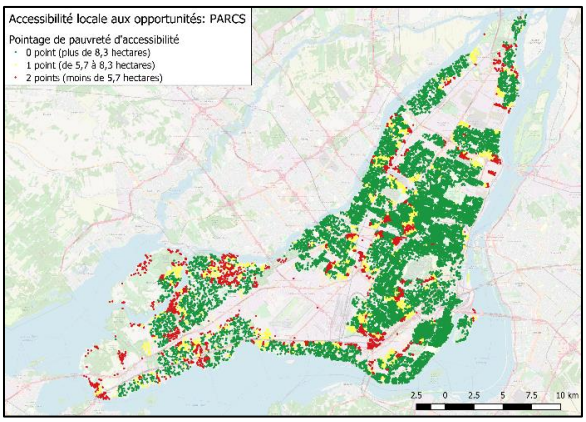


Figure 4.34 - Pauvreté d'accès aux parcs.

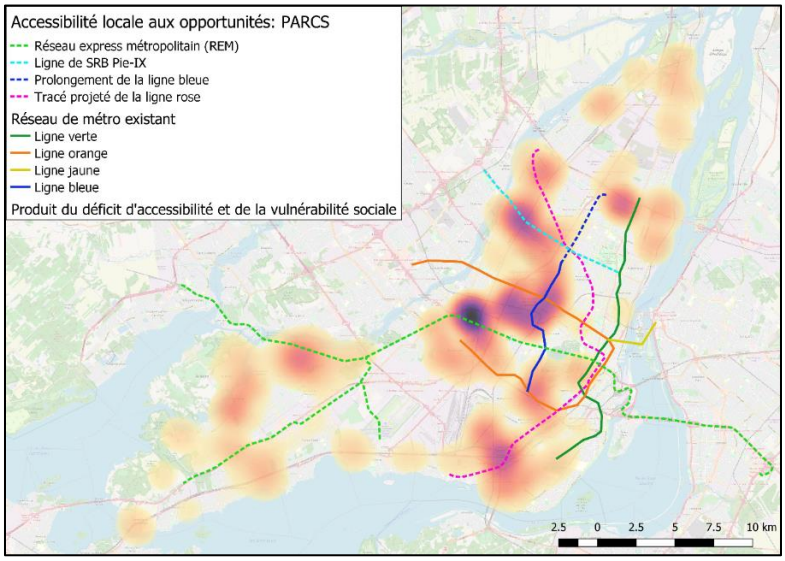


Figure 4.35 - Zones de forte vulnérabilité souffrant d'un déficit d'accès aux parcs de quartier.

4.3.1.2 Accessibilité régionale aux opportunités

L'échelle régionale s'intéresse à dix opportunités, à savoir les bibliothèques municipales, friperies, musées, CÉGEP, centres de formation professionnelle, universités, CLSC, hôpitaux, grands parcs ainsi que les emplois. L'accessibilité aux CÉGEP et aux emplois seront illustrés à titre d'exemple.

La répartition spatiale des CÉGEP semble répondre à une logique particulière, laquelle favorise les individus demeurant le long de la branche est de la ligne orange (Figure 4.36). Ces personnes ont en effet accès à plus de cinq de ces établissements en moins de 45 minutes, alors que d'autres ont plutôt un accès nul dans le même laps de temps (Lachine, Pointe-aux-Trembles, Roxboro, etc.). La carte relative à la pauvreté d'accessibilité (Figure 4.37) met cette situation en évidence, traduisant également la réalité des individus captifs d'un seul CÉGEP (1 point, en jaune). Il s'avère que plusieurs des secteurs pour lesquels l'accès à ce genre d'établissement est difficile constituent des zones de forte vulnérabilité sociale en matière de mobilité (Figure 4.38). Ce type d'analyse pourrait intéresser autant le Ministère de l'Éducation supérieure que les sociétés chargées de l'exploitation du transport collectif, qui pourraient s'en servir pour étudier des scénarios de nouvelle desserte.

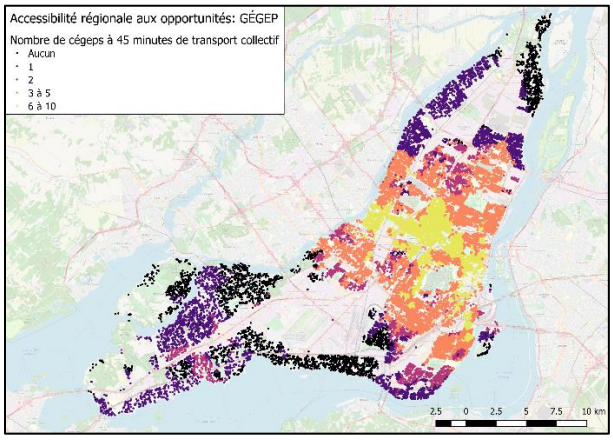


Figure 4.36 - Nombre de CÉGEP en 45 minutes de transport collectif.

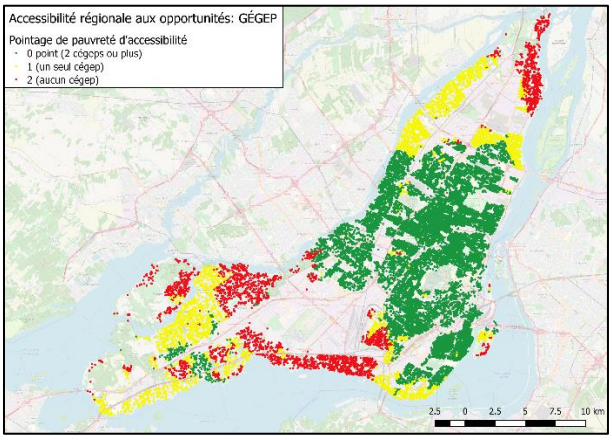


Figure 4.37 - Pauvreté d'accessibilité aux CÉGEP.

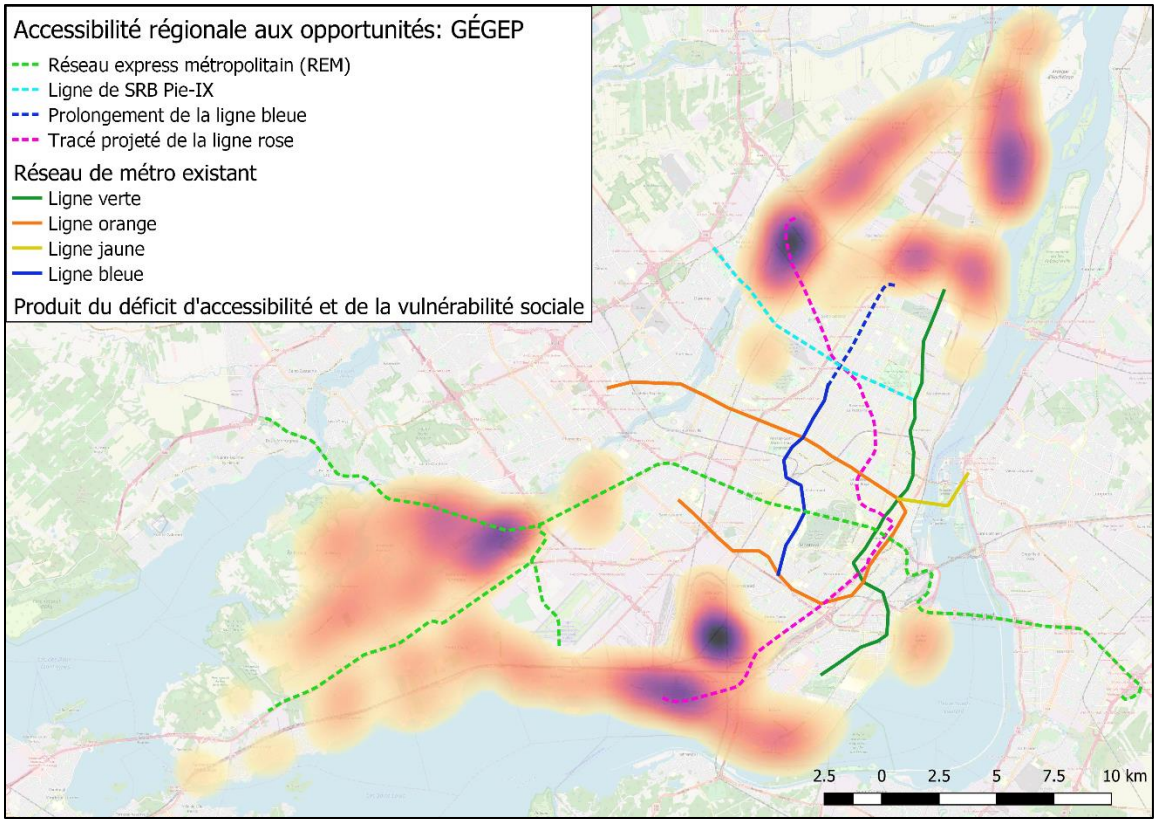


Figure 4.38 - Zones de forte vulnérabilité souffrant d'un déficit d'accès aux CÉGEP.

L'accès aux emplois constitue la mesure d'accessibilité aux opportunités la plus répandue; elle est d'ailleurs souvent employée comme un proxy de l'accessibilité générale (Boisjoly et El-Geneidy, 2016). La quantité d'emplois accessibles en 45 minutes semble fortement corrélée à la présence de lignes de métro (Figure 4.39), ce réseau fournissant un accès rapide à divers pôles d'emplois majeurs. Les niveaux d'accessibilité chutent rapidement dès qu'on s'éloigne de ce dernier. Selon les seuils établis pour définir la pauvreté d'accès (moins de 52 165 emplois : 2 points ; entre 52 165 et 91 477 emplois : 1 point), les quartiers péricentraux et périphériques jouissent parfois de niveaux d'accessibilité déficitaires (Figure 4.40). Or, certains secteurs affectés par ce statut comptent un grand nombre d'individus vulnérables, ce que permet de traduire la troisième carte de la trilogie (Figure 4.41), laquelle est le produit de la pauvreté d'accès et du score de vulnérabilité individuelle. Cela permet de mettre en exergue des secteurs qui bénéficieraient du développement d'emplois au niveau local ou encore d'une meilleure accessibilité aux principaux pôles d'emplois de la région métropolitaine.

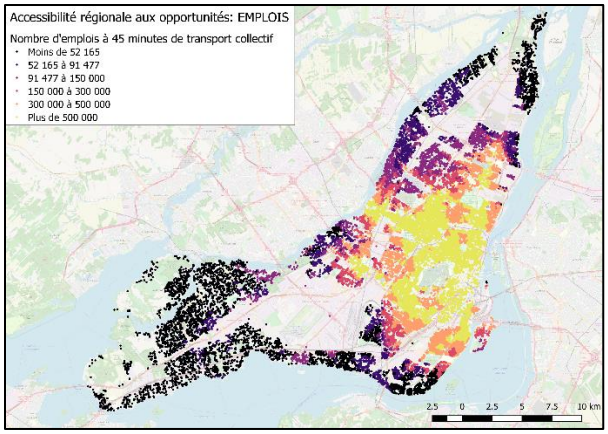


Figure 4.39 - Nombre d'emplois en 45 minutes de transport collectif.

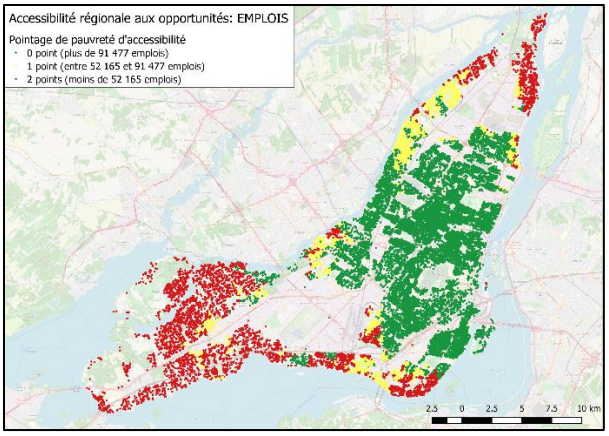


Figure 4.40 - Pauvreté d'accessibilité aux emplois.

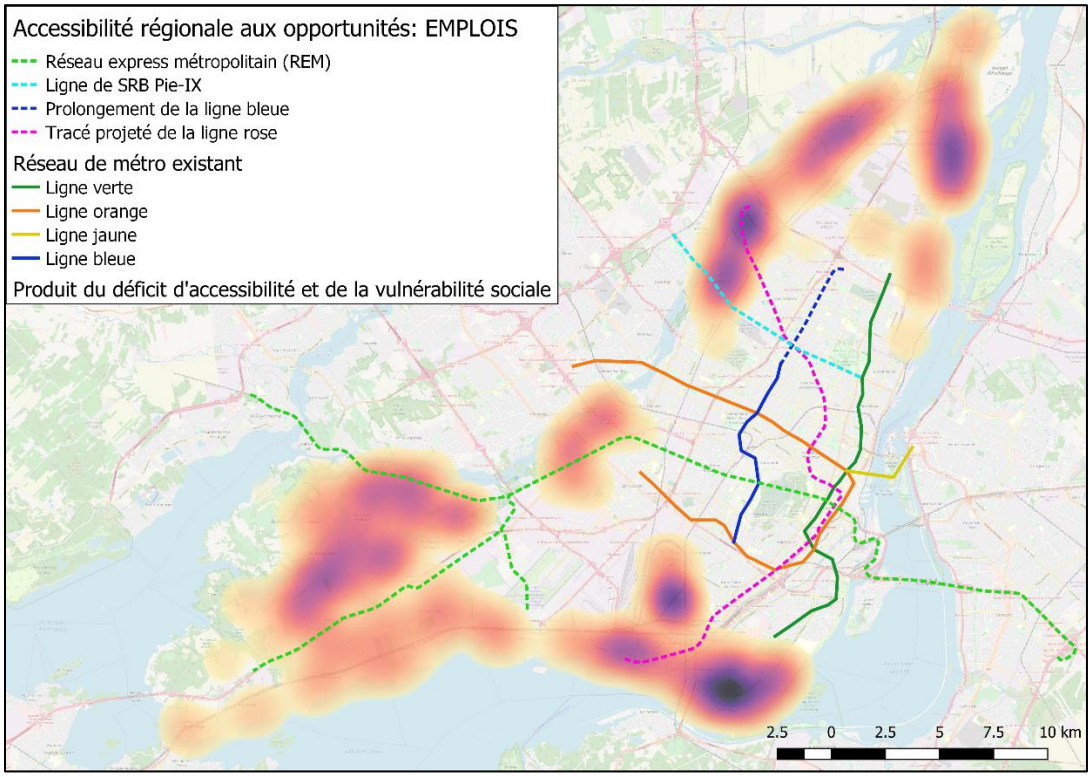


Figure 4.41 - Zones de forte vulnérabilité souffrant d'un déficit d'accès aux emplois.

Puisque la seule carte de chaleur traduit uniquement l'intensité du déficit d'accessibilité chez les populations vulnérables en un endroit précis, il fut entrepris d'agréger la variable individuelle associant la pauvreté d'accès et la vulnérabilité au niveau du secteur municipal (SM) de l'EOD13. En normalisant les résultats, cela permet d'identifier les secteurs les plus critiques (Figure 4.42).

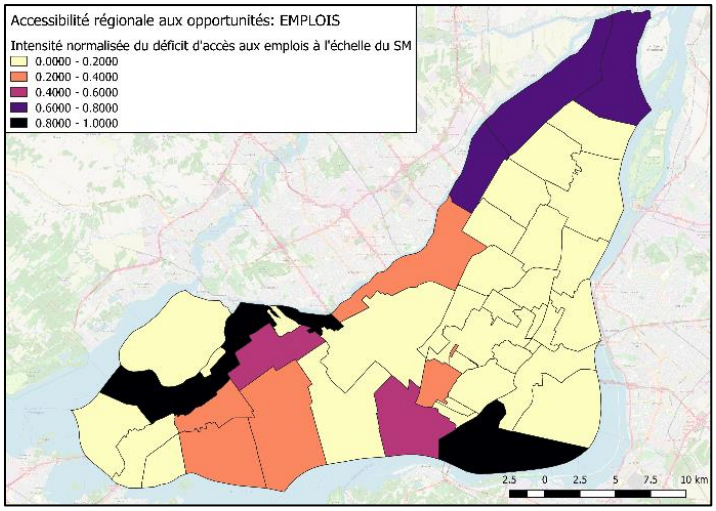


Figure 4.42 - Agrégation de l'indice de pauvreté d'accès à l'échelle du secteur municipal.

Ainsi, dans le cas de l'accessibilité aux pôles d'emplois, il s'avère que les deux secteurs témoignant du score cumulatif de déficit le plus élevé à l'échelle du secteur municipal sont ceux de LaSalle et de Pierrefonds (Figure 4.42, en noir). Ces secteurs sont suivis de près par Montréal-Nord, Rivière-des-Prairies et Pointe-aux-Trembles (en violet), puis par Lachine ainsi que Dollard-des-Ormeaux (rose). Il importe de garder à l'esprit que la valeur des variables associées au déficit d'accessibilité dépend des seuils établis pour définir les pointages de pauvreté d'accès (voir section 3.5.3.1), lesquels reposent sur des décisions arbitraires. Il serait ainsi possible que les résultats présentés aux figures 4.40 et 4.41 varient selon que les seuils eurent été différents.

4.3.1.3 Exposition à l'offre de transport collectif

Le troisième volet d'accessibilité couvert s'intéresse aux niveaux d'exposition à l'offre de transport collectif à l'échelle du voisinage. Ses trois indicateurs traitent respectivement de l'accès aux arrêts, de l'intensité de service (en termes de passages-ligne quotidiens) et de la continuité temporelle de la desserte au cours d'une journée (en nombre d'heures cumulées de service). L'exemple employé ici fera écho à l'intensité du service et reposera sur l'offre accessible à 5 et à 10 minutes de marche.

La quantité quotidienne de passages-ligne à laquelle a accès un individu varie grandement selon la distance de marche considérée (figures 4.43 et 4.44). À 10 minutes, l'effet du métro est clairement perceptible, ce dernier offrant une fréquence très élevée. À l'inverse, divers secteurs du territoire, notamment ceux de l'ouest de l'île, disposent d'une intensité de desserte fortement réduite, surtout lorsque celle-ci est traduite à la lumière de seuils de pauvreté d'accessibilité (figure 4.45). Pour les

trois indicateurs relatifs à la qualité de l'offre de transport, ces seuils ont été établis selon les niveaux d'accès à la fois à 5 et à 10 minutes de marche. Par exemple, pour l'indicateur relatif à l'intensité de service, la pauvreté absolue (2 points) concerne les individus disposant de moins de 100 passages-ligne quotidiens (sur 24 heures) à 5 minutes de marche, alors que la pauvreté relative (1 point) traduit plutôt un nombre de passages journaliers inférieur à 345 à 10 minutes de marche. L'effet structurant des lignes de bus à haute fréquence (réseau 10 minutes max) et des terminus se manifeste aisément dans les portions du territoire caractérisées par une desserte de moindre niveau comme l'Ouest-de-l'Île (figure 4.45). La carte de chaleur, laquelle témoigne du produit entre le score de vulnérabilité sociale en transport et le pointage de déficit d'accessibilité, met en lumière l'apport potentiel de certains projets de transport collectif sur l'amélioration de l'offre de service dans certains secteurs défavorisés (figure 4.46). C'est notamment le cas du REM (en pointillé vert), lequel traverse divers secteurs fortement vulnérables caractérisés par une fréquence réduite.

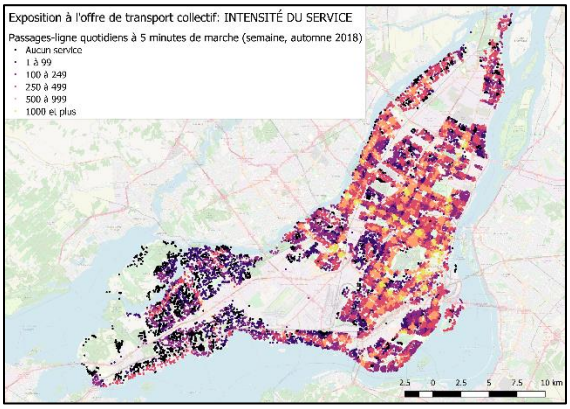


Figure 4.43 - Passages-ligne à 5 minutes (à pied).

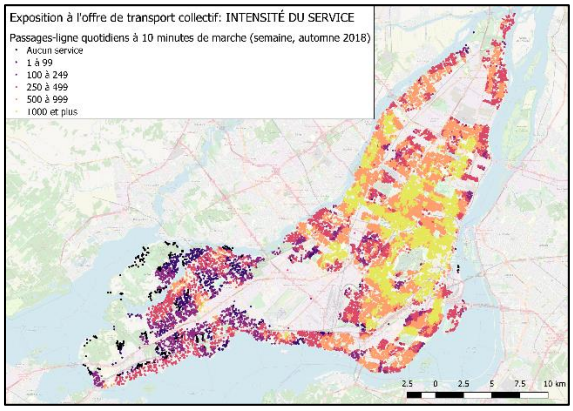


Figure 4.44 - Passages-ligne à 10 minutes (à pied).

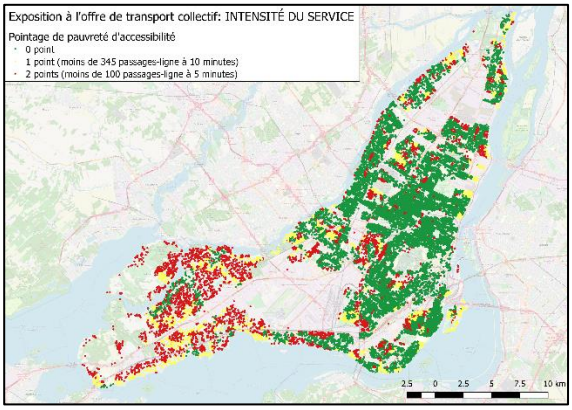


Figure 4.45 - Pauvreté d'intensité de service.

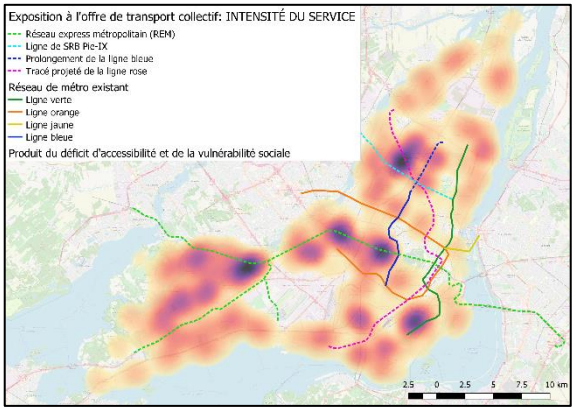


Figure 4.46 - Zones de pauvreté d'intensité d'offre.

4.3.1.4 Discussion

Les divers exemples relatifs à l'analyse du déficit d'accessibilité à des opportunités précises visent à fournir un aperçu du potentiel de cette méthode qui, en reposant sur une série de trois cartes, aide à comprendre comment se manifeste spatialement et socialement ce déficit. Le même procédé fut appliqué à l'ensemble des opportunités retenues pour ce diagnostic d'équité d'accessibilité locale et du transport collectif et les résultats sont disponibles de façon intégrale à l'annexe A. Une telle approche pourrait notamment servir à mieux orienter la desserte de services publics, moyennant un accès à des bases de données d'opportunités à jour. Il importe cependant de garder à l'esprit que ce diagnostic repose sur de nombreuses limites d'ordre divers pouvant affecter les résultats. Celles-ci seront détaillées lors de la conclusion (section 5.3).

Le pointage individuel, qui est le produit de la vulnérabilité sociale, du déficit d'accessibilité et du facteur d'expansion, varie de manière importante d'une opportunité à l'autre. Cela vaut autant pour le score maximal pouvant être atteint par une personne que pour la somme cumulée de cet indice sur l'ensemble de la population (Tableau 4.12). Bien que ces résultats dépendent des seuils fixés de façon différente pour chaque opportunité, ils témoignent d'une intensité de déficit variable selon la catégorie. Cette variabilité des pointages individuels maximaux limite la comparabilité des cartes de chaleur entre opportunités. En effet, une même intensité (associée à une couleur foncée) sur la carte peut traduire des valeurs maximales différentes (Tableau 4.12) selon l'opportunité analysée.

Tableau 4.12 - Score individuel maximal et indice de déficit cumulé sur la population.

Catégorie	Opportunité	Score individuel maximal	Indice cumulé ($X\ 10^5$)
Emplois	Emplois (SR)	1380	10,65
Éducation	Garderies et CPE	1380	13,87
	Écoles primaires	908	9,07
	Écoles secondaires	1380	9,7
	Centres de formation professionnelle	454	2,95
	CÉGEPs	745	9,5
	Universités	1380	7,5
Santé	CLSC	635	3,04
	Hôpitaux	1380	16,79
Commerces	Supermarchés	1276	7,17
	Pharmacies	908	3,24
	Magasins d'escompte	1380	8,44
	Magasins du dollar	1380	10,67
Loisirs	Bibliothèques	483	1,19
	Musées	1380	5,74
	Espaces verts	1276	7,42
	Grands parcs	1380	13,06

4.3.2 Pauvreté d'accessibilité cumulée

Ce deuxième axe de diagnostic sufficientariste vise à offrir une perspective globale quant au déficit d'accessibilité, afin de traduire le niveau d'accès d'un individu à plusieurs opportunités de manière simultanée. Ce volet de l'analyse repose sur les mesures produites à la première étape du diagnostic sufficientariste (voir section 4.3.1). Il s'agit de faire la somme des pointages de déficit d'un individu pour chacun des trois volets d'accessibilité (locale, régionale, offre TC). Ce faisant, plus le pointage cumulé est faible, meilleures sont les conditions d'accessibilité d'une personne, celle-ci disposant d'un accès à une majorité d'opportunités à l'intérieur des seuils établis. À l'inverse, un score élevé traduit plutôt un déficit d'accès à plusieurs types d'opportunités simultanément pour un individu.

4.3.2.1 Pauvreté d'accessibilité par volet

Dans un premier temps, des pointages cumulatifs de pauvreté d'accessibilité ont été instaurés pour chacun des volets d'accessibilité, relatifs aux échelles locale et régionale ainsi qu'à la qualité de la desserte de transport collectif. Les constats sont variables d'un volet à l'autre (figures 4.47 à 4.52). La carte relative à la pauvreté d'accessibilité locale (Figure 4.47) met en évidence la présence de pôles de services en divers endroits du territoire, notamment dans les quartiers centraux, mais aussi en d'autres endroits du territoire d'analyse. La tendance spatiale relative aux opportunités locales tranche avec celle propre à l'accessibilité régionale, laquelle semble davantage concentrée au cœur de l'agglomération, laissant transparaître plus de lacunes dans les zones périphériques du territoire (Figure 4.49). Il faut dire que la qualité de l'accessibilité régionale est tributaire de la présence de réseaux de transport collectif efficaces, lesquels sont orientés vers le centre de l'île. Il demeure que les voisinages caractérisés par une accessibilité parfaite aux opportunités régionales sont relativement peu nombreux et sont généralement situés le long des lignes de métro, bien que cela ne soit pas toujours le cas. Quant à la pauvreté cumulée relative à l'offre de transport collectif, elle témoigne d'une plus grande variabilité des conditions à petite échelle, la répartition des scores de pauvreté d'accessibilité étant moins uniforme que pour les deux autres volets de mesures (Figure 4.51). Il existe effectivement une grande quantité de pôles caractérisés par une desserte déficitaire (en fonction des seuils établis de manière arbitraire, faut-il le rappeler). Certains d'entre eux sont d'ailleurs présents dans la partie centrale du territoire, qui est généralement associée à une bonne accessibilité en vertu des échelles locale et régionale (Figure 4.11).

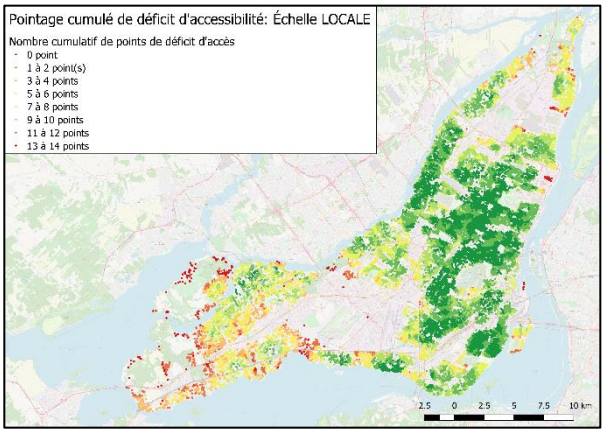


Figure 4.47 - Déficit cumulé d'accessibilité locale.

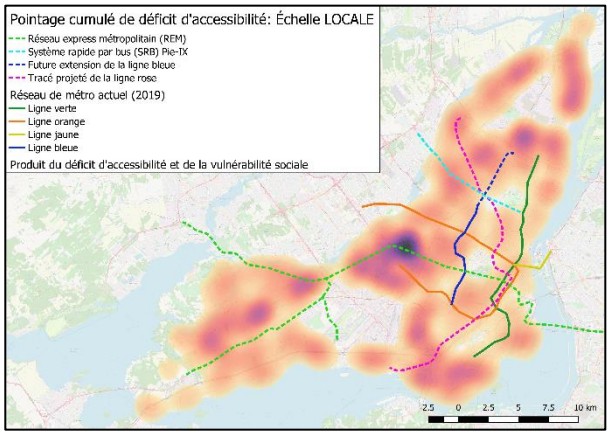


Figure 4.48 - Zones vulnérables de déficit d'accès local.

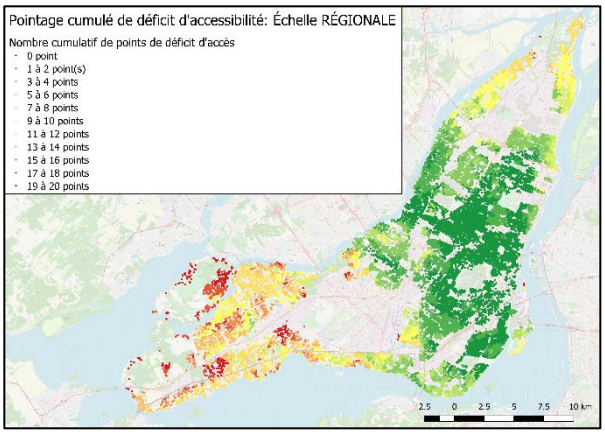


Figure 4.49 - Déficit cumulé d'accessibilité régionale.

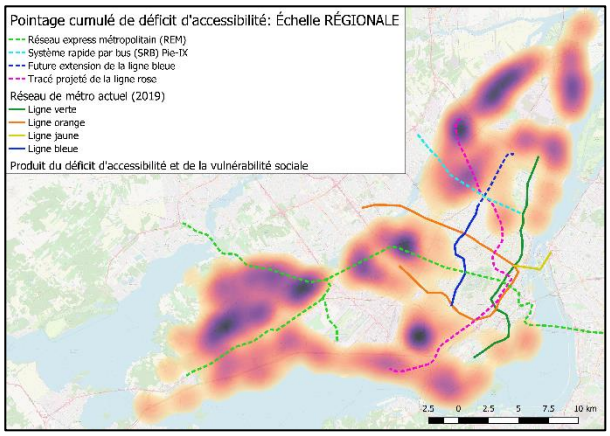


Figure 4.50 - Zones vulnérables de déficit d'accès régional.

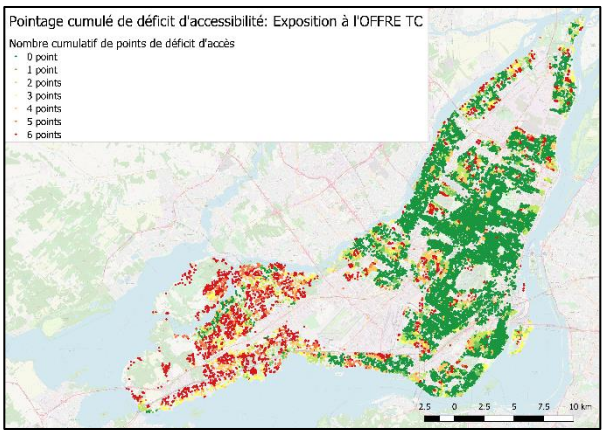


Figure 4.51 - Déficit cumulé d'exposition à l'offre de transport collectif.

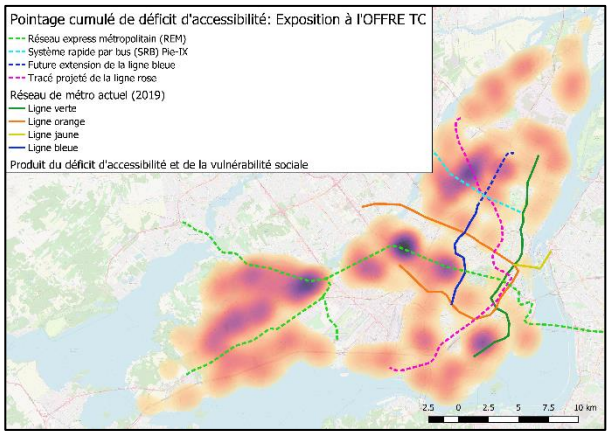


Figure 4.52 - Zones vulnérables de pauvreté d'offre de transport collectif.

Pour chaque volet, une carte de chaleur met en évidence les pôles de forte vulnérabilité sociale en transport caractérisés par des pointages élevés de déficit d'accessibilité (figures 4.48, 4.50, 4.52). La variable discriminante employée résulte du produit entre le pointage de vulnérabilité, le facteur d'expansion tiré de l'EOD13 et le pointage cumulé de pauvreté d'accessibilité, à l'instar de ce qui avait été fait pour chaque opportunité (voir section 4.3.1). À noter que cette opération n'a été menée que pour les individus dont les pointages de vulnérabilité sont égaux ou supérieurs à trois points, ce qui correspond aux segments V4-V5-V6-V7. Les écarts entre les trois volets sont encore plus aisément perceptibles via ce type de représentation, les pôles prioritaires variant d'une échelle à l'autre. D'ailleurs, alors que certains endroits s'avèrent problématiques en vertu d'un seul des trois volets, d'autres ressortent de manière évidente à chaque reprise. Il serait d'ailleurs intéressant de comparer ces résultats à ceux issus de l'approche égalitariste des typologies d'accessibilité, certains constats étant similaires quant aux zones et au genre d'intervention à prioriser. L'apport potentiel de projets de transport est également mis en évidence par ces cartes de chaleur.

Quelques spécifications sont de mises quant à l'interprétation des cartes de chaleur visant à traduire le déficit cumulatif relatif à un volet précis d'accessibilité (local, régional, offre de TC). En effet, la mise en commun des opportunités s'est faite sans normalisation des scores de déficit relatifs aux diverses catégories, cela afin de refléter l'intensité variable du déficit entre ces dernières. Il s'agit d'un choix arbitraire, puisqu'il aurait été possible de normaliser ces pointages ou encore de les pondérer pour refléter l'importance variable des opportunités, ce qui aurait entraîné un diagnostic possiblement différent. C'est pourquoi il faut toujours garder à l'esprit les hypothèses sous-jacentes à ce type de diagnostic, lequel repose sur le jumelage d'hypothèses simplificatrices.

4.3.2.2 Pauvreté d'accessibilité globale

En phase avec l'étape précédente, qui consistait à produire un pointage cumulatif de déficit d'accès pour chacun des trois volets d'accessibilité, la prochaine étape logique fut de faire la somme de ces trois pointages pour créer un indicateur composite, lequel serait apte à traduire le niveau d'accès à diverses échelles par l'entremise d'une seule valeur. Cela renvoie à une sorte de pointage hybride qui combinerait à la fois la qualité de l'accessibilité locale et celle relative à l'offre de transport collectif, tant du point de vue du niveau de desserte que de l'accessibilité dérivée de cette offre. La Figure 4.53 témoigne du pointage cumulatif final.

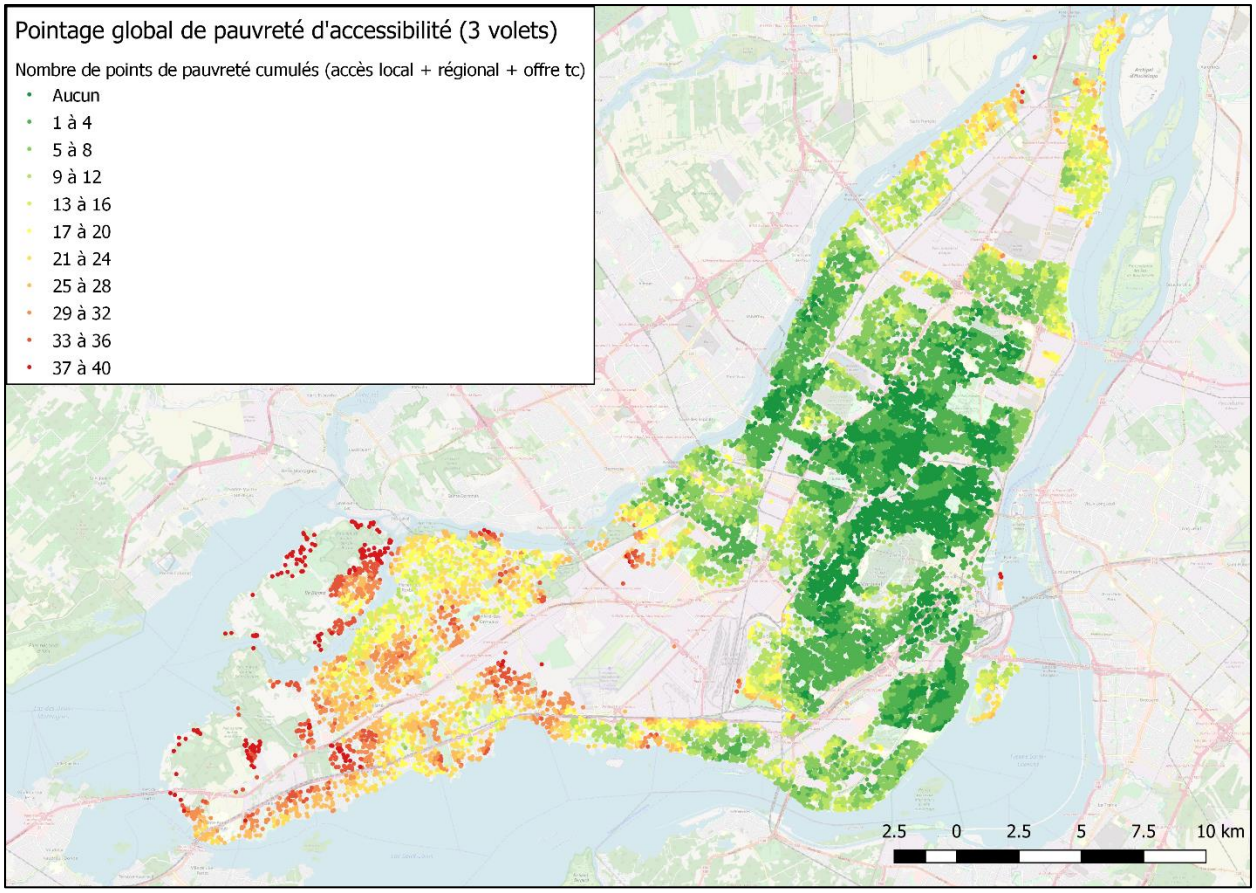


Figure 4.53 - Pointage global de pauvreté d'accessibilité combinant les trois volets.

De manière générale, les quartiers situés sur le flanc nord du mont Royal ainsi que le quadrilatère formé par l'avenue du Parc, l'autoroute métropolitaine, le boulevard Pie-IX et la rue Notre-Dame semblent bénéficier des meilleurs niveaux généraux d'accessibilité, ces secteurs étant associés à un pointage nul de déficit d'accès. D'autres secteurs jouissent également de très bons niveaux, comme Notre-Dame-de-Grâce, Ahuntsic, Verdun, le Sud-Ouest, Rosemont et Hochelaga, entre autres. Les quartiers centraux ne rencontrent ainsi pas de déficits notables d'accessibilité, sauf dans le cas de certains secteurs plus enclavés. Les extrémités de l'île de Montréal affichent quant à elles un déficit plus prononcé, bien que le portrait soit généralement moins sombre dans l'Est que dans l'Ouest. Il existe notamment quelques zones cumulant jusqu'à 40 points de pauvreté d'accessibilité, traduisant un déficit d'accessibilité à l'ensemble des 20 opportunités retenues (Figure 4.53). Ces secteurs ne semblent néanmoins pas afficher de fortes concentrations de populations vulnérables, la carte de chaleur mettant plutôt en lumière des zones caractérisées par des niveaux moyens d'accessibilité (Figure 4.54). Selon cette représentation, les secteurs à prioriser sont situés au nord-ouest de l'île.

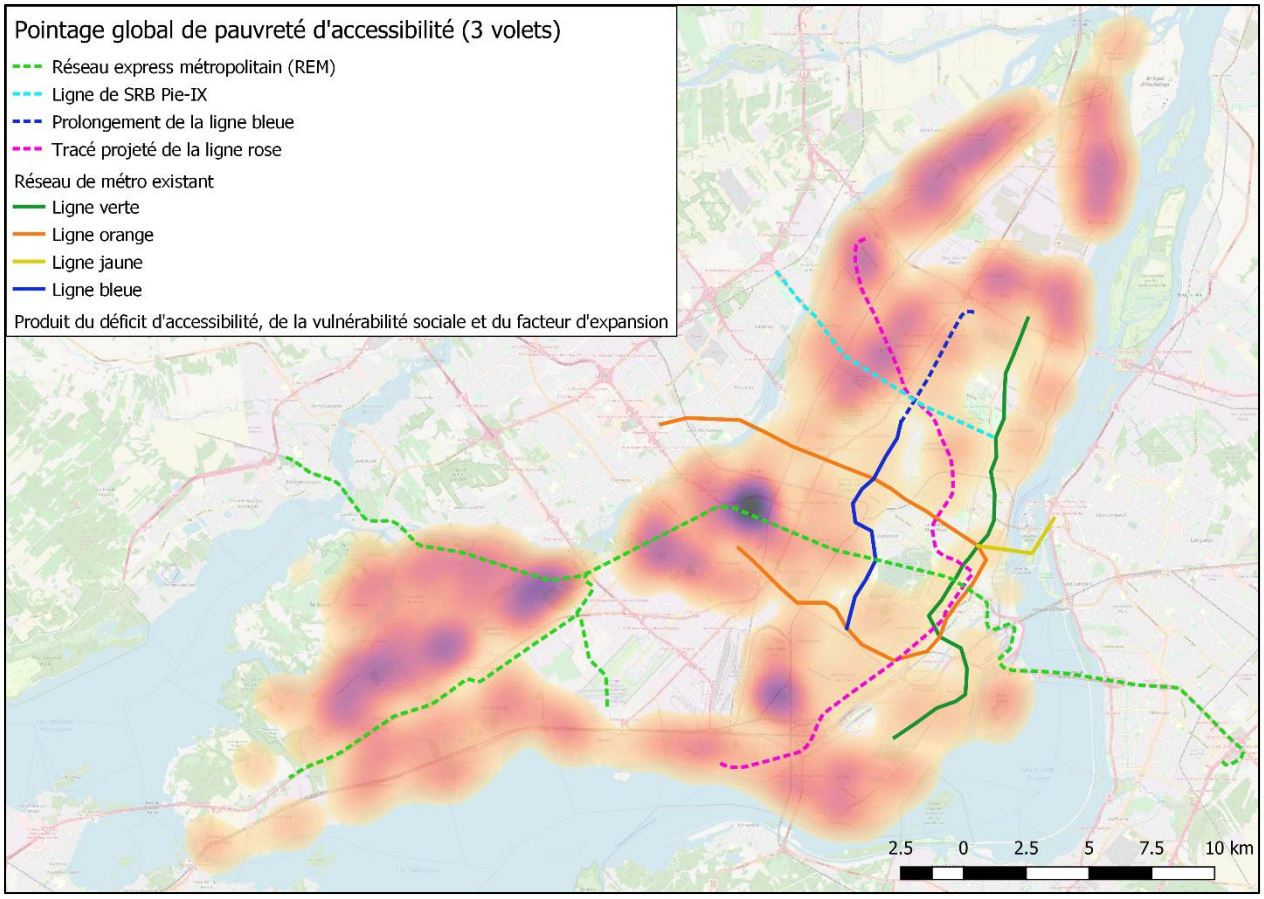


Figure 4.54 - Carte de chaleur des zones vulnérables liées au pointage global de pauvreté d'accès.

Le pointage global de déficit d'accessibilité revêt un potentiel pour traduire de manière synthétique la variabilité des contextes spatiaux en vigueur au sein d'un territoire donné. Il est d'ailleurs facile d'identifier quelles opportunités font défaut pour chaque ménage, les lieux de domicile étant tous représentés spatialement et associés à une table d'attributs détaillant les niveaux d'accessibilité, ce qui pourrait servir non seulement à la planification stratégique du transport collectif, mais aussi à bonifier les pratiques d'urbanisme, en facilitant l'identification de problèmes d'accessibilité locale. En restant cependant dans une optique de planification équitable d'une offre de transport collectif, ce pointage global prend tout son sens, surtout à la lumière du principe de *worst-off man* de Rawls (1971), lequel stipule qu'il faut aider en priorité les personnes les plus défavorisées. Or, en matière de transport, cela revient à identifier des individus vulnérables d'un point de vue de la mobilité qui résident dans des voisinages caractérisés par des lacunes au chapitre de l'accessibilité (Lucas et al., 2018; Martens, 2016; Garcia et al., 2018). Ainsi, plus une personne vulnérable témoigne d'un fort déficit d'accessibilité, plus elle gagne en priorité au sein de la hiérarchie des interventions sociales

en transport collectif. Cela vaut également pour l'accessibilité locale, bien que celle-ci ne dépende pas de la qualité de la desserte de transport. Or, une défaillance à cette échelle peut servir à justifier un renforcement de la desserte de transport collectif, les populations devant parfois sortir de leur voisinage pour répondre à leurs besoins.

La carte de chaleur cumulative (Figure 4.54) témoigne de concentrations d'individus vulnérables cumulant plusieurs points de déficit d'accessibilité. Il faut cependant accepter les résultats de cette analyse avec prudence, étant donné les diverses hypothèses et limites qui y sont associées. Celles-ci sont explicitées dans la conclusion de ce mémoire (voir section 5.3). L'approche sufficientariste revêt d'ailleurs un potentiel d'améliorations, divers paramètres pouvant être bonifiés afin de mieux refléter la situation réelle. Ces perspectives sont aussi détaillées dans la conclusion (section 5.4).

CHAPITRE 5 CONCLUSION

5.1 Synthèse de la méthode

La méthode de diagnostic de l'équité d'une offre de transport collectif présentée dans ce mémoire s'inscrit dans une perspective de mise en application des principes du développement durable, qui reposent sur les sphères environnementale, économique, mais aussi sociale (ONU, 1987). Il s'avère pourtant que ce dernier volet constitue jusqu'ici le « parent pauvre » au chapitre de l'intégration au sein des politiques publiques, celles-ci ayant plutôt misé sur les aspects économiques (par exemple en vantant le commerce équitable et l'achat local) et environnementaux (programmes de réduction des émissions de GES et de gestion des matières résiduelles, entre autres choses). Il a par ailleurs été démontré que des investissements en transport collectif motivés par les idées du développement durable ont eu tendance à orienter les ressources vers des populations peu vulnérables qui disposent déjà d'alternatives, notamment dans le but de diminuer la pollution et de fidéliser de nouveaux usagers (Karner, 2018; Jiao et Dillivan, 2013). Non seulement ces initiatives ont généralement eu des impacts limités, mais elles ont détourné des ressources qui auraient pu profiter à l'amélioration des conditions de mobilité de populations captives de l'offre de transport collectif. C'est dans cette perspective que le présent mémoire cherchait à proposer une méthode de diagnostic visant à évaluer si l'offre de transport collectif avantage les individus les plus vulnérables en termes d'accessibilité.

Le terme équité renvoie à des réalités variées dans le domaine du transport. Il peut évoquer l'idée d'accessibilité universelle pour certains, de tarification sociale pour d'autres, ou encore faire écho aux externalités environnementales des réseaux de transport. Dans le cadre de ce mémoire, il a été décidé d'orienter le diagnostic en fonction du bénéfice premier d'un système de mobilité, qui réside dans l'accessibilité qu'il confère aux individus (Martens, 2016; Van Wee et Geurs, 2011). L'enjeu social le plus évident dans cette perspective tient à la combinaison d'un déficit d'accessibilité et de facteurs de vulnérabilité sociale, dont la synergie peut accroître le risque d'exclusion sociale par le transport chez les individus défavorisés d'un point de vue de la mobilité (Jones et Lucas, 2012a; UK Social Exclusion Unit, 2003). Cet enjeu se trouve d'ailleurs exacerbé par le contexte de dépendance automobile (Kenyon et al., 2002; UK Sustainable Development Commision, 2011), caractérisé par un éclatement des lieux d'activité et de l'hypermobilité. Cette réalité induit une pression accrue envers la motorisation, ce qui peut s'avérer hautement contraignant pour les

individus vulnérables, dont ceux à faible revenu (Mattioli, 2014; Taylor et al., 2009). C'est dans cette optique que l'importance des services de proximité et d'une offre de transport collectif de qualité prend tout son sens, en cela qu'ils sont susceptibles de favoriser la participation sociale des segments de population touchés par des obstacles variés à la mobilité (Currie et al., 2009; Lucas et al., 2018; Garrett et Taylor, 1999).

L'énoncé de la problématique va comme suit : **l'offre de transport collectif et l'accessibilité aux opportunités qui en découle favorisent-elles les individus à risque de pauvreté d'accessibilité et d'exclusion sociale?** Pour répondre à cette question, un modèle de diagnostic fut mis au point à la lumière de la littérature relative à l'équité en transport. Tout d'abord, puisque tous ne sont pas égaux en matière de mobilité (Litman, 2017), une échelle de vulnérabilité sociale en transport a été développée, laquelle vise à faciliter l'identification des zones de vulnérabilité sociale et à permettre une évaluation de l'équité verticale de l'accessibilité. Les attributs constituants ont été sélectionnés en fonction de la littérature et extraits de l'Enquête Origine-Destination de 2013. Diverses mesures d'accessibilité à une gamme élargie d'opportunités jugées essentielles à la satisfaction des besoins de base et à l'épanouissement des individus ont alors été développées, en lien avec l'accessibilité locale, régionale et la qualité de l'offre de transport. Par la suite, une approche de diagnostic hybride fut développée, basée sur les principes de justice distributive égalitariste et sufficientariste (Meyer et Roser, 2009; Pereira et al., 2017). Ces deux approches sont inspirées de celles identifiées dans la littérature, telles que les analyses d'adéquation de l'offre aux besoins (*needs-gap analysis*) et d'évaluation de l'équité verticale des niveaux d'accessibilité. Ces deux approches tentent, chacune à leur façon, d'établir une hiérarchie des zones et des interventions à prioriser d'un point de vue moral, cela afin de mitiger les conditions d'accessibilité déficientes et d'encourager une participation accrue des populations vulnérables à la vie économique et sociale.

La première approche fait écho au principe égalitariste de justice, lequel s'intéresse aux écarts entre les individus, donc au niveau <u>relatif</u> de ressources, tout en stipulant qu'il importe d'aider de façon prioritaire les populations défavorisées (Meyer et Roser, 2009). Ainsi, une première analyse visait à évaluer si les niveaux d'accessibilité favorisent les segments de population vulnérable, de manière conforme au principe de visée prioritaire (Parfit, 1997), ce qui a permis de constater que le transport collectif semble globalement les avantager (section 4.2.1). Une deuxième analyse, reposant sur des typologies d'accessibilité (section 4.2.2), a permis de mettre en évidence des lacunes d'accessibilité présentes dans divers types de contextes urbains et d'orienter les types d'interventions sur lesquels

miser pour rectifier la situation. Cette méthode novatrice, qui définit les conditions d'accessibilité en fonction de l'accessibilité locale (à pied), de l'accessibilité régionale (en transport collectif) ainsi que de la qualité de l'offre locale de transport, permet d'ailleurs l'identification des zones à risque pour chacune des typologies, conformément à l'idée qu'il faut orienter les interventions de manière prioritaire vers les zones combinant une forte vulnérabilité individuelle et un déficit d'accessibilité. Cela fait écho au principe de différence du théoricien égalitariste John Rawls (1971).

La seconde approche répond plutôt à une logique sufficientariste, associée à la notion de seuil de suffisance et, dans un contexte de mobilité, à la pauvreté d'accessibilité. Moyennant l'identification (arbitraire) de seuils différents pour chaque type d'opportunité, il fut possible de mettre en évidence en quoi l'accessibilité varie spatialement et socialement selon le secteur et l'opportunité considérés (section 4.3.1). La combinaison des pointages de pauvreté d'accessibilité permet aussi de composer des indicateurs cumulatifs, traduisant le portrait général du déficit d'accès, que ce soit pour un volet précis (accessibilité locale, régionale ou à l'offre de transport collectif) ou pour l'ensemble des 20 opportunités simultanément, créant ainsi un proxy du niveau global d'accessibilité. Le croisement des pointages de déficit d'accessibilité et de vulnérabilité sociale facilite ensuite l'identification de zones d'intervention prioritaires, soit des secteurs enclins à l'apparition du phénomène d'exclusion sociale par le transport ou de motorisation contrainte (Mattioli, 2014).

Fait notable, les deux approches de diagnostic mènent à des diagnostics dissemblables, lesquels ne pointent pas nécessairement vers le même type d'intervention ou les mêmes zones prioritaires (voir Figure 4.29 et 4.54). Cela peut notamment s'expliquer par les fondements différents des approches, l'une étant plus relative (égalitarisme) et l'autre absolue (sufficientarisme). Il s'avère donc crucial d'aborder les résultats avec un certain recul, ceux-ci étant d'ailleurs le fruit de diverses hypothèses et de limites variées (voir 5.3). Par ailleurs, la pertinence des approches peut varier à la lumière des objectifs visés en pratique. Il demeure malgré tout pertinent de recourir aux deux approches afin de témoigner de la sensibilité du diagnostic au choix d'un principe de justice donné.

Le présent mémoire ne permet pas de se prononcer sur l'approche à privilégier, puisque toutes deux comportent un certain nombre de limites. Quant à déterminer si la problématique est adressée de façon adéquate par ces dernières, il faut dire que la portée des résultats ne permet pas d'y répondre de manière précise. À la lumière de l'évaluation agrégée de l'accessibilité (section 4.2.1), il semble que la desserte de transport collectif favorise les individus vulnérables, moyennant des temps de

parcours longs. Il reste que la méthode proposée sert avant tout à faciliter l'identification de zones d'action prioritaires en vue d'une analyse sectorielle plus fine des enjeux d'accessibilité et non pas à déterminer si un réseau de transport collectif est équitable à proprement parler. En ce sens, la méthode développée dans ce mémoire fait écho aux principes du *maximin* et du *worst-off man* de Rawls (1971), en vertu desquels l'intervention à privilégier d'un point de vue moral est celle qui permet d'améliorer le sort du plus grand nombre (*maxi*) d'individus identifiés comme faisant partie du segment le plus vulnérable (*min*). Dans cette optique, l'analyse par cartes de chaleur trouve sa pertinence, puisqu'elle sert essentiellement à identifier des zones affichant de fortes concentrations d'individus vulnérables et des faiblesses au chapitre de l'accessibilité, que ce soit de façon relative (approche égalitariste) ou absolue (approche sufficientariste). Reste qu'en raison des hypothèses et limites multiples, le diagnostic ne permet pas une analyse fine, mais devrait plutôt servir à faciliter l'identification de zones au sein desquelles il serait intéressant de pousser plus loin le diagnostic. Un raffinement des hypothèses permet cependant d'envisager le recours à ce cadre méthodologique pour cerner des enjeux d'accessibilité et identifier le type d'intervention adapté à chaque contexte.

5.2 Contributions du mémoire

Diverses contributions peuvent être attribuées à ce mémoire, qui s'inscrit dans un champ d'études dynamique, soit l'équité en transport. Il est question ici d'apports qui, lorsque combinés, permettent l'émergence d'une approche de diagnostic en phase avec la littérature sur la justice en transport.

5.2.1 Définition d'un cadre théorique de diagnostic de l'équité en transport

Un des principaux obstacles à l'intégration effective des principes d'équité dans la planification du transport réside dans la faiblesse d'articulation des concepts de justice dans une optique propre au domaine (Jones et Lucas, 2012) et à la diversité des retombées, susceptibles d'affecter les individus de manière variable (Litman, 2017). En ce sens, une des contributions de ce mémoire réside dans l'élaboration d'un cadre conceptuel bien articulé visant à définir en quoi consiste une planification équitable du transport collectif. Cette vision a émergé de la combinaison de principes de justice, de l'identification du bénéfice premier du transport (accessibilité) et des enjeux associés au contexte de dépendance automobile, en particulier chez les populations vulnérables d'un point de vue de la mobilité. Le cadre théorique résultant fournit une assise pertinente pour procéder à un diagnostic d'équité axé sur la prévention de l'exclusion sociale par le transport.

5.2.2 Échelle de vulnérabilité sociale en transport

Considérant la variabilité des conditions individuelles et des besoins en ce qui a trait à la mobilité, il s'avérait primordial d'effectuer une caractérisation préalable des individus avant de procéder au diagnostic d'équité en bonne et due forme. Dans cette optique, l'échelle de vulnérabilité sociale en transport proposée dans le cadre de ce mémoire constitue une contribution notoire, aucune échelle similaire n'ayant été identifiée dans la littérature relative à l'équité du transport. Il existe certes un équivalent à l'échelle du secteur de recensement (Foch et al., 2013), mais pas sur la base des mêmes attributs, d'autant plus qu'une analyse à ce niveau ne permet pas un diagnostic aussi précis que ce mémoire, lequel permet une évaluation au niveau de l'individu. L'échelle de vulnérabilité proposée est fortement inspirée de la littérature, les attributs retenus ayant trouvé un écho dans au moins trois articles (Litman, 2017; Di Ciommo et Shiftan, 2017; Schwanen et al., 2008). Elle est bien adaptée à une évaluation de l'équité verticale des niveaux d'accessibilité, en plus de faciliter la justification d'une desserte préférentielle de transport collectif dans les zones à vulnérabilité sociale prononcée.

5.2.3 Banque d'opportunités favorables au développement individuel

Une autre contribution de ce mémoire réside dans la constitution d'une banque d'opportunités liées à la satisfaction des besoins primaires des individus et à l'établissement de perspectives équitables de développement personnel. Puisque l'angle d'approche de la méthode consistait en l'évaluation de l'accessibilité, il s'avérait indispensable d'intégrer une sélection d'opportunités spatialisées au processus. Or, d'un article à l'autre, le choix des opportunités est hautement variable, d'autant plus qu'une majorité d'entre eux ne se concentrent que sur une seule catégorie. La volonté de l'auteur étant cependant de brosser un portrait général de l'accessibilité, il fut décidé de retenir une gamme élargie d'opportunités, relatives aux cinq grandes catégories mentionnées au sein du rapport du *UK Social Exclusion Unit* (2003), à savoir les commerces, l'emploi, les loisirs, les institutions de santé ainsi que les établissements d'éducation. Puisqu'aucune des bases de données identifiées n'offrait un portrait complet de l'ensemble des opportunités, il fut décidé d'en combiner plusieurs (voir la section 3.4.2). Bien que la base de données résultante contienne une grande quantité d'information, il subsiste un risque de non représentativité de l'ensemble des opportunités réellement présentes au sein du territoire d'étude, aucune validation externe n'ayant été menée. Ainsi, bien que le processus de fusion constitue un pas dans la bonne direction, il n'est pas garant de la précision des données.

5.2.4 Mesures d'accessibilité à une échelle désagrégée

La plupart des analyses d'accessibilité sont conduites à l'échelle de secteurs agrégés, tels que des secteurs de recensement ou des zones de trafic (*Traffic Analysis Zone*). Les résultats sont alors les mêmes pour l'ensemble des individus compris au sein de ces zones, bien que les conditions au sein de celles-ci puissent afficher d'importantes variations. Cela vaut aussi pour les caractéristiques des populations, qui risquent de ne pas être distribuées de manière uniforme dans une zone. L'Enquête Origine-Destination fournit un niveau de résolution beaucoup plus fin, à l'échelle de l'individu, ce qui permet des analyses plus précises quant à la variabilité locale de l'accessibilité. En ce sens, le fait que les mesures d'accessibilité soient développées à l'échelle individuelle constitue une autre contribution de la présente méthode, ce niveau de résolution spatiale étant peu courant dans la littérature. L'échantillon de l'EOD13 relatif à l'agglomération de Montréal contient d'ailleurs un nombre d'observations assez grand pour bien couvrir l'ensemble des zones habitées du territoire. Par ailleurs, la combinaison de l'échelle de vulnérabilité et des indicateurs d'accessibilité fait écho aux principes capacitistes de justice (Sen, 2005), selon lesquels les mesures doivent tenir compte de la condition propre à chaque individu. Cette association mériterait cependant d'être approfondie.

5.2.5 Illustration de la variabilité du diagnostic selon le principe de justice

En offrant un diagnostic en fonction de deux principes de justice distributive, la méthode contribue à mettre en lumière la variabilité des résultats selon l'approche mise à profit. Il en résulte un avis de précaution quant à l'interprétation du diagnostic, celui-ci étant sensible au principe sous-jacent. D'un côté, le diagnostic égalitariste s'intéresse au positionnement relatif d'un individu par rapport à une population et mise essentiellement sur la réduction des écarts d'accessibilité entre individus, surtout à la faveur des personnes identifiées comme vulnérables. D'un autre côté, le diagnostic de type sufficientariste se penche sur le niveau absolu de ressources dont dispose un individu, encore une fois avec une attention particulière portée aux populations vulnérables, faisant écho au principe du *maximin* (Rawls, 1971), qui cherche à garantir la meilleure issue possible pour les personnes les plus désavantagées. La plupart des articles, sauf exceptions (Garcia et al., 2018; Lucas et al. 2015) n'ont recours qu'à un seul principe de justice et non à deux dans une optique de comparaison. Selon divers articles récents, la combinaison des approches égalitariste et sufficientariste revêt un attrait important pour effectuer un diagnostic d'équité en transport (Pereira et al, 2017; Lucas et al, 2015).

5.2.6 Approche par typologies d'accessibilité

Il est probable que la contribution la plus originale de ce mémoire tienne à l'approche de diagnostic par typologies d'accessibilité, une méthode inédite dans la littérature relative à l'équité d'une offre de transport collectif. Plutôt que de traiter d'accessibilité uniquement sous l'angle de la desserte de transport à proximité du lieu de résidence ou bien des opportunités auxquelles a accès un individu en transport collectif, ce qui est le propre de la vaste majorité des articles sur le sujet, la méthode proposée ici met en relation ces deux volets distincts de l'accessibilité, en plus de lui combiner la qualité des services de proximité présents à l'échelle du voisinage. Les typologies résultant de cette interaction entre ces trois volets complémentaires d'accessibilité traduisent des contextes uniques, riches en termes de perspectives analytiques. L'accessibilité locale apparaît hautement importante pour les individus vulnérables, lesquels effectuent des déplacements plus courts et font usage dans une plus grande proportion des modes actifs. L'accessibilité régionale en transport collectif s'avère cruciale pour accéder à divers services de grande envergure, tels que les établissements de santé et d'éducation supérieure. Quant au volet relatif à la qualité de l'offre de transport collectif, il agit comme proxy de la fréquence à laquelle un individu jouit d'un bon niveau d'accessibilité régionale. L'approche par typologies, en facilitant l'identification d'interventions adaptées à chaque contexte, permet une meilleure adéquation entre les lacunes d'accessibilité et les actions à privilégier pour y remédier. Le recours aux cartes de chaleur facilite ensuite la priorisation des zones d'intervention, mettant en lumière des secteurs caractérisés par une accessibilité défaillante et une concentration importante d'individus vulnérables en matière de mobilité.

5.3 Limites du cadre méthodologique

Bien que prometteuse quant à l'intégration des préoccupations de justice sociale dans les pratiques de planification, la méthode développée dans le cadre de ce mémoire renferme certaines limites et hypothèses. Il importe d'en faire mention de façon explicite afin que le lecteur prenne conscience de la portée limitée des résultats qui découlent de la méthode développée.

5.3.1 Échelle de vulnérabilité sociale en transport

L'échelle de vulnérabilité employée tout au long du diagnostic demeure pour l'instant exploratoire, reposant sur une séquence de décisions arbitraires. Cela concerne surtout les coefficients affectés aux attributs retenus pour constituer l'échelle de vulnérabilité sociale. Ces poids sont variables,

chaque facteur de risque traduisant des enjeux distincts, bien que la décision relève aussi d'un choix arbitraire reflétant la perception de gravité propre à l'auteur. La classification résultante des individus le long de l'échelle dépend nécessairement de ces décisions et l'issue aurait aisément pu être différente selon que l'échelle eut été développée par une autre personne. D'ailleurs, certains facteurs associés à une mobilité moindre, tels que la présence de limitations fonctionnelles ou bien l'ethnicité, n'étaient pas présents dans la mouture 2013 de l'Enquête Origine-Destination, rendant l'échelle de vulnérabilité incomplète. Cela influence alors l'ensemble des analyses subséquentes. Par ailleurs, le poids des segments de vulnérabilité (V1 à V7) est forcément tributaire des facteurs de pondération, qui varient d'un individu à l'autre. Il a d'ailleurs été démontré que ces facteurs sont supérieurs chez les segments vulnérables (voir la section 4.1), traduisant potentiellement une sous-représentation de ces individus parmi la base de sondage. Un taux de réponse moindre chez les individus à faible revenu (Bricka, Zmud, Wolf et Freedman, 2009) pourrait en être la cause. En outre, ces facteurs affichent des variations d'une typologie d'accessibilité à l'autre (section 4.2.2.4), se reflétant sur les analyses subséquentes en introduisant un biais potentiel.

5.3.2 Constitution des bases de données

La constitution d'une banque d'opportunités géolocalisées s'est accompagnée de limites multiples. Tout d'abord, le choix des catégories, bien qu'appuyé en partie par la littérature relative à l'équité en transport, relève d'un choix personnel, l'objectif de l'auteur étant de témoigner des conditions d'accessibilité variable à divers types d'opportunités, qui ne sont pas toutes explicitement associées à des enjeux d'équité. Dans un autre ordre d'idées, la fusion des bases de données implique nombre d'hypothèses. Ainsi, la décision de dépendre d'une ou de plusieurs bases de données pour un type d'opportunité s'est faite à la lumière du nombre d'occurrences contenues dans chacune d'elles et sur un balayage visuel visant à déterminer si la fusion en valait la peine, apportant un surplus d'information par rapport à l'utilisation d'une seule source. La fusion s'est opérée moyennant la définition d'une zone tampon de rayon variable, laquelle servait à éviter de retenir des doublons d'une même occurrence. Aucune validation systématique n'a cependant été conduite par la suite afin de vérifier qu'aucun doublon ne subsistait. Par ailleurs, et cela s'applique à l'ensemble des opportunités contenues dans la banque d'information définitive, aucune validation externe n'a permis d'attester que l'ensemble des opportunités répertoriées sur le territoire d'étude sont fidèlement représentées dans le fichier géolocalisé, ni que celles-ci sont mises à jour.

Le recours aux données *GTFS* pour effectuer des calculs d'accessibilité n'est pas exempt de limites. À cet égard, seules les données de la Société de transport de Montréal furent considérées pour le volet relatif à l'offre de transport collectif (voir 3.4.5), bien que d'autres agences soient aussi actives en divers lieux du territoire de l'agglomération de Montréal. C'est le cas d'exo, une agence opérant six lignes de train de banlieue, mais également des diverses agences (exo, STL, RTL) qui comptent des circuits transitant par des terminus métropolitains présents sur le territoire concerné. Or, étant donné la portée moindre de ces opérateurs comparativement à la STM, notamment en ce qui concerne l'intensité de service (fréquence, couverture temporelle), l'auteur a jugé que le fait de ne pas considérer les autres sociétés n'aurait qu'un impact limité sur les mesures d'accessibilité. Il faut dire que les calculs d'accessibilité régionale via le transport collectif considèrent quant à eux l'ensemble des circuits présents sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Montréal, un territoire éminemment plus vaste que celui employé pour la démonstrabilité de la présente méthode.

5.3.3 Mesures d'accessibilité aux opportunités

Les mesures d'accessibilité développées dans le cadre de ce mémoire reposent sur des hypothèses nombreuses et témoignent de diverses limites. Dans un premier temps, il importe de rappeler que le modèle retenu, soit celui d'opportunités cumulées, ne satisfait pas l'ensemble des exigences théoriques d'une mesure d'accessibilité (Geurs et van Wee, 2004). Ainsi, ce modèle implique la définition d'un seuil de distance, lequel induit notamment un effet de limite de part et d'autre de ce seuil. Or, cette rupture brutale de l'accessibilité, tout comme l'idée selon laquelle toutes les opportunités comprises à l'intérieur jouissent d'une valeur équivalente, ne respecte pas les théories comportementales élémentaires. Par ailleurs, la question des horaires y est complètement évacuée, tant en ce qui a trait à la disponibilité des opportunités qu'aux contraintes temporelles vécues par les individus. En dépit de ces nombreuses limites, il fut décidé d'opter pour ce modèle étant donnée sa facilité d'interprétation et ses atouts importants de communicabilité, qui en font un modèle plus propice à être retenu dans la pratique (Cerdà et El-Geneidy, 2010).

Dans le cadre théorique, une distinction est faite entre les échelles locale et régionale, lesquelles se rapportent respectivement à des mesures d'accessibilité à pied et en transport collectif. Or, le seuil employé pour classifier les catégories d'opportunités entre les deux volets découle d'un choix entièrement arbitraire, stipulant qu'une catégorie accessible à 75% de la population en 20 minutes de marche relève de l'échelle locale. L'emploi d'un seuil différent ou la transposition de ce dernier

à une autre région risque de teinter la classification des opportunités entre ces échelles. En ce sens, la distinction entre les échelles locales et régionales ne doit pas être perçue comme définitive, d'autant plus qu'il serait possible d'intégrer l'apport bénéfique d'opportunités dites « régionales » à l'échelle « locale » dans une éventuelle étude.

Dans un autre registre, une hypothèse est émise quant à la manière qu'ont les individus d'interagir avec les opportunités. En ce sens, l'évaluation des niveaux d'accessibilité se base sur les lieux d'activités les plus proches du domicile de chaque individu, en faisant l'hypothèse d'individus hautement rationnels qui se satisferaient des opportunités les moins distantes. Or, rien ne garantit que le fait de disposer d'une opportunité à proximité soit synonyme du désir d'en tirer profit, la notion de préférence individuelle étant ici complètement mise à l'écart.

Un total de 17 types d'opportunités spatiales ainsi que trois indicateurs d'offre de transport ont été retenus dans le cadre de cette approche. Bien qu'il serait justifié de croire que certaines catégories sont plus essentielles que d'autres à la qualité de vie et au développement des individus, aucune forme de pondération n'a été appliquée sur les opportunités. En ce sens, au sein du cadre théorique tel que présenté dans ce mémoire, toutes les opportunités disposent d'une importance équivalente. Cela ne permet pas de tenir compte des besoins et préférences variables d'un individu à un autre. Cette mention tient particulièrement pour l'élaboration d'un pointage cumulatif de déficit d'accès (section 4.3.2), qui combine la pauvreté d'accessibilité combinée à diverses opportunités. Il importe à cet égard de rappeler que le diagnostic sufficientariste repose sur la définition de seuils variables selon le genre d'opportunité et l'intensité du déficit, influençant directement les résultats obtenus.

Les calculs de temps de déplacement entre les domiciles et les opportunités ont été menés dans la plateforme *Transition*, laquelle requiert la définition de divers paramètres. Ceux-ci concernent notamment la vitesse de marche, qui est fixée à 5 km/h pour l'ensemble des individus, peu importe leur condition physique. Cela constitue une limite en ce sens qu'une personne âgée ou un enfant risque de couvrir une distance moindre qu'un individu d'âge moyen pour un même laps de temps. Il faudrait pouvoir tenir compte des capacités variables des individus afin de mieux refléter l'accessibilité potentielle dont bénéficie une personne. Cette remarque vaut non seulement pour les aspects liés à la forme physique, mais aussi pour la capacité de payer des individus, laquelle n'est aucunement considérée dans la présente méthode, bien qu'elle puisse affecter sévèrement les niveaux d'accessibilité vécus.

Une dernière limite majeure se rapportant aux mesures d'accessibilité réside dans la considération d'une seule période pour développer le volet relatif à l'accessibilité régionale en transport collectif. Celles-ci ont été conduites pour une journée de semaine en automne à 8 heures du matin, soit lors de la période d'heure de pointe du matin (HPAM). En ce sens, les mesures d'accessibilité s'avèrent hautement statiques, ne parvenant qu'à traduire l'accessibilité potentielle à une période très précise. Il est cependant connu que l'accessibilité peut fluctuer selon le moment d'observation au cours d'une journée ou selon le jour de la semaine, puisque l'intensité du service de transport collectif est généralement optimale en période HPAM. Au moins, l'évaluation parallèle de l'exposition à l'offre de transport peut d'une certaine manière compenser cette lacune, puisque ce volet traduit l'intensité quotidienne du service en question, agissant ainsi comme un proxy de l'accessibilité régionale disponible au cours d'une journée. Boisjoly et El-Geneidy (2016) ont en effet démontré que les mesures statiques à 8h du matin sont fortement corrélées à celles effectuées en continu tout au long d'une journée.

5.3.4 Diagnostic de l'équité sociale du transport collectif

La méthode de diagnostic de l'équité présentée dans ce mémoire repose sur deux principes, à savoir l'égalitarisme et le sufficientarisme. Compte tenu de la complexité des concepts et des divergences des chercheurs en transport quant à leur définition et leurs implications respectives, il est possible que l'interprétation qu'en ait faite l'auteur soit quelque peu biaisée. Si tel est le cas, cela pourrait se refléter dans l'approche analytique développée, qui pourrait ne pas correspondre entièrement à la conception de ces principes par un lecteur externe. Il aurait d'ailleurs été pertinent de comparer les deux approches à d'autres principes de justice distributive tels que l'utilitarisme, ce qui aurait contribué à mieux traduire les implications concrètes des approches égalitariste et sufficientariste.

Une limite inhérente à la méthode d'analyse mise de l'avant tient au fait qu'elle n'apporte qu'une réponse partielle à la problématique, qui visait à déterminer si une offre de transport collectif peut être qualifiée d'équitable. Les tableaux agrégés traduisant les niveaux moyens d'accessibilité par segments de vulnérabilité (section 4.2.1) apportent certes un éclairage sur cette question, mais à un niveau de résolution très général. Plutôt que de statuer sur l'équité de la répartition de l'offre dans son état actuel, la méthode s'est plutôt articulée autour du concept d'exclusion sociale en transport et de ses implications pour les individus vulnérables. En ce sens, un réseau de transport dit équitable chercherait à garantir des niveaux d'accessibilité décents à diverses opportunités aux personnes les

plus défavorisées d'un point de vue de la mobilité, cela afin de réduire le risque d'exclusion sociale chez ces dernières. Bien que la méthode se soit légèrement écartée de l'objectif initial, il n'en reste pas moins qu'elle permet d'établir un diagnostic de pauvreté d'accessibilité dans un angle d'équité. Il importe cependant de préciser que cela dépend de la propension de l'analyste à adhérer à l'idée selon laquelle un pointage plus élevé sur l'échelle de vulnérabilité en transport puisse justifier une desserte préférentielle de transport collectif, un postulat sous-jacent à l'ensemble de la méthode.

En ce qui a trait aux typologies égalitaristes, le fait que l'approche repose sur les niveaux relatifs d'accessibilité entraîne également certaines limites. Cela fait qu'un individu est toujours défavorisé par rapport à quelqu'un d'autre et non en vertu d'un seuil préétabli, qui reflèterait une valeur cible vers laquelle tendre. D'ailleurs, les scores Z de l'ensemble des opportunités relatives à un seul et même volet sont combinés, éliminant la possibilité d'identifier lesquelles contribuent davantage à l'instauration d'un bon ou d'un mauvais niveau d'accessibilité. Finalement, la méthode ne peut s'appliquer pour le moment qu'à des régions urbaines chez lesquelles existent des zones jouissant de bons niveaux d'accessibilité et ce, pour les trois volets de mesures. En effet, il s'avère essentiel que la typologie de référence (la #8 selon la classification utilisée) témoigne d'un niveau adéquat d'accessibilité, sans quoi la comparaison avec les sept autres typologies devient douteuse.

Dans la portion du diagnostic relative à l'approche sufficientariste, les seuils associés à la pauvreté d'accessibilité ont été définis de manière arbitraire et une seule configuration des seuils a été mise à l'épreuve. Il importe de rappeler qu'en vertu du principe de suffisance, il s'agit de garantir l'accès à un certain niveau de ressources en dessous duquel un individu peut être contraint dans son niveau de participation sociale. Or, ce genre de seuil n'existe malheureusement dans la littérature relative à l'équité du transport (Martens, 2016), ce qui explique le recours à des seuils purement arbitraires.

L'analyse par cartes de chaleur constitue un point commun aux deux approches de diagnostic. Or, comme cela fut mentionné (section 4 – Résultats), des limites importantes y sont associées, limitant la portée du diagnostic. Ces cartes, qui traduisent la densité d'un phénomène, sont très dépendantes de la qualité des données entrantes. Dans le cas de l'analyse par typologies (égalitarisme), cela concerne notamment la répartition des individus entre segments de vulnérabilité, mais aussi la valeur du facteur de pondération, utilisé afin de reproduire la population de référence. En pratique cependant, ces facteurs se rapportent à l'échelle du secteur municipal, ce qui ne permet pas de saisir de manière précise leur variabilité spatiale, d'autant plus que les individus vulnérables sont associés

à des facteurs de plus grande valeur (section 4.1), ce qui peut potentiellement s'expliquer par une sous-représentation de ces derniers parmi les réponses valides de l'EOD13. Ces limites font en sorte qu'il faut appréhender les résultats avec une certaine prudence, ceux-ci devant principalement servir à identifier des secteurs plus ou moins définis au sein desquels seraient justifiées des analyses plus fines. Du côté de l'approche sufficientariste, la prudence est également de mise, d'autant plus que la variable employée pour la discrétisation relève des seuils choisis de façon arbitraire afin de définir un état déficitaire d'accessibilité.

5.4 Perspectives

Étant donné l'aspect transversal du concept d'équité en transport, seule une composante fut abordée dans le cadre de ce mémoire, soit l'accessibilité potentielle aux opportunités dans une perspective de réduction du risque d'exclusion sociale par le transport. Or, même au sein de cet angle d'analyse, un travail d'investigation reste à faire pour renforcer les diverses composantes du diagnostic.

5.4.1 Évaluation des impacts de scénarios sur l'accessibilité

La méthode mise de l'avant dans ce mémoire sert essentiellement à mettre en évidence des secteurs potentiellement préoccupants d'un point de vue de l'accessibilité aux opportunités. Il pourrait être intéressant, comme étape subséquente, d'analyser les impacts de divers scénarios sur l'accessibilité résultante. Il serait alors possible d'étudier ces retombées à la lumière des outils développés dans ce mémoire. En ce sens, l'utilisation de tableaux agrégés d'accessibilité permettrait d'évaluer si les gains d'une alternative favorisent les individus vulnérables ou si ces gains se font principalement à l'avantage de la population de référence. Cela renvoie au principe de visée prioritaire (Parfit, 1997), selon lequel le fait d'aider les individus les plus défavorisés revêt une valeur morale accrue.

En ce qui a trait aux typologies, il serait très pertinent d'évaluer en quoi une intervention pourrait contribuer à modifier la typologie d'accessibilité propre à un individu. En comparant les nouveaux scores Z aux valeurs initiales ayant permis de définir les huit typologies de départ, il serait possible d'identifier à qui profitent les gains d'accessibilité. Certains individus conserveraient leur typologie de départ, alors que d'autres profiteraient d'un surclassement. Il serait ensuite facile de voir si cette modification a profité essentiellement aux segments vulnérables, ce qui constituerait une situation équitable d'un point de vue de l'équité verticale.

La distribution des retombées d'un scénario trouverait également sa pertinence dans une optique de diagnostic sufficientariste, en cela qu'il serait possible d'évaluer si une intervention permet de combler le déficit d'accessibilité des individus situés sous le seuil de suffisance. Selon le principe du *worst-off man* de Rawls (1971), il faudrait particulièrement en viser l'atteinte par les individus défavorisés en fonction de l'échelle de vulnérabilité sociale en transport.

Il existe une vaste gamme de scénarios susceptibles de faire varier les niveaux d'accessibilité dont bénéficient les populations. Il pourrait s'agir, notamment, d'interventions à l'échelle locale visant à bonifier le panier de services de proximité. Cela aurait surtout des répercussions sur l'accessibilité locale, laquelle semble particulièrement importante pour les individus au capital de mobilité faible. Un autre type de scénario consisterait à modifier le réseau de transport collectif, tant au niveau des circuits que de l'offre de service. Ce genre d'intervention serait susceptible de modifier les niveaux potentiels d'accessibilité régionale, mais aussi la fréquence à laquelle cette accessibilité peut être mise à profit. L'intégration d'une composante tarifaire aux calculs d'accessibilité serait également pertinente pour étudier les impacts éventuels d'une politique de tarification sociale du transport en commun. De manière alternative, il pourrait s'avérer pertinent de fonder un scénario sur la question du commerce en ligne (*e-commerce*), une avenue qui pourrait être employée dans certains cas pour compenser un déficit d'accessibilité ou mitiger la présence de contraintes à la mobilité, notamment chez les individus en situation de handicap.

5.4.2 Personnalisation des paramètres

Outre le recours à une échelle de vulnérabilité permettant la caractérisation des individus selon leur propension à rencontrer des obstacles dans le cadre de leur mobilité, aucune distinction n'est faite entre ces derniers au chapitre des mesures d'accessibilité. Pourtant, l'accessibilité est un concept à dimension variable selon la personne et une mesure théoriquement optimale se montrerait sensible aux capacités et préférences propres à chaque individu (Geurs et van Wee, 2004). Cela permettrait un diagnostic d'équité à géométrie variable, mieux adapté au contexte de chaque individu.

5.4.2.1 Distances et vitesses de marche

Un des éléments pour lesquels l'intégration d'une variabilité est aisément envisageable est celui de la distance et de la vitesse de marche maximale tolérée. Il serait notamment possible de se référer à des études précédentes, lesquelles ont établi des distances de marche seuils selon l'âge et le genre

d'un individu (Morency, Verreault et Frappier, 2019; Poliquin, 2012). Ces valeurs pourraient aussi être dérivées de la distribution des distances des déplacements à pied compris dans l'EOD13 selon les mêmes attributs. L'objectif serait d'évaluer comment la fluctuation des distances de marche se répercute sur les niveaux d'accessibilité potentielle des individus aux trois échelles d'analyse.

5.4.2.2 Distinction des opportunités d'emplois

Toute opportunité n'est pas forcément adaptée à chaque individu. Cela vaut notamment au chapitre de l'emploi, où un poste peut exiger une certaine formation et n'être accessible qu'à un certain type d'individus. Ce faisant, le fait de mesurer l'accessibilité à tous les emplois fournit un portrait biaisé de la situation. Pour y remédier, certains auteurs effectuent une segmentation préalable des emplois sur la base du salaire pour distinguer les emplois à bas salaire de ceux à salaire élevé (Deboosere et El-Geneidy, 2018; Karner, 2018; Legrain, Buliung et El-Geneidy, 2016). Ce genre d'approche pourrait être utilisé pour raffiner les mesures d'accessibilité aux emplois, qui représentent une composante incontournable dans un cadre d'analyse de l'équité en transport compte tenu du rôle majeur de l'emploi dans l'inclusion sociale des individus (Blumenberg et Manville, 2004).

5.4.2.3 Prise en compte des préférences individuelles

Il est probable qu'une même opportunité revête une importance variable selon l'individu concerné. Par exemple, une opportunité d'emploi n'intéressera probablement pas une personne à la retraite, tandis que celle-ci pourrait à l'inverse chercher à profiter d'une accessibilité de qualité au système de santé, par exemple (Van Wee et Geurs, 2011). La prise en compte des besoins et préférences de chaque individu pourrait alors se traduire par l'application de coefficients personnalisés pour toutes les opportunités retenues dans le diagnostic. Cela apporterait une touche *capacitiste* à l'analyse et amoindrirait le poids des présomptions paternalistes (Sen, 2005; Pereira et al., 2017). Or, comment fixer de manière concrète ces facteurs variables, sachant qu'aucun volet de l'EOD dans sa mouture actuelle ne concerne précisément les préférences personnelles? Une piste intéressante consisterait à établir les distributions fréquentielles des déplacements par motif en fonction de l'âge et du genre des individus, bien que cela se rapporte aux comportements observés et non pas aux préférences à proprement parler. Il serait alors possible d'en dériver des coefficients reflétant l'importance d'un type d'opportunité pour un segment de population (santé pour les aînés, éducation pour les jeunes, emplois pour la population active, etc.). Des analyses seraient requises dans un premier temps pour valider la pertinence de cette piste d'exploration.

5.4.3 Variabilité temporelle de l'accessibilité

Le diagnostic s'attarde uniquement à un jour ouvrable de semaine, en automne. D'ailleurs, le volet relatif à l'accessibilité régionale ne repose que sur des mesures effectuées en HPAM, ce qui reflète une absence de variabilité temporelle de l'accessibilité. Bien que les mesures d'exposition à l'offre de transport collectif puissent à certains égards constituer un proxy de la variabilité au cours d'une journée, il serait néanmoins pertinent de procéder à une analyse de sensibilité dont le but serait de mettre en perspective la variabilité de l'accessibilité en transport collectif en fonction de diverses périodes. La même remarque s'applique également aux heures de disponibilité des opportunités. Il serait alors possible de voir quelles zones sont relativement peu affectées par ces fluctuations et lesquelles en pâtissent davantage. Un exemple a été développé quant au nombre de passages-ligne quotidiens accessibles à 500 mètres du domicile. Le but de cette micro-analyse de sensibilité était de témoigner de la variation importante de l'intensité du service entre un jour de semaine et le dimanche. La variation peut être analysée de manière absolue (Figure 5.1) ou relative (Figure 5.2), ce qui traduit un pourcentage de variation par rapport au service de semaine. Il serait intéressant de combiner ces indicateurs de variabilité spatiotemporelle à l'échelle de vulnérabilité afin d'évaluer comment cette variation affecte de manière variable les groupes de population. Selon certains, une diminution du service le soir et la fin de semaine pourrait encourager le phénomène de motorisation contrainte chez les populations vulnérables (Currie et Stanley, 2008; Stanley et Lucas, 2008).

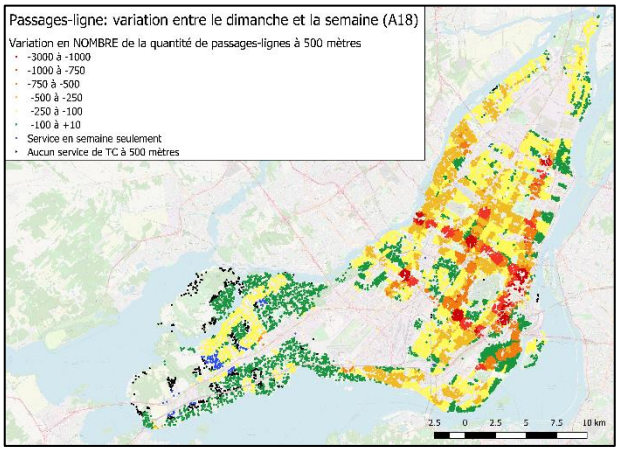


Figure 5.1 - Variation absolue du nombre de passages-ligne le dimanche par rapport à la semaine.

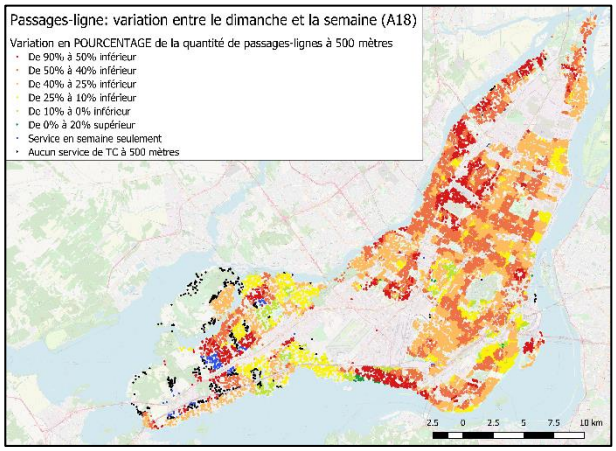


Figure 5.2 - Variation relative du nombre de passages-ligne le dimanche par rapport à la semaine.

5.4.4 Diversité des alternatives de transport

Le cadre théorique de ce mémoire repose exclusivement sur l'accessibilité à pied et via le transport collectif, puisque l'objectif était de traiter de manière ciblée de l'équité d'une offre de transport en commun. Toutefois, ce service n'est pas le seul susceptible de bonifier le potentiel d'accessibilité des populations vulnérables. Certains auteurs sont d'avis qu'un cadre théorique de l'équité relatif au transport devrait également s'intéresser à la diversité des systèmes de transport auxquels a accès un individu (Litman et Brenman, 2012; Sioui, 2014). Il est question notamment des modes partagés, mais aussi (et surtout) des modes actifs, auxquels les populations vulnérables ont recours dans une proportion largement supérieure à la population de référence (section 4.1.2). Un éventuel indicateur de diversité des options de transport pourrait très bien se greffer au volet relatif à l'exposition aux services de transport collectif, auquel il apporterait une composante nouvelle et complémentaire. Sioui (2014) a développé une gamme d'indicateurs potentiellement pertinents à cet égard.

5.4.5 Opérationnalisation du cadre théorique dans les outils décisionnels

Le cadre conceptuel de ce mémoire traite abondamment des enjeux associés aux outils actuels d'évaluation de projets en transport dans une perspective d'équité. Le recours fréquent aux analyses de type coûts-bénéfices pose de sérieux enjeux éthiques, puisque celles-ci s'avèrent inadaptées à une considération effective des principes de justice distributive. La tendance à tout monétiser fait partie des obstacles, toute externalité sociale ne pouvant se traduire de manière simple en termes financiers. En outre, le cadre des analyses coûts-bénéfices ne permet pas l'évaluation des effets distributifs d'une politique de transport. Or, dans une perspective d'équité sociale, il s'avère nécessaire de s'attarder à la distribution de l'accessibilité entre divers groupes d'individus, certains présentant des besoins plus pressants que d'autres. Ainsi, de manière générale, divers obstacles se dressent face à l'intégration des considérations de justice dans les outils de prise de décision en transport, ce pourquoi une perspective s'adresse à l'opérationnalisation de l'équité.

Les projets sont généralement évalués à la lumière de bénéfices en termes de mobilité, qui traitent de gains de temps de parcours et y associent une valeur monétaire. Or, pour que l'angle d'analyse migre éventuellement vers l'accessibilité comme principal bénéfice d'un projet de transport, il sera nécessaire de développer des outils efficaces et convaincants pour traduire ce genre de retombées, de manière économique notamment (Miller, 2018). Il sera nécessaire d'effectuer une refonte des

outils de planification urbaine afin que ceux-ci intègrent une composante relative à l'accessibilité, et que des objectifs clairs soient développés afin d'effectuer un suivi de l'évolution de celle-ci (*UK Social Exclusion Unit*, 2003). Bien que ces défis sortent du cadre du présent mémoire, il s'avère important d'entreprendre une réflexion visant à trouver une façon d'incorporer l'accessibilité dans le cadre décisionnel des investissements en transport, que cela se traduise par une modification du modèle des analyses coûts-bénéfices telles que nous les connaissons ou bien par l'essor de modèles multicritères qui miseront entre autres sur l'accessibilité. Ce chantier en est un de gouvernance et devrait en ce sens être abordé par une multitude d'acteurs issus de domaines d'intervention variés.

5.4.6 Approfondissement de la variabilité des profils de mobilité

Tel qu'observé à diverses reprises lors du diagnostic, les profils de mobilité varient en fonction de l'indice de vulnérabilité d'un individu (section 4.1.2), mais aussi selon la typologie où demeure ce dernier (section 4.2.2.1). De manière générale, le recours moindre à l'automobile chez les individus vulnérables est surtout compensé par une absence de mobilité, dont la prévalence est souvent deux fois plus importante que chez la population de référence. Est-ce lié à un plus grand désir de rester au domicile chez les individus vulnérables, à la présence plus grande de personnes âgées, ou bien cela traduit-il plutôt la présence de contraintes à la mobilité chez ces derniers? Les résultats colligés dans le cadre de ce mémoire ne permettent pas de se prononcer sur les causes de cette situation, et des analyses plus poussées seraient requises pour ce faire. Il est cependant possible d'observer une prévalence moindre de non mobilité chez les individus vulnérables demeurant au sein de typologies disposant de bons niveaux d'accessibilité (#7 et #8) par rapport à leurs homologues demeurant dans des typologies affichant des lacunes à ce chapitre (#1 à #5 notamment), bien que des tests statistiques seraient nécessaires pour confirmer l'existence d'une différence significative.

Outre la plus grande part d'individus non mobiles, les segments vulnérables font état d'un recours plus prononcé aux modes actifs, notamment au sein de typologies affichant des lacunes en matière d'accessibilité. Qu'est-ce qui se cache derrière cette tendance observable dans l'ensemble des types d'environnements urbains? Est-ce lié à une préférence pour la mobilité active chez ces groupes de population, à un environnement urbain propice à la marche ou bien cela traduit-il une difficulté à recourir à des modes motorisés, fussent-ils collectifs ou privés? Des investigations supplémentaires seront requises afin de lever le voile sur la situation. Le fait de négliger cette question pourrait mener à une compréhension erronée des enjeux d'équité sociale en transport (Manaugh et al.,

2015). Cela vaut aussi pour le recours au transport collectif, qui s'avère plutôt équivalent entre les populations de référence et vulnérables et ce, en dépit d'un usage de la voiture environ deux fois moindre chez ce dernier groupe d'individus.

5.4.7 Analyses de sensibilité relatives aux seuils employés

Le cadre méthodologique développé dans ces pages repose sur une succession de petites décisions arbitraires susceptibles d'influencer à divers moments les résultats issus du diagnostic. En ce sens, il serait pertinent de procéder à des analyses de sensibilité visant à étudier la portée des impacts en question. Cela permettrait de mieux connaître les implications relatives à chaque étape du processus et d'apporter des corrections au besoin. Ces analyses seraient pertinentes notamment lors de la définition des pointages de l'échelle de vulnérabilité, mais aussi pour l'identification des seuils de suffisance lors du diagnostic sufficientariste. Par ailleurs, une analyse de sensibilité serait également de mise pour évaluer la variabilité des typologies d'accessibilité selon le seuil percentile en vertu duquel est effectuée la discrétisation. Puisque ces étapes interviennent généralement assez tôt dans la séquence de la méthode, il serait intéressant de tester l'ensemble des combinaisons afin de traduire l'éventail de résultats possibles selon l'emploi de poids variables à diverses étapes.

5.4.8 Tarification sociale du transport collectif

Le modèle de diagnostic présenté dans ce mémoire repose sur l'accessibilité potentielle dont jouit un individu à partir de son domicile, sans tenir compte de la composante tarifaire de l'accessibilité. Pourtant, une tarification mal adaptée à la réalité financière des personnes à faible revenu peut faire en sorte que ces dernières ne seront pas en mesure de tirer profit des bons niveaux d'accessibilité auxquels elles ont théoriquement accès (Di Ciommo et Shiftan, 2017). En ce sens, dans une perspective de prévention de l'exclusion sociale en transport, la composante tarifaire du transport serait tout aussi importante à considérer que la disponibilité de ce service et l'accessibilité qui en découle (Preston et Rajé, 2007; Lucas, 2012). Dans la même veine, selon le rapport *Fairness in a Car Dependent Society*, le coût du service de transport collectif affecte sévèrement certains groupes de population vulnérables, en réduisant leur bassin d'emplois potentiels et d'opportunités sociales (*UK Social Exclusion Unit*, 2003). Une étude menée en contexte parisien semble d'ailleurs indiquer que la réduction des tarifs pratiqués serait socialement plus progressive que la réduction des temps de parcours (Bureau et Glachant, 2011). Toutefois, d'autres chercheurs sont plutôt d'avis que bien

que l'aspect tarifaire soit critique pour les personnes à faible revenu, la qualité de l'offre de transport l'est tout autant sinon plus (Blumenberg et Manville, 2004). L'équité en transport ferait donc idéalement intervenir conjointement les aspects d'accessibilité et de tarification du transport.

Les profils de mobilité dressés pour la population de référence et les segments vulnérables (section 4.1.2) semblent pointer vers un recours relativement comparable aux services de transport collectif chez ces deux groupes et ce, malgré un recours moindre à la voiture chez les personnes vulnérables. Cet écart serait comblé par un usage accru des modes actifs et par une tendance plus prononcée envers la non mobilité et non pas, comme il aurait été possible de le croire, par une utilisation plus grande du transport collectif. Un constat similaire a été établi à Melbourne, en Australie (Currie et al., 2009). Cela soulève des questionnements, notamment en lien avec l'aspect tarifaire du transport collectif, qui pourrait être en cause. À la lumière de divers témoignages colligés par le *Mouvement pour un transport public abordable* (MPTA), un organisme montréalais militant pour l'instauration d'une tarification sociale du transport collectif à Montréal, le coût élevé de ce service expliquerait en partie le recours accru aux modes actifs et la forte présence de non mobilité chez ces segments de population. Ainsi, la barrière tarifaire constituerait un frein notable à la participation sociale des personnes à faible revenu, notamment en ce qui concerne l'accès à l'emploi, la visite de proches et amis ainsi que l'accès aux services. Cela fait écho aux conclusions du rapport britannique portant sur le lien entre transport et exclusion sociale (*UK Social Exclusion Unit*, 2003).

Des analyses supplémentaires seraient nécessaires afin de mieux comprendre le rôle des pratiques tarifaires du transport collectif sur l'usage qu'en font les populations à faible revenu. Il serait aussi intéressant d'envisager une intégration éventuelle du coût de transport aux mesures d'accessibilité afin que celles-ci reflètent mieux l'accessibilité « vécue » des personnes vulnérables, comme cela a été initié par certains chercheurs (El-Geneidy et al., 2016). Les résultats du diagnostic gagneraient alors en précision et permettraient une compréhension plus approfondie des enjeux d'équité sociale relatifs au transport.

5.4.9 Externalités négatives des réseaux de transport

Une évaluation extensive de l'équité d'un système de transport se pencherait non seulement sur les bénéfices qui en découlent tels que l'accessibilité, mais aussi sur l'ensemble des impacts entraînés par ce dernier. Ces externalités sont de nature variée (Jones et Lucas, 2012; Manaugh et al., 2015). Elles concernent notamment la qualité de l'air (émissions polluantes associées au transport), la

pollution sonore (associée à des troubles cognitifs et la pression artérielle) et les incidents routiers (première conséquence ayant trouvé écho dans la littérature en transport). L'enjeu consiste ici non seulement à réduire la portée de ces dernières, mais aussi à déterminer comment ces conséquences sont réparties entre les divers segments de population.

Il semblerait que les individus vulnérables subissent davantage ces externalités (Carrier, Apparicio et Séguin, 2016; Caulfield et al., 2014). À titre d'exemple, les enfants britanniques appartenant au quintile de revenu le plus faible seraient cinq fois plus susceptibles de décéder dans un accident routier qu'un enfant issu du quintile de revenu le plus élevé (*UK Social Exclusion Unit*, 2003). Or, les ménages touchés comptent généralement moins de voiture et sont les plus enclins à se déplacer à pied, bien qu'ils constituent les premières victimes des accidents routiers. Il s'agit évidemment d'un exemple parmi tant d'autres, qui témoigne néanmoins de l'intérêt d'évaluer les externalités négatives d'un réseau de transport à la lumière d'attributs liés à la défavorisation sociale.

5.4.10 Réseaux de transport collectif et embourgeoisement

La méthode de diagnostic développée dans ce mémoire facilite notamment l'identification de zones à forte vulnérabilité qui bénéficieraient d'une amélioration de l'offre de transport collectif dans le but d'établir de meilleures perspectives d'accessibilité. Cela s'inscrit dans une optique de réduction du risque d'exclusion sociale par le transport et vise essentiellement à bonifier les possibilités des segments de population vulnérables. Or, il faut garder à l'esprit que des interventions en transport collectif et au chapitre de l'accessibilité locale peuvent accroître l'attractivité des zones concernées, ce qui risque d'alimenter le phénomène d'embourgeoisement (*gentrification*) si aucune mesure parallèle n'est adoptée dans le but de retenir les individus vulnérables à qui ces améliorations sont notamment destinées. En effet, la littérature abonde d'articles mettant en lumière la relation entre l'accessibilité en transport collectif et l'embourgeoisement (Atkinson et Bridge, 2005; C. E. Jones, 2015). Une relation positive est effectivement observée entre la présence d'un réseau de transport collectif structurant et la hausse des valeurs des propriétés (Chatman, Tulach et Kim, 2012; Pollack, Williams, Lopez et Luna, 2013). À moyen et long terme, les secteurs affectés par une bonification de l'offre de transport sont ainsi susceptibles de connaître un processus de renouvellement de la population, les classes populaires délaissant progressivement le secteur en raison de la hausse des prix, tandis que des populations plus scolarisées à revenus élevés investissent le milieu (C. E. Jones, 2015; Lucas et al., 2015). Le but n'est pas ici d'établir une revue extensive de l'impact des réseaux

de transport collectif sur la composition sociale de la ville, mais plutôt de mettre en garde les planificateurs quant à la possibilité d'observer ces impacts à la suite d'une modification de l'offre. Les typologies d'accessibilité (section 4.2.2) indiquent que les populations vulnérables ne vivent généralement pas dans des milieux desservis par un mode lourd, ce qui pourrait s'expliquer par les valeurs foncières élevées à proximité des réseaux structurants, bien que cette hypothèse mériterait d'être validée par des analyses plus rigoureuses.

5.4.11 Différentiel d'accessibilité entre voiture et transport collectif

Le cadre théorique du présent mémoire ne s'est pas attardé à l'accessibilité par le biais de la voiture, bien que ce mode soit considéré comme la norme de mobilité dans les sociétés modernes (Mattioli, 2014). Ce choix s'explique par l'aspect socialement régressif de la dépendance automobile, surtout pour les populations vulnérables. Or, il serait intéressant de procéder à des mesures d'accessibilité aux opportunités en automobile dans une optique de comparaison avec les transports collectifs. Il s'agirait alors de comparer les temps de parcours et d'en dériver un ratio traduisant la compétitivité du transport collectif par rapport à l'automobile. Dans une optique d'équité verticale, il faudrait théoriquement que les segments de population vulnérables bénéficient des ratios les plus élevés, car ils sont plus dépendants du transport collectif et jouissent d'un accès plus restreint à la voiture. Cela constitue une perspective très pertinente à l'évaluation de l'équité sociale d'une offre de transport collectif, qui pourrait être explorée lors de recherches futures.

RÉFÉRENCES

Bases de données

Communauté métropolitaine de Montréal. [2019]. *Portraits territoriaux : Agglomération de Montréal (édition 2019)*. [Fichier PDF]. Document récupéré le 16 juillet 2019 au http://cmm.qc.ca/fileadmin/user_upload/carte/20171001_carteGenerale_8x11.pdf

DMTI Spatial. [s.d.]. *DMTI Spatial : Build your analysis with better data*. Accessible au https://www.dmtispatial.com/canmap/

DMTI CanMap Enhanced Points of Interest [computer file]. Markham, Ontario: DMTI Spatial Inc. [2018]. Accès permis grâce à une entre de la bibliothèque de Polytechnique Montréal.

Exo. [Automne 2018]. *Données GTFS*. Accessibles en fichiers séparés par organisme au https://exo.quebec/fr/a-propos/donnees-ouvertes.

Ministère des Transports du Québec. [2015]. *Enquête Origine-Destination 2013 de la région de Montréal, version 13.2e*. Accès permis grâce à une entente de la Chaire Mobilité.

Ministère des Transports du Québec. [2015]. *Guide de l'Enquête Origine-Destination Montréal 2013*. [Fichier PDF]. Accès permis grâce à une entente de la Chaire Mobilité.

OpenStreetMap. [s.d.]. *OpenStreetMap*. Accessible au https://www.openstreetmap.org/#map=10/45.4861/-73.8556.

Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur du Québec. [2017]. *Localisation des établissements d'enseignement du réseau scolaire au Québec*. [Fichier SHP]. Accessible en données ouvertes au https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/localisation-des-etablissements-d-enseignement-du-reseau-scolaire-au-quebec.

Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec. [2019]. *Fichier cartographique des installations – M02*. [Fichier SHP]. Accessible en données ouvertes au http://publications.msss.gouv.qc.ca/msss/document-001644/.

Réseau de transport de Longueuil. [Automne 2018]. *Fichiers GTFS 2018*. Accessibles au http://www.rtl-longueuil.qc.ca/fr-CA/donnees-ouvertes/fichiers-gtfs/.

Statistique Canada. (2016). Recensement de la population de 2016. Serveur de données CHASS. Récupéré le 5 mai 2018 au http://datacentre.chass.utoronto.ca/census/

Société de transport de Laval. [Automne 2018]. *Données ouvertes : GTFS*. Accessibles au https://www.stl.laval.qc.ca/fr/stl-synchro/developpeurs/.

Société de transport de Montréal. [Automne 2018]. *GTFS (horaires bus et fréquences métro)*. Accessibles en données ouvertes au http://www.stm.info/fr/a-propos/developpeurs.

Transition. [2017]. *Transition*. Page consultée au http://transition.city/.

Ville de Baie-D'Urfé. [s.d.]. *Bibliothèque de Baie*-D'Urfé. Accessible au http://www.bibliobaiedurfe.com/accueil.html.

Ville de Côte-Saint-Luc. [s.d.]. *Bibliothèque publique Côte-Saint-Luc*. Accessible au https://csllibrary.org/fr/.

Ville de Dollard-des-Ormeaux. [s.d.]. *Bibliothèque publique de Dollard-des-Ormeaux*. Accessible au http://cdeacf.ca/organisation/bibliotheque-dollard-ormeaux.

Ville de Dorval. [s.d.]. *Bibliothèque de Dorval*. Accessible au https://www.ville.dorval.qc.ca/fr/installations/page/bibliotheque-de-dorval.

Ville de Kirkland. [s.d.]. *Bibliothèque de Kirkland*. Accessible au http://www.ville.kirkland.qc.ca/bibliotheque-de-kirkland.

Ville de Mont-Royal. [s.d.]. *Bibliothèque Reginald-J.-P.-Dawson*. Accessible au https://www.ville.mont-royal.qc.ca/fr/services-residents/bibliotheque.

Ville de Montréal. [s.d.]. *Cartes et autres plans des grands parcs*. [Fichier PDF]. Accessible au http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=7377,123235660&_dad=portal&_schema=PORTAL.

Ville de Montréal. [s.d.]. *Lieux culturels municipaux*. [Fichier XLS]. Accessible en données ouvertes au http://donnees.ville.montreal.qc.ca/dataset/lieux-culturels/resource/974ca8d4-ed85-4c77-a79f-9f765e4c1b32.

Ville de Montréal-Est. [s.d.]. *Bibliothèque Micheline-Gagnon*. Accessible au https://ville.montreal-est.qc.ca/loisirs-et-culture/bibliotheque-micheline-gagnon/.

Ville de Montréal-Ouest. [s.d.]. *Bibliothèque publique*. Accessible au https://montreal-west.ca/fr/loisirs-et-culture/vie-communautaire/bibliotheque-publique/.

Ville de Pointe-Claire. [s.d.]. *Bibliothèque de Pointe-Claire*. Accessible au https://biblio.pointe-claire.ca/.

Ville de Sainte-Anne-de-Bellevue. [s.d.]. *Informations générales et abonnement : Bibliothèque municipale*. Accessible au https://www.ville.sainte-anne-de-bellevue.qc.ca/fr/173/informations-generales-et-abonnement.

Ville de Westmount. [s.d.]. *Bibliothèque publique de Westmount*. Accessible au https://www.westlibcat.org/iguana/www.main.cls?language=fre&language=fre.

Références dans le texte

Apparicio, P., Cloutier, M.-S. et Shearmur, R. (2007). The case of Montréal's missing food deserts: Evaluation of accessibility to food supermarkets. *International Journal of Health Geographics*, *6*(1), 4. doi:10.1186/1476-072X-6-4

ARTM. (2017). Politique de financement de l'Autorité régionale de transport métropolitain. Repéré à https://artm.quebec/wp-content/uploads/2017/11/Politique_Financement_ARTM_2017.pdf

Ather, A. (2009). *A Quality Analysis of OpenStreetMap Data* (M.Eng. Dissertation). University College London.

Atkinson, R. et Bridge, G. (2005). *The New Urban Colonialism: Gentrification in a Global Context*. London and New York. Repéré à http://ecite.utas.edu.au/35173

Badoe, D. A. et Miller, E. J. (2000). Transportation–land-use interaction: empirical findings in North America, and their implications for modeling. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *5*(4), 235-263. doi:10.1016/S1361-9209(99)00036-X

Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, *15*(2), 73-80. doi:10.1016/j.tranpol.2007.10.005

Ben-Akiva, M. et Lerman, S. R. (1985). *Discrete Choice Analysis*. Massachusetts Institute of Technology. Repéré à https://mitpress.mit.edu/books/discrete-choice-analysis

Bertolini, L., le Clercq, F. et Kapoen, L. (2005). Sustainable accessibility: a conceptual framework to integrate transport and land use plan-making. Two test-applications in the Netherlands and a reflection on the way forward. *Transport Policy*, *12*(3), 207-220. doi:10.1016/j.tranpol.2005.01.006

Bhat, C. R., Kockelman, K., Chen, Q., Handy, S., Mahmassani, H. et Weston, L. (2000). *Urban Accessibility Index: Literature Review* (nº TX-01/7-4938-1) (p. 92). Texas, États-Unis : University of Texas at Austin.

Blumenberg, E. et Manville, M. (2004). Beyond the Spatial Mismatch: Welfare Recipients and Transportation Policy. *Journal of Planning Literature*, *19*(2), 182-205. doi:10.1177/0885412204269103

Blumenberg, E. et Ong, P. (1998). Job accessibility and welfare usage: Evidence from Los Angeles. *Journal of Policy Analysis and Management*, *17*(4), 639-657. doi:10.1002/(SICI)1520-6688(199823)17:4<639::AID-PAM3>3.0.CO;2-R

Bocarejo, J. P. et Oviedo, D. R. (2012). Transport accessibility and social inequities: a tool for identification of mobility needs and evaluation of transport investments. *Journal of Transport Geography*, *24*, 142-154. doi:10.1016/j.jtrangeo.2011.12.004

Boisjoly, G. et El-Geneidy, A. (2016). Daily fluctuations in transit and jobs availability: A comparative assessment of time-sensitive accessibility measures. *Journal of Transport Geography*, *52*, 73-81. doi:10.1016/j.jtrangeo.2016.03.004

Bricka, S., Zmud, J., Wolf, J. et Freedman, J. (2009). Household Travel Surveys with GPS: An Experiment. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2105*(1), 51-56. doi:10.3141/2105-07

Bureau, B. et Glachant, M. (2011). Distributional effects of public transport policies in the Paris Region. *Transport Policy*, *18*(5), 745-754. doi:10.1016/j.tranpol.2011.01.010

Carrier, M., Apparicio, P. et Séguin, A.-M. (2016). Road traffic noise in Montreal and environmental equity: What is the situation for the most vulnerable population groups? *Journal of Transport Geography*, *51*, 1-8. doi:10.1016/j.jtrangeo.2015.10.020

Caulfield, B., Rock, S. et Ahern, A. (2014). *Equity and Fairness in Transport Planning: The State of Play*. Washington, DC.

Cerdà, A. et El-Geneidy, A. (2010). *Mesures de performance pour la planification de l'utilisation du sol et du transport dans la région métropolitaine de Montréal* (p. 218). Ministère des Transports du Québec.

Chatman, D. G., Tulach, N. K. et Kim, K. (2012). Evaluating the Economic Impacts of Light Rail by Measuring Home Appreciation: A First Look at New Jersey's River Line. *Urban Studies*, *49*(3), 467-487. doi:10.1177/0042098011404933

Chlond, B. et Ottman, P. (2007). *The Mobility Behaviour of Single Parents and their Activities outside the Home*. Deutsches Institut für Urbanistik. Repéré à https://difu.de/publikationen/the-mobility-behaviour-of-single-parents-and-their.html

Church, A., Frost, M. et Sullivan, K. (2000). Transport and social exclusion in London. *Transport Policy*, *7*(3), 195-205. doi:10.1016/S0967-070X(00)00024-X

Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'Organisation des Nations unies. (1987). *Rapport Brundtland* (p. 349). Organisation des Nations unies. Repéré à https://www.diplomatie.gouv.fr/sites/odyssee-developpement-durable/files/5/rapport_brundtland.pdf

Cornut, B. et Madre, J.-L. (2017). A longitudinal perspective on car ownership and use in relation with income inequalities in the Paris metropolitan area. *Transport Reviews*, *37*(2), 227-244. doi:10.1080/01441647.2016.1245218

Currie, G. (2010). Quantifying spatial gaps in public transport supply based on social needs. *Journal of Transport Geography*, *18*(1), 31-41. doi:10.1016/j.jtrangeo.2008.12.002

Currie, G., Richardson, T., Smyth, P., Vella-Brodrick, D., Hine, J., Lucas, K., … Stanley, J. (2009). Investigating links between transport disadvantage, social exclusion and well-being in Melbourne—Preliminary results. *Transport Policy*, *16*(3), 97-105. doi:10.1016/j.tranpol.2009.02.002

Currie, G. et Stanley, J. (2008). Investigating Links between Social Capital and Public Transport. *Transport Reviews*, *28*(4), 529-547. doi:10.1080/01441640701817197

Daniels, M. J., Hogan, J. W. et Hogan, J. W. (2008). *Missing Data in Longitudinal Studies : Strategies for Bayesian Modeling and Sensitivity Analysis*. Chapman and Hall/CRC. doi:10.1201/9781420011180

Deboosere, R. et El-Geneidy, A. (2018). Evaluating equity and accessibility to jobs by public transport across Canada. *Journal of Transport Geography*, *73*, 54-63. doi:10.1016/j.jtrangeo.2018.10.006

Deboosere, R., El-Geneidy, A. M. et Levinson, D. (2018). Accessibility-oriented development. *Journal of Transport Geography*, *70*, 11-20. doi:10.1016/j.jtrangeo.2018.05.015

Delbosc, A. et Currie, G. (2011). Using Lorenz curves to assess public transport equity. *Journal of Transport Geography*, *19*(6), 1252-1259. doi:10.1016/j.jtrangeo.2011.02.008

Di Ciommo, F. et Shiftan, Y. (2017). Transport equity analysis. *Transport Reviews*, *37*(2), 139-151. doi:10.1080/01441647.2017.1278647

El-Geneidy, A. et Levinson, D. (2006). Access to Destinations: Development of Accessibility Measures. Repéré à http://conservancy.umn.edu/handle/11299/638

El-Geneidy, A., Levinson, D., Diab, E., Boisjoly, G., Verbich, D. et Loong, C. (2016). The cost of equity: Assessing transit accessibility and social disparity using total travel cost. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *91*, 302-316. doi:10.1016/j.tra.2016.07.003

Ewing, R. et Cervero, R. (2010). Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis. *Journal of the American Planning Association*, *76*(3), 265-294. doi:10.1080/01944361003766766

Fan, Y., Guthrie, A. et Vardhan Das, K. (2016). *Spatial and Skills Mismatch of Unemployment and Job Vacancies* (n° CTS 16-05). University of Minnesota.

Farber, S. et Páez, A. (2011). Running to stay in place: the time-use implications of automobile oriented land-use and travel. *Journal of Transport Geography*, *19*(4), 782-793. doi:10.1016/j.jtrangeo.2010.09.008

Fontaine, N., Brisson, G. et Noreau, D. (2018). La prise de décision en urbanisme. Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation du Québec. Repéré à http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/bs64408

Fortin, P., Morency, C. et Trépanier, M. (2016). Innovative GTFS Data Application for Transit Network Analysis Using a Graph-Oriented Method. *Journal of Public Transportation*, *19*(4), 18-37. doi:10.5038/2375-0901.19.4.2

Foth, N., Manaugh, K. et El-Geneidy, A. M. (2013). Towards equitable transit: examining transit accessibility and social need in Toronto, Canada, 1996–2006. *Journal of Transport Geography*, *29*, 1-10. doi:10.1016/j.jtrangeo.2012.12.008

Fransen, K., Neutens, T., Farber, S., De Maeyer, P., Deruyter, G. et Witlox, F. (2015). Identifying public transport gaps using time-dependent accessibility levels. *Journal of Transport Geography*, *48*, 176-187. doi:10.1016/j.jtrangeo.2015.09.008

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

Garcia, C. S. H. F., Macário, M. do R. M. R., Menezes, E. D. de A. G. et Loureiro, C. F. G. (2018). Strategic Assessment of Lisbon's Accessibility and Mobility Problems from an Equity Perspective. *Networks and Spatial Economics*, *18*(2), 415-439. doi:10.1007/s11067-018-9391-4

Garrett, M. et Taylor, B. (1999). Reconsidering Social Equity in Public Transit. *Berkeley Planning Journal*, *13*(1). doi:10.5070/BP313113028

Geurs, K. et Ritsema van Eck, J. (2001). Accessibility measures: review and applications. Evaluation of accessibility impacts of land-use transportation scenarios, and related social and economic impact. Repéré à https://rivm.openrepository.com/handle/10029/259808

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

Giuliano, G. (2004). Land Use and Travel Patterns Among the Elderly. Dans *Transportation in an Aging Society: A Decade of Experience, Technical Papers and Reports from a Conference, November 7-9, 1999, Bethesda, Maryland*. Transportation Research Board.

Glaeser, E. L. et Kahn, M. E. (2004). Sprawl and Urban Growth. *Handbook of Regional and Urban Economics*, *4*, 2481-2527. doi:10.1016/S1574-0080(04)80013-0

Golub, A. et Martens, K. (2014). Using principles of justice to assess the modal equity of regional transportation plans. *Journal of Transport Geography*, *41*, 10-20. doi:10.1016/j.jtrangeo.2014.07.014

Gossen, H. H. (1854). *Entwickelung der gesetze des menschlichen verkehrs, und der daraus fliessenden regeln für menschliche handeln*. Braunschweig : F. Vieweg. Repéré à http://archive.org/details/bub_gb_BzFGAAAAYAAJ

Grengs, J. (2010). Job accessibility and the modal mismatch in Detroit. *Journal of Transport Geography*, *18*(1), 42-54. doi:10.1016/j.jtrangeo.2009.01.012

Grengs, J. (2015). *Advancing Social Equity Analysis in Transportation with the Concept of Accessibility* (nº 15-848). Ann Arbor, MI : University of Michigan.

Grisé, E., Boisjoly, G., Maguire, M. et El-Geneidy, A. (2018). Elevating access: Comparing accessibility to jobs by public transport for individuals with and without a physical disability. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. doi:10.1016/j.tra.2018.02.017

Hägerstrand, T. (1970). What about people in Regional Science? *Papers of the Regional Science Association*, *24*(1), 6-21. doi:10.1007/BF01936872

Handy. (2002). *Accessibility- VS. Mobility-enhancing strategies for addressing automobile dependence in the U.S.* (nº 95616) (p. 33). Davis, CA : University of California at Davis.

Handy, S. L. et Niemeier, D. A. (1997). Measuring Accessibility: An Exploration of Issues and Alternatives. *Environment and Planning A: Economy and Space*, *29*(7), 1175-1194. doi:10.1068/a291175

Hansen, W. G. (1959). How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Institute of Planners*, *25*(2), 73-76. doi:10.1080/01944365908978307

Hauke, J. et Kossowski, T. (2011). Comparison of Values of Pearson's and Spearman's Correlation Coefficients on the Same Sets of Data. *Quaestiones Geographicae*, *30*(2), 87-93. doi:10.2478/v10117-011-0021-1

Hine, J. et Grieco, M. (2003). Scatters and clusters in time and space: implications for delivering integrated and inclusive transport. *Transport Policy*, *10*(4), 299-306. doi:10.1016/S0967-070X(03)00055-6

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

Jones, C. E. (2015). *Transit-Oriented Development and Gentrification in Metro Vancouver's Low-Income SkyTrain Corridor* (University of Toronto). Repéré à http://neighbourhoodchange.ca/documents/2015/07/vancouvers-skytrain-corridor.pdf

Jones et Lucas. (2012a). The social consequences of transport decision-making: clarifying concepts, synthesising knowledge and assessing implications. *Journal of Transport Geography, 21*, 4-16. doi:10.1016/j.jtrangeo.2012.01.012

Jones, P. et Lucas, K. (2012b). The social consequences of transport decision-making: clarifying concepts, synthesising knowledge and assessing implications. *Journal of Transport Geography, 21*, 4-16. doi:10.1016/j.jtrangeo.2012.01.012

Kain, J. F. (1968). Housing Segregation, Negro Employment, and Metropolitan Decentralization. *The Quarterly Journal of Economics, 82*(2), 175-197. doi:10.2307/1885893

Karner, A. (2018). Assessing public transit service equity using route-level accessibility measures and public data. *Journal of Transport Geography, 67*, 24-32. doi:10.1016/j.jtrangeo.2018.01.005

Kenyon, S., Lyons, G. et Rafferty, J. (2002). Transport and social exclusion: investigating the possibility of promoting inclusion through virtual mobility. *Journal of Transport Geography, 10*(3), 207-219. doi:10.1016/S0966-6923(02)00012-1

Knowles, R. D. (2006). Transport shaping space: differential collapse in time–space. *Journal of Transport Geography, 14*(6), 407-425. doi:10.1016/j.jtrangeo.2006.07.001

Kounadi, O. (2009). *Assessing the quality of OpenStreetMap data* (Master's thesis). University College of London, UK.

Krumholz, N. (1982). A Retrospective View of Equity Planning Cleveland 1969–1979. *Journal of the American Planning Association*, *48*(2), 163-174. doi:10.1080/01944368208976535

Kymlicka, W. (2002). *Contemporary Political Philosophy: An Introduction*. Oxford University Press.

Lefebvre, H. (1967). Le droit à la ville. *L'Homme et la société*, *6*(1), 29-35. doi:10.3406/homso.1967.1063

Legrain, A., Buliung, R. et El-Geneidy, A. M. (2016). Travelling fair: Targeting equitable transit by understanding job location, sectorial concentration, and transit use among low-wage workers. *Journal of Transport Geography*, *53*, 1-11. doi:10.1016/j.jtrangeo.2016.04.001

Levitas, R., Pantazis, C., Fahmy, E., Gordon, D., Lloyd, E. et Patsios, D. (2007). *The Multi-Dimensional Analysis of Social Exclusion* (p. 75). University of Bristol. Repéré à https://www.researchgate.net/publication/267222796_The_Multi-Dimensional_Analysis_of_Social_Exclusion

Litman, T. (2017). *Evaluating Transportation Equity: Guidance for incorporating distributional impacts in transportation planning* (p. 63). Victoria Transport Policy Institute.

Litman, T. et Brenman, M. (2012). *New Social Equity Agenda for Sustainable Transportation*. Communication présentée au Transportation Research Board 91st Annual MeetingTransportation Research Board. Repéré à https://trid.trb.org/view/1130565

Loader, C. et Stanley, J. (2009). Growing bus patronage and addressing transport disadvantage—The Melbourne experience. *Transport Policy*, *16*(3), 106-114. doi:10.1016/j.tranpol.2009.02.001

Lubitow, A., Rainer, J. et Bassett, S. (2017). Exclusion and vulnerability on public transit: experiences of transit dependent riders in Portland, Oregon. *Mobilities*, *12*(6), 924-937. doi:10.1080/17450101.2016.1253816

Lucas et Jones. (2009). *The Car in British Society* (p. 158). London, UK : Royal Automobile Club Foundation.

Lucas, K. (2012). Transport and social exclusion: Where are we now? *Transport Policy*, *20*, 105-113. doi:10.1016/j.tranpol.2012.01.013

Lucas, K., Philips, I., Mulley, C. et Ma, L. (2018). Is transport poverty socially or environmentally driven? Comparing the travel behaviours of two low-income populations living in central and peripheral locations in the same city. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *116*, 622-634. doi:10.1016/j.tra.2018.07.007

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

Manaugh, K., Badami, M. G. et El-Geneidy, A. M. (2015). Integrating social equity into urban transportation planning: A critical evaluation of equity objectives and measures in transportation plans in North America. *Transport Policy*, *37*, 167-176. doi:10.1016/j.tranpol.2014.09.013

Manaugh, K. et El-Geneidy, A. (2011). Validating walkability indices: How do different households respond to the walkability of their neighborhood? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *16*(4), 309-315. doi:10.1016/j.trd.2011.01.009

Maréchal, J.-P. (2003). L'éthique économique de John Rawls. *L'Economie politique, no 17*(1), 94-112.

Markovich, J. et Lucas, K. (2011). *The Social and Distributional Impacts of Transport: A Literature Review* ([Working Paper] n° n 1055) (p. 64). Oxford : Transport Studies Unit, School of Geography and the Environment.

Martens, K. (2012). Justice in transport as justice in accessibility: applying Walzer's 'Spheres of Justice' to the transport sector. *Transportation, 39*(6), 1035-1053. doi:10.1007/s11116-012-9388-7

Martens, K. (2016). *Transport Justice | Designing fair transportation systems* (1re éd.). New York, NY : Routledge. Repéré à https://www.taylorfrancis.com/books/e/9781315746852

Martens, K. et Bastiaanssen, J. (2019). An index to measure accessibility poverty risk. Dans K. Lucas, K. Martens, F. Di Ciommo et A. Dupont-Kieffer (dir.), *Measuring Transport Equity* (p. 39-55). Elsevier. Repéré à http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128148181000032

Martens, K., Golub, A. et Robinson, G. (2012). A justice-theoretic approach to the distribution of transportation benefits: Implications for transportation planning practice in the United States. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 46*(4), 684-695. doi:10.1016/j.tra.2012.01.004

Mattioli, G. (2014). Where Sustainable Transport and Social Exclusion Meet: Households Without Cars and Car Dependence in Great Britain. *Journal of Environmental Policy & Planning, 16*(3), 379-400. doi:10.1080/1523908X.2013.858592

Mavoa, S., Witten, K., McCreanor, T. et O'Sullivan, D. (2012). GIS based destination accessibility via public transit and walking in Auckland, New Zealand. *Journal of Transport Geography*, *20*(1), 15-22. doi:10.1016/j.jtrangeo.2011.10.001

McGuckin, N. et Nakamoto, Y. (2005). *Research on Women's Issues in Transportation, Report of a Conference: Technical papers*. Transportation Research Board.

Mercado, R. G., Paez, A., Farber, S., Roorda, M. J. et Morency, C. (2012). Explaining transport mode use of low-income persons for journey to work in urban areas: a case study of Ontario and Quebec. *Transportmetrica*, *8*(3), 157-179. doi:10.1080/18128602.2010.539413

Meurs, H. et Haaijer, R. (2001). Spatial structure and mobility. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *6*(6), 429-446. doi:10.1016/S1361-9209(01)00007-4

Meyer, L. H. et Roser, D. (2009). Enough for the Future. Dans A. Gosseries et L. H. Meyer (dir.), *Intergenerational Justice* (p. 219-248). Oxford University Press. doi:10.1093/acprof:oso/9780199282951.003.0009

Mill, J. S. (1863). *Utilitarianism*. UK : Batoche Books. Repéré à https://socialsciences.mcmaster.ca/econ/ugcm/3ll3/mill/utilitarianism.pdf

Miller, E. J. (2018). Accessibility: measurement and application in transportation planning. *Transport Reviews*, *38*(5), 551-555. doi:10.1080/01441647.2018.1492778

Ministère des Transports du Québec. (2018). Transporter le Québec vers la modernité: politique de mobilité durable - 2030.

Monmonier, M. (1997). How to Lie with Maps. *The American Statistician*, *51*(2), 206. doi:10.2307/2685420

Morency, C., Verreault, H. et Frappier, A. (2019). Estimating latent cycling and walking trips in Montreal. *International Journal of Sustainable Transportation*, 1-12. doi:10.1080/15568318.2018.1558467

Murray, A. T. et Wu, X. (2003). Accessibility tradeoffs in public transit planning. *Journal of Geographical Systems, 5*(1), 93-107. doi:10.1007/s101090300105

Mussard, S. et Terraza, M. (2009). Décompositions des mesures d'inégalité : le cas des coefficients de Gini et d'entropie. *Recherches economiques de Louvain, Vol. 75*(2), 151-181.

Nahmias-Biran, B., Sharaby, N. et Shiftan, Y. (2014). Equity Aspects in Transportation Projects: Case Study of Transit Fare Change in Haifa. *International Journal of Sustainable Transportation, 8*(1), 69-83. doi:10.1080/15568318.2012.758525

Nazari Adli, S., Chowdhury, S. et Shiftan, Y. (2019). Justice in public transport systems: A comparative study of Auckland, Brisbane, Perth and Vancouver. *Cities, 90*, 88-99. doi:10.1016/j.cities.2019.01.031

Ndour, M. et Boidin, B. (2012). « L'accès aux biens et services essentiels » : une notion centrale et ambigüe du développement. *L'Homme & la Société*, (185-186), 223-248. doi:10.3917/lhs.185.0223

Nussbaum, M. C. (2011). *Creating Capabilities*. Harvard University Press.

Páez, A., Scott, D. M. et Morency, C. (2012). Measuring accessibility: positive and normative implementations of various accessibility indicators. *Journal of Transport Geography, 25*, 141-153. doi:10.1016/j.jtrangeo.2012.03.016

Parfit, D. (1997). Equality and Priority. *Ratio, 10*(3), 202-221. doi:10.1111/1467-9329.00041

Pereira, R. H. M., Schwanen, T. et Banister, D. (2017). Distributive justice and equity in transportation. *Transport Reviews*, *37*(2), 170-191. doi:10.1080/01441647.2016.1257660

Pickup, L. et Giuliano, G. (2005). Car Dependency and Social Exclusion. Dans *Social Dimensions of Sustainable Transport: Transatlantic Perspectives*. Burlington, VT : Stefan Poppelreuter.

Pitot, M., Yigitcanlar, T., Sipe, N. et Evans, R. (2006). *Land Use & Public Transport Accessibility Index (LUPTAI) tool : the development and pilot application of LUPTAI for the Gold Coast*. C. Grainger (dir.), Communication présentée au ATRF06 Forum Papers (CD-ROM and Online), Surfers Paradise, Gold Coast. Repéré à http://www.patrec.org/atrf.aspx

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

Pollack, S., Williams, L., Lopez, R. et Luna, I. (2013). *The Toll of Transportation: Final Report*. Boston, MA : Northeastern University.

Polzin, S. E., Pendyala, R. M. et Navari, S. (2002). Development of Time-of-Day–Based Transit Accessibility Analysis Tool. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *1799*(1), 35-41. doi:10.3141/1799-05

Preston, J. et Rajé, F. (2007). Accessibility, mobility and transport-related social exclusion. *Journal of Transport Geography*, *15*(3), 151-160. doi:10.1016/j.jtrangeo.2006.05.002

Pucher, J. et Renne, J. (2003). Socioeconomics of Urban Travel: Evidence from the 2001 NHTS. *Transportation Quarterly*, *57*(3), 49-77.

Rawls, J. (1971). *A Theory of Justice*. Cambridge, Mass. : Belknap Press of Harvard University Press.

Roberto, E. (2008). *Commuting to Opportunity: The Working Poor and Commuting in the United States* (p. 20). Brookings.

Scanlon, T. (1998). *What We Owe to Each Other*. Harvard University Press.

Scheurer, J. et Curtis, C. (2007). *Accessibility Measures: Overview and Practical Applications* ([Working paper] n° 4) (p. 53). Australia : Curtin University. Repéré à https://urbanet.curtin.edu.au/wp-content/uploads/sites/40/2018/12/ARC_TOD_Working_Paper_4.pdf

Schönfelder, S. et Axhausen, K. W. (2003). Activity spaces: measures of social exclusion? *Transport Policy*, *10*(4), 273-286. doi:10.1016/j.tranpol.2003.07.002

Schwanen, T., Kwan, M.-P. et Ren, F. (2008). How fixed is fixed? Gendered rigidity of space–time constraints and geographies of everyday activities. *Geoforum*, *39*(6), 2109-2121. doi:10.1016/j.geoforum.2008.09.002

Sen, A. (1982). *Poverty and Famines: An Essay on Entitlement and Deprivation*. Oxford : OUP Oxford.

Sen, A. (1999). *Commodities and Capabilities*. Oxford University Press. Repéré à https://ideas.repec.org/b/oxp/obooks/9780195650389.html

Sen, A. (2005). Human Rights and Capabilities. *Journal of Human Development*, *6*(2), 151-166. doi:10.1080/14649880500120491

Sen, A. (2009). *The Idea of Justice*. Harvard University Press.

Sioui, L. (2014). *Pour une approche pragmatique et opérationnelle de la mobilité durable: concept, méthodes et outils* (Thèse de doctorat). Polytechnique Montréal, Montréal, Québec.

Stanley, J. et Lucas, K. (2008). Social exclusion: What can public transport offer? *Research in Transportation Economics*, *22*(1), 36-40. doi:10.1016/j.retrec.2008.05.009

Taylor, J., Barnard, M., Neil, H. et Creegan, C. (2009). *The Travel Choices and Needs of Low Income Households: the Role of the Car* (p. 62). National Centre for Social Research.

Thomopoulos, N., Grant-Muller, S. et Tight, M. R. (2009). Incorporating equity considerations in transport infrastructure evaluation: Current practice and a proposed methodology. *Evaluation and Program Planning*, *32*(4), 351-359. doi:10.1016/j.evalprogplan.2009.06.013

UK Social Exclusion Unit. (2003). *Making the Connections: Final Report on Transport and Social Exclusion*. United Kingdom : Office of the Deputy Prime Minister. Repéré à https://www.researchgate.net/publication/37183823_Making_the_connections_final_report_on_transport_and_social_exclusion_summary

UK Sustainable Development Commision. (2011). *Fairness in a Car-dependent Society* (p. 47). United Kingdom : UK Sustainable Development Commission.

Van Wee, B. et Geurs, K. (2011). Discussing Equity and Social Exclusion in Accessibility Evaluations. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 18.

Wachs, M. et Kumagai, T. G. (1973). Physical accessibility as a social indicator. *Socio-Economic Planning Sciences*, *7*(5), 437-456. doi:10.1016/0038-0121(73)90041-4

Wilson, A. G. (1971). A Family of Spatial Interaction Models, and Associated Developments. *Environment and Planning A: Economy and Space*, *3*(1), 1-32. doi:10.1068/a030001

Zoller, H. G. et Béguin, H. (1992). Aide à la décision: l'évaluation des projets d'aménagement. Dans *L'espace géographique*. Paris, France.

ANNEXE A CODE JAVASCRIPT (EXPOSITION À L'OFFRE TC)

dispoServiceBusMetro.js | test_nb_lignes.js | stm_csvtojson.js | ajoutPassarretMetro.js

```javascript
const fs = require('fs');
const Json2csvParser = require('json2csv').Parser;

//Fonctions
function loadJSON(filename, encoding) {
  try {
    if (typeof (encoding) == 'undefined') encoding = 'utf8';
    var contents = fs.readFileSync(filename, encoding);
    return JSON.parse(contents);
  } catch (err) {
    throw err;
  }
}

function convertHMStoSeconds(hms) {
  try {
    var splittedhms = hms.split(':'); // split it at the :
    return (+splittedhms[0]) * 60 * 60 + (+splittedhms[1]) * 60 + (+splittedhms[2]);
  } catch (err) {
    throw err;
  }
}

//Importation des fichiers GTFS
let stmStops;
stmStops = loadJSON("C:/Users/Linda/OneDrive - polymtl.ca/Polytechnique/Memoire/Données/GTFS/STM/gtfs_stm/JSON/stm_stops.json");

let stmTrips;
stmTrips = loadJSON("C:/Users/Linda/OneDrive - polymtl.ca/Polytechnique/Memoire/Données/GTFS/STM/gtfs_stm/JSON/stm_trips.json");

let stmStoptimes;
stmStoptimes = loadJSON("C:/Users/Linda/OneDrive - polymtl.ca/Polytechnique/Memoire/Données/GTFS/STM/gtfs_stm/JSON/stm_stop_times.json");

let stmFrequencies;
stmFrequencies = loadJSON("C:/Users/Linda/OneDrive - polymtl.ca/Polytechnique/Memoire/Données/GTFS/STM/gtfs_stm/JSON/stm_frequencies.json");
```

```javascript
//Construction du map relatif aux Trips
const tripsMap = new Map();
for (let i = 0, count = stmTrips.length; i < count; i++){
  const trip = stmTrips[i];
  tripsMap.set(trip.trip_id,trip);
}
const stopsMap = new Map();
for (let i = 0, count = stmStops.length; i < count; i++){
  const stop = stmStops[i];
  stopsMap.set(stop.stop_id,stop);
}
const frequenciesMap = new Map();
for (let i = 0, count = stmFrequencies.length; i < count; i++){
  const frequency = stmFrequencies[i];
  frequenciesMap.set(frequency.trip_id,frequency);
}

// ÉTAPE: PASSAGES-ARRÊT DES BUS SEULEMENT
// Construction de l'objet "pas" pour les paires (stop_id + service_id) relatifs aux bus
const pas = {};
for (let i = 0, count = stmStoptimes.length; i < count; i++) {
  let stopId = stmStoptimes[i].stop_id;
  let serviceId = tripsMap.get(stmStoptimes[i].trip_id).service_id;
  if (stmStoptimes[i].stop_id > 68) {
    if (!pas[stopId]) {
      pas[stopId] = {};
    }
    if (!pas[stopId][serviceId]) {
      //Au lieu d'avoir seulement un array pour stocker mes passages-arrêts, j'ai maintenant plusieurs attributs initialisés!
      pas[stopId][serviceId] = {passages: [], nbPassages: 0, intervalles: [], intervalleMoyen: null, dispoService: null};
    }
    const tps = convertHMStoSeconds(stmStoptimes[i].departure_time);
    pas[stopId][serviceId].passages.push(tps);
    pas[stopId][serviceId].nbPassages += 1;
  }
```

```javascript
//Tri des heures de passage pour chaque stop_id => Boucle pour passer toutes les entrées
for (const stopId in pas) {
  const stop = pas[stopId];
  for (const serviceId in stop) {
    //Fonction pour remettre les passages dans le bon ordre
    pas[stopId][serviceId].passages.sort(function(a, b){return a-b});
  }
}

//Manips pour modifier dynamiquement les attributs 'Intervalles'
for (const stopId in pas) {
  const stop = pas[stopId];
  for (const serviceId in stop) {
    //Calcul des intervalles de service pour chaque paire (stop_id + service_id)
    for (let i = 0, count = pas[stopId][serviceId].nbPassages; i < count; i++) {
      const actualTps = pas[stopId][serviceId].passages[i];
      if (i>=1){
        const previousTps = pas[stopId][serviceId].passages[i-1];
        const intervalle = actualTps-previousTps;
        pas[stopId][serviceId].intervalles.push(intervalle);
      }
    }
  }
}
```

dispoServiceBusMetro.js | test_nb_lignes.js | stm_csvtojson.js | ajoutPassarretMetro.js

```javascript
for (const stopId in pas) {
  const stop = pas[stopId];
  for (const serviceId in stop) {

    //Remise à zéro des variables avant chaque nouvelle paire => calcul de la dispo de service
    let interruption = 0;
    let dispo = 0;
    let premierPassage = pas[stopId][serviceId].passages[0]; //stocke l'heure (en secondes) du premier passage
    let dernierPassage = pas[stopId][serviceId].passages[pas[stopId][serviceId].nbPassages-1];
    let passageSuivant = null;

    for (let i = 1, count = pas[stopId][serviceId].nbPassages; i <= count; i++) {
      if (pas[stopId][serviceId].nbPassages >= 2) {
        let passageActuel = pas[stopId][serviceId].passages[i-1];
        passageSuivant = pas[stopId][serviceId].passages[i];
        let intervalle = passageSuivant-passageActuel;
        //enregistrement de l'intervalle
        //pas[stopId][serviceId].intervalles.push(intervalle);
        if (intervalle > 900) { //900 secondes = 15 minutes
          interruption += intervalle-900;
        }
        //passageActuel = passageSuivant; //ligne inutile, car boucle renouvelle déjà sa valeur
      }
      else if (pas[stopId][serviceId].nbPassages = 1) {
      dispo = 900/3600.0;
      }
    }
    dispo = (dernierPassage-premierPassage-interruption)/3600.0;
    pas[stopId][serviceId].dispoService = dispo;

    //Calcul du nombre de passages par paire
    if (pas[stopId][serviceId].nbPassages >= 2) {
      pas[stopId][serviceId].intervalleMoyen = (pas[stopId][serviceId].intervalles.reduce(function(a, b) { return a + b; }) / (pas[stopId][serviceId].intervalles
    }
  }
}
```

```javascript
//PASSAGES-ARRÊTS DU MÉTRO
const pam = {};
for (let i = 0, count = stmStoptimes.length; i < count; i++) {
  //condition pour ne garder que les stations de métro (1ère condition) et éviter de considérer les édicules (2e condition)
  if (stmStoptimes[i].stop_id <= 68 && tripsMap.get(stmStoptimes[i].trip_id).route_id != null) {
    const tripId = stmStoptimes[i].trip_id;
    const stopId = parseInt(stmStoptimes[i].stop_id);
    const serviceId = tripsMap.get(stmStoptimes[i].trip_id).service_id; //ajouté pour stations de correspondance
    const routeId = tripsMap.get(stmStoptimes[i].trip_id).route_id;
    //Condition IF() supplémentaire pour éviter l'ajout de trip_id n'ayant aucune correspondance dans stm_frequencies (Problème avec Vincent)
    if (frequenciesMap.get(tripId)) {
      if (!pam[stopId]) {
        pam[stopId] = {};
      }
      if (!pam[stopId][serviceId]) {
        pam[stopId][serviceId] = {};
      }
      if (!pam[stopId][serviceId][routeId]) {
        pam[stopId][serviceId][routeId] = {frequences:[], nbPassages: 0, intervalleMoyen: null, dispoService: null};
      }
      /* Ici, on vient seulement remplir le champ 'frequences', les autres demeurent vides à l'issue de cette boucle */
      for (let j = 0, count = stmFrequencies.length; j < count; j++) {
        if (tripsMap.get(stmFrequencies[j].trip_id).service_id == serviceId && tripsMap.get(stmFrequencies[j].trip_id).route_id == routeId) {
          const freq = {};
          freq["debut"] = convertHMStoSeconds(stmFrequencies[j].start_time);
          freq["fin"] = convertHMStoSeconds(stmFrequencies[j].end_time);
          freq["intervalle"] = parseInt(stmFrequencies[j].headway_secs);
          pam[stopId][serviceId][routeId].frequences.push(freq);
        }
      }
    }
  }
}
```

```javascript
// Comptabilisation du nombre de passages-arrêt pour chaque station et chaque trip_id
for (const stopId in pam) {
  const stop = pam[stopId];
  for (const serviceId in stop) {
    const service = pam[stopId][serviceId];
    for (const routeId in service) {

      let longueur = pam[stopId][serviceId][routeId].frequences.length;
      let debut = pam[stopId][serviceId][routeId].frequences[0].debut;
      let fin = pam[stopId][serviceId][routeId].frequences[0].fin;

      let i = 1;
      let passage = 1; //début de la première séquence --> ne serait pas comptabilisé autrement
      let heure = debut;
      /* PAS SÛR de comprendre la condition de cette boucle... */
      while (/*heure != fin && */fin <= pam[stopId][serviceId][routeId].frequences[i].debut) {
        let passfreq = 0;
        //console.log(pam[stopId][serviceId][routeId].frequences[i]);
        const heureDebut = pam[stopId][serviceId][routeId].frequences[i].debut;
        const heureFin = pam[stopId][serviceId][routeId].frequences[i].fin;
        const intervalleService = pam[stopId][serviceId][routeId].frequences[i].intervalle;
        passfreq = ( heureFin - heureDebut ) / intervalleService;
        passage += passfreq;
        //heure = heureFin;
        fin = heureFin;
        i++;
      }
      pam[stopId][serviceId][routeId].nbPassages = Math.round(passage);
      pam[stopId][serviceId][routeId].dispoService = (fin-debut)/3600.0;
      pam[stopId][serviceId][routeId].intervalleMoyen = (pam[stopId][serviceId][routeId].dispoService / (pam[stopId][serviceId][routeId].nbPassages - 1))*60.0;

    }
  }
}
/*
```

```javascript
// ÉTAPE 3: ÉCRITURE DES VALEURS DANS UN FICHIER CSV POUR EXPORTATION VERS POSTGRES
let data = [];

//BUS
for (const stopId in pas) {
  const stop = pas[stopId];
  for (const serviceId in stop) {
    const ligne = {};
    ligne["stop_id"] = parseInt(stopId);
    ligne["service_id"] = serviceId;
    ligne["nb_passages"] = parseInt(pas[stopId][serviceId].nbPassages);
    ligne["intervalle_moy"] = parseInt(pas[stopId][serviceId].intervalleMoyen);
    ligne["dispo_service"] = parseFloat(pas[stopId][serviceId].dispoService);
    data.push(ligne);
  }
```

```javascript
//METRO
let compteurStopId = 0;
let compteurTripId = 0;
for (const stopId in pam) {
  const stop = pam[stopId];
  for (const serviceId in stop) {
    const service = pam[stopId][serviceId];

    const ligne = {};
    let nbpassages = 0;
    let intervmoy = 0;
    let disposerv = 0;
    let nbroutes = 0;
    ligne["stop_id"] = parseInt(stopId);
    ligne["service_id"] = serviceId;
    for (const routeId in service) {
      nbpassages += pam[stopId][serviceId][routeId].nbPassages; //pour comptabiliser TOUTES les lignes passant par même station
      intervmoy += pam[stopId][serviceId][routeId].intervalleMoyen;
      disposerv += pam[stopId][serviceId][routeId].dispoService;
      nbroutes++;
    }
    ligne["nb_passages"] = 2*nbpassages; //pour comptabiliser les 2 directions
    ligne["intervalle_moy"] = intervmoy/nbroutes;
    ligne["dispo_service"] = disposerv/nbroutes;
    data.push(ligne);
  }
}
```

```javascript
//Écriture des résultats dans un fichier CSV
const champs = ['stop_id', 'service_id', 'nb_passages', 'intervalle_moy', 'dispo_service'];
const json2csvParser = new Json2csvParser({ champs });
const csv = json2csvParser.parse(data);
//console.log(csv);

fs.writeFileSync("C:/Users/Linda/OneDrive - polymtl.ca/Polytechnique/Memoire/Analyses/Indicateurs/Manipulations/Javascript/dispoServiceMetroSlmt.csv", csv, 'utf8
  if (err) {
    console.log('Some error occured - file either not saved or corrupted file saved.');
  } else{
    console.log('Bravo!');
  }
});
```

ANNEXE A CARTES DU VOLET SUFFICIENTARISTE (TRILOGIES DE CARTES)

Accessibilité locale : Écoles primaires

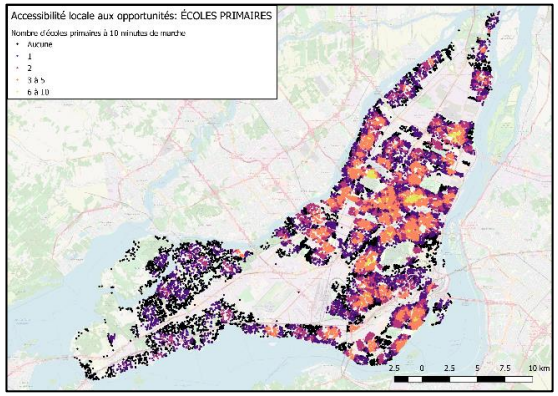


Figure 1 – Quantité d'écoles primaires à 10 minutes de marche

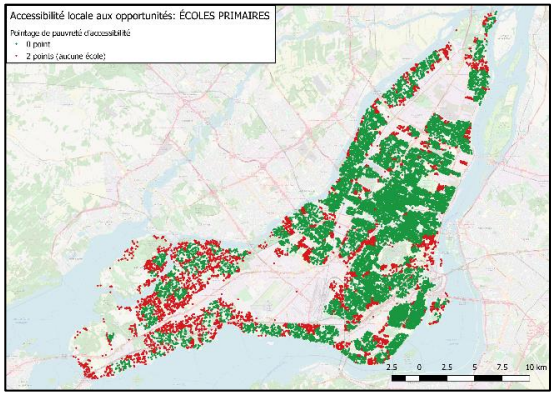


Figure 2 – Pointage de déficit d'accès aux écoles primaires

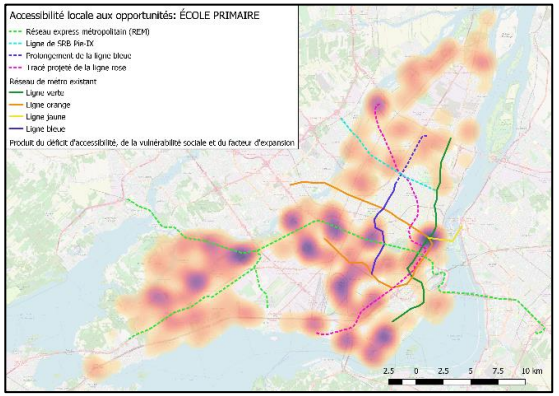


Figure 3 – Produit du déficit d'accès aux écoles primaires et de la vulnérabilité

Accessibilité locale : Écoles secondaires

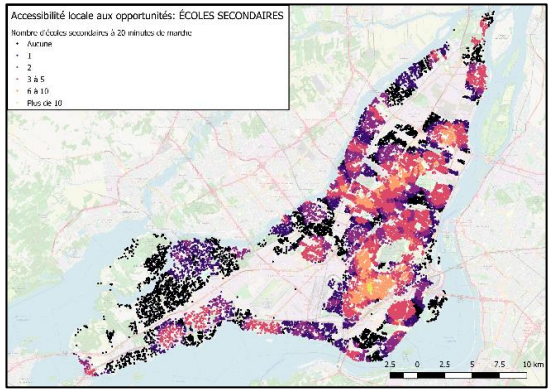


Figure 4 – Quantité d'écoles secondaires à 20 minutes de marche

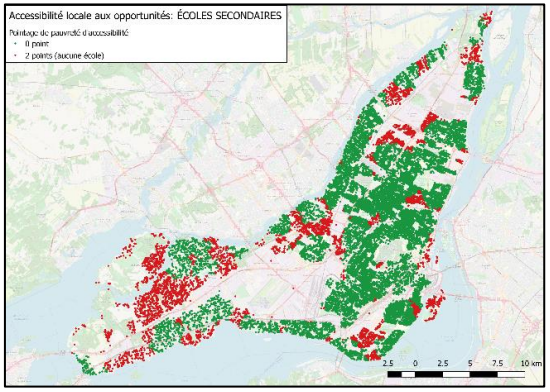


Figure 5 – Pointage de déficit d'accès aux écoles secondaires

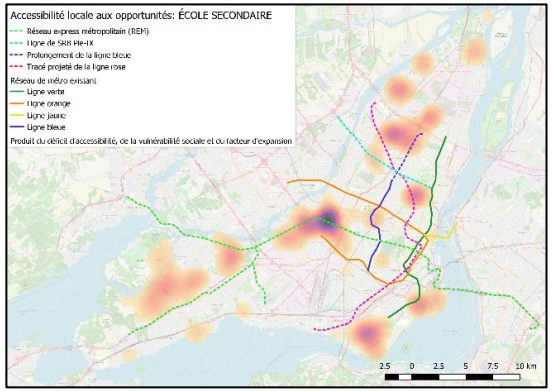


Figure 6 – Produit du déficit d'accès aux écoles secondaires et de la vulnérabilité

Accessibilité locale : Garderies et CPE

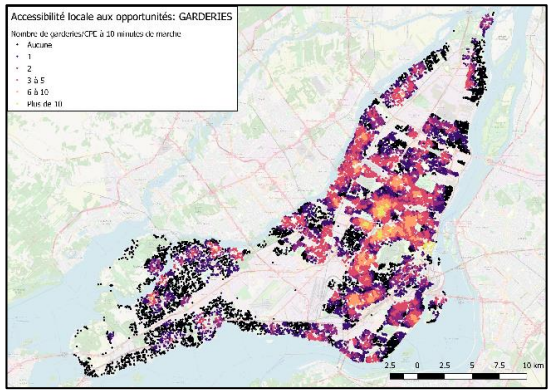


Figure 7 – Quantité de garderies/CPE à 10 minutes de marche

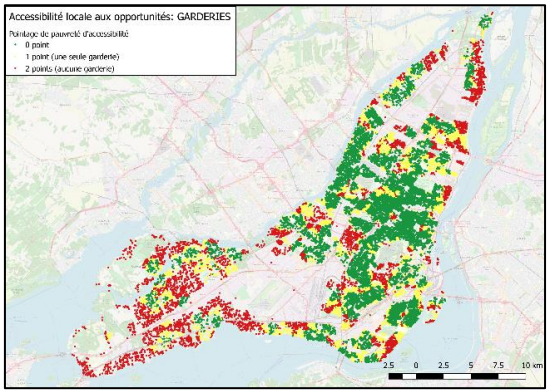


Figure 8 – Pointage de déficit d'accès aux garderies/CPE

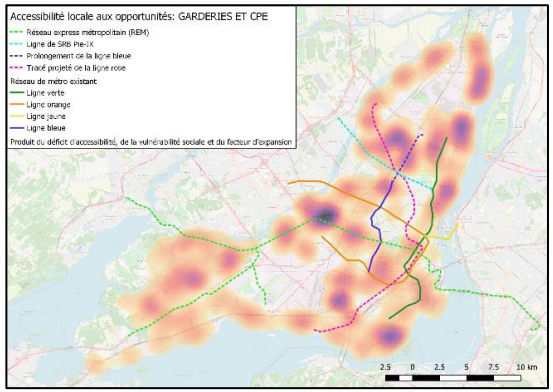


Figure 9 – Produit du déficit d'accès aux garderies/CPE et de la vulnérabilité

Accessibilité locale : Magasins du dollar

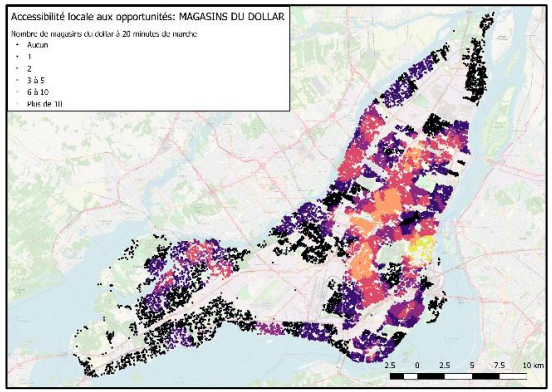


Figure 10 – Quantité de magasins du dollar à 20 minutes de marche

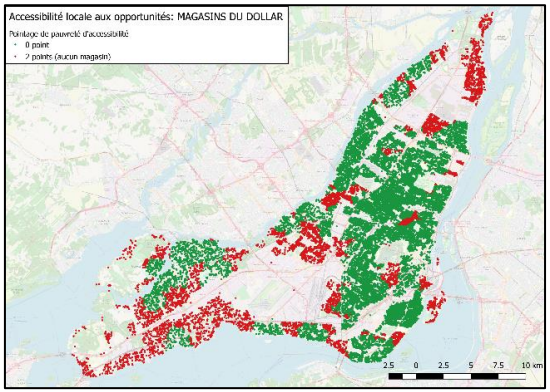


Figure 11 – Pointage de déficit d'accès aux magasins du dollar

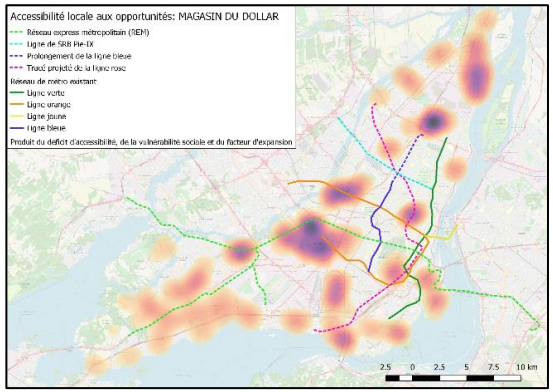


Figure 12 – Produit du déficit d'accès aux magasins du dollar et de la vulnérabilité

Accessibilité locale : Parcs de quartier

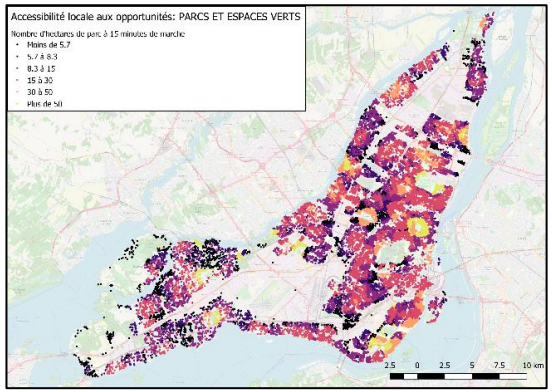


Figure 13 – Nombre d'hectares de parcs à 10 minutes de marche

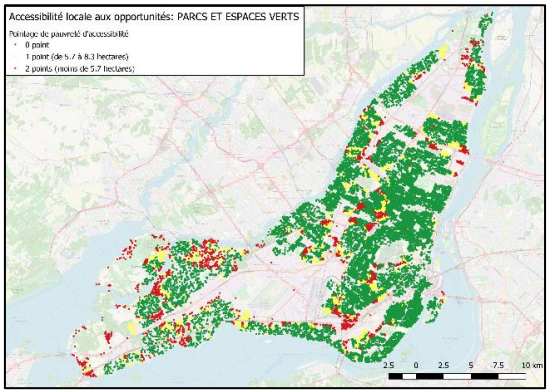


Figure 14 – Pointage de déficit d'accès aux parcs de quartier

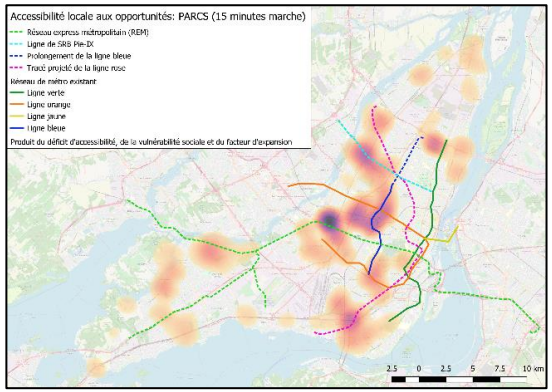


Figure 15 – Produit du déficit d'accès aux parcs de quartier et de la vulnérabilité

Accessibilité locale : Pharmacies

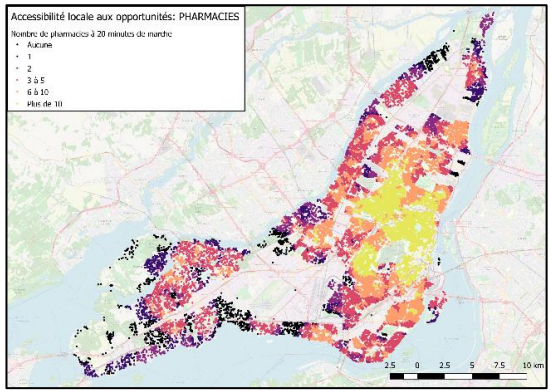


Figure 16 – Quantité de pharmacies à 20 minutes de marche

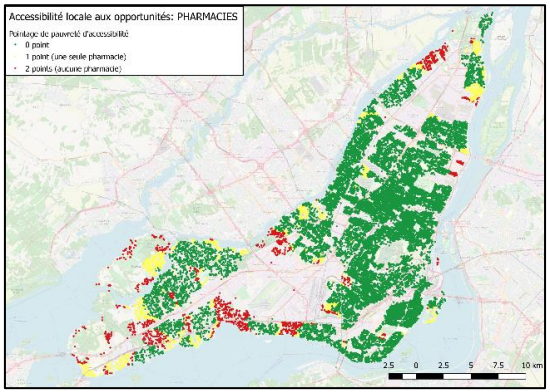


Figure 17 – Pointage de déficit d'accès aux pharmacies

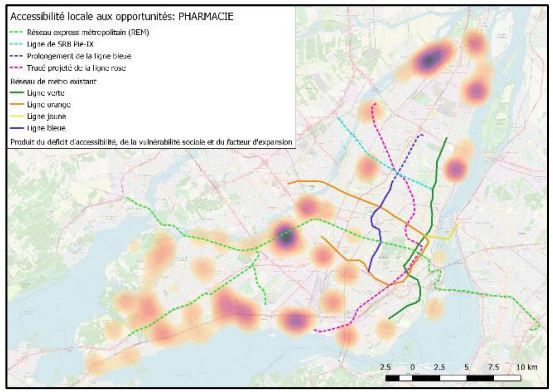


Figure 18 – Produit du déficit d'accès aux pharmacies et de la vulnérabilité

Accessibilité locale : Supermarchés

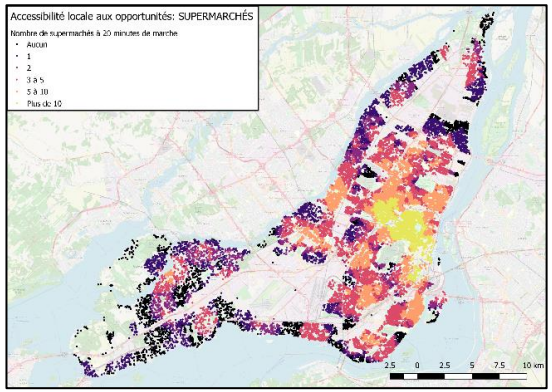


Figure 19 – Quantité de supermarchés à 20 minutes de marche

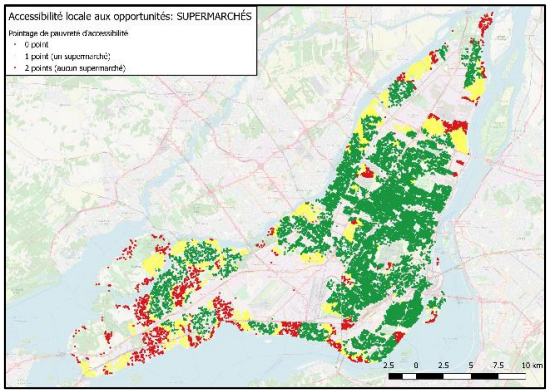


Figure 20 – Pointage de déficit d'accès aux supermarchés

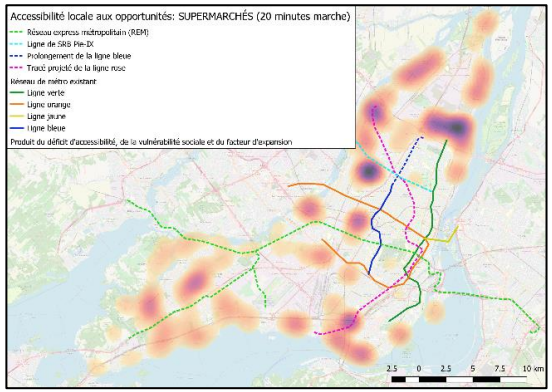


Figure 21 – Produit du déficit d'accès aux supermarchés et de la vulnérabilité

Accessibilité régionale : Bibliothèques

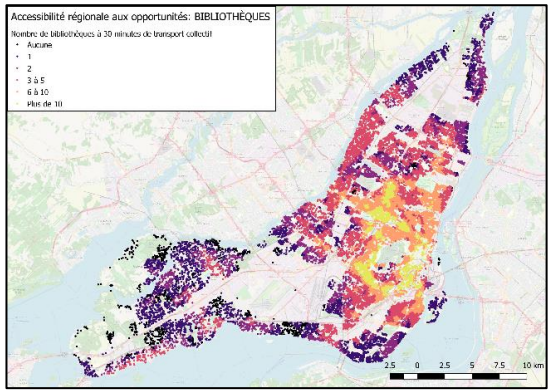


Figure 22 – Quantité de bibliothèques à 30 minutes de transport collectif

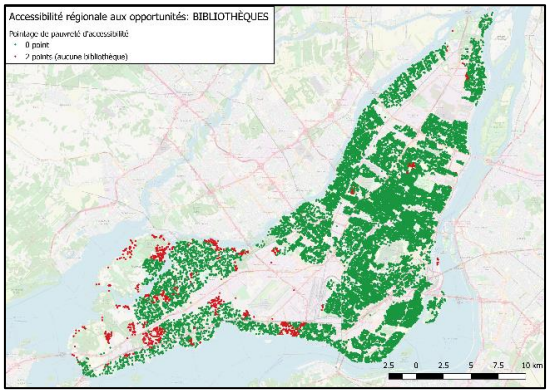


Figure 23 – Pointage de déficit d'accès aux bibliothèques

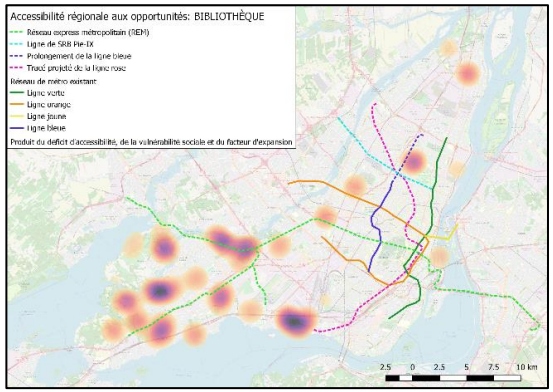


Figure 24 – Produit du déficit d'accès aux bibliothèques et de la vulnérabilité

Accessibilité régionale : CÉGEP

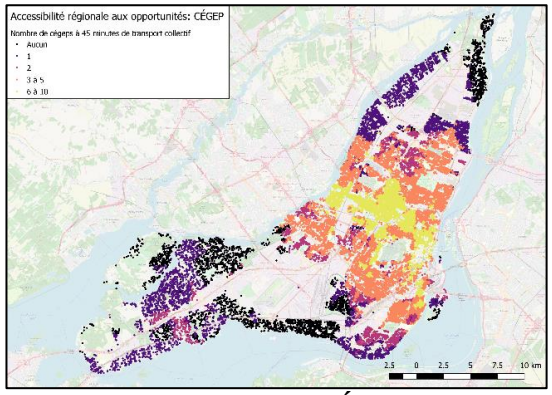


Figure 25 – Quantité de CÉGEP à 45 minutes de transport collectif

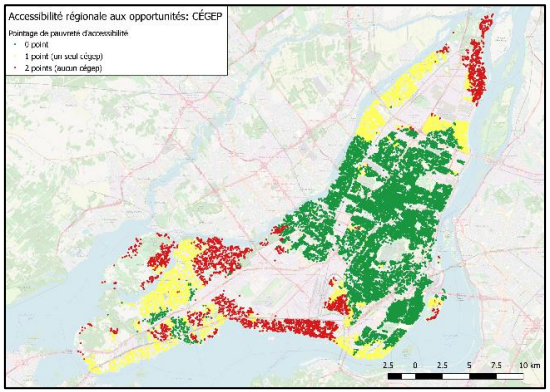


Figure 26 – Pointage de déficit d'accès aux CÉGEP

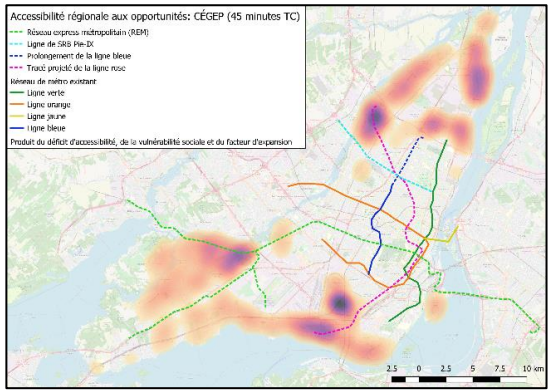


Figure 27 – Produit du déficit d'accès aux CÉGEP et de la vulnérabilité

Accessibilité régionale : CLSC

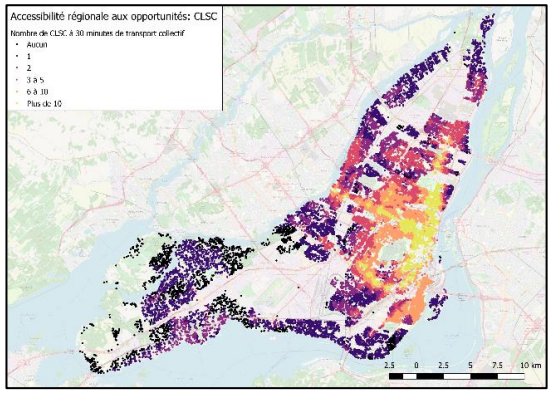


Figure 28 – Quantité de CLSC à 30 minutes de transport collectif

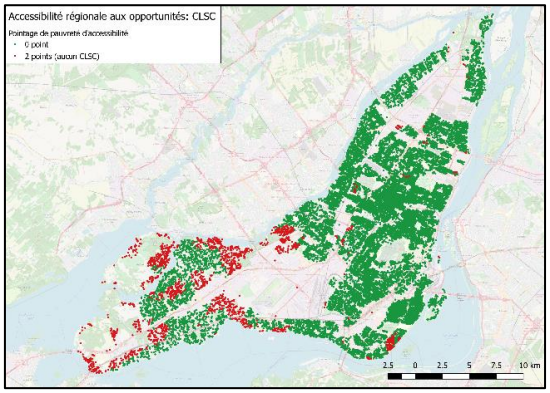


Figure 29 – Pointage de déficit d'accès aux CLSC

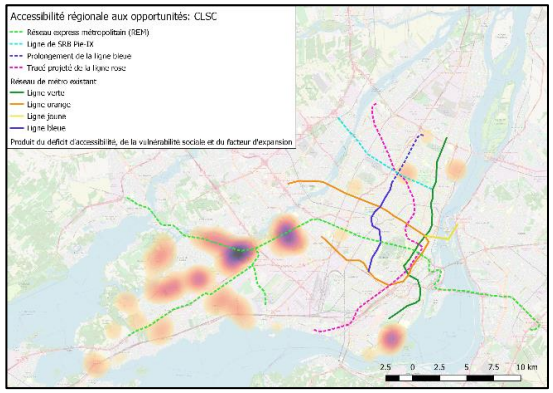


Figure 30 – Produit du déficit d'accès aux CLSC et de la vulnérabilité

Accessibilité régionale : Emplois

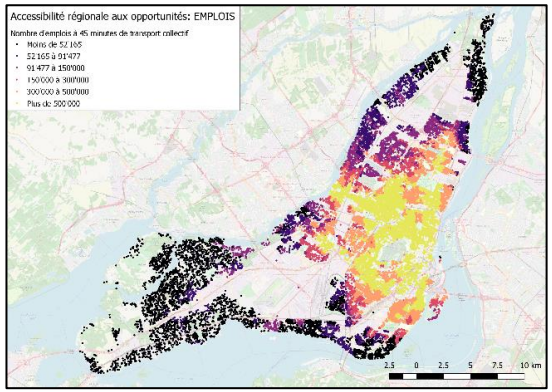


Figure 31 – Quantité d'emplois à 45 minutes de transport collectif

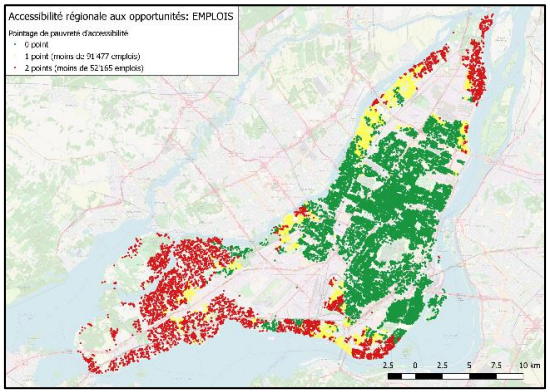


Figure 32 – Pointage de déficit d'accès aux emplois

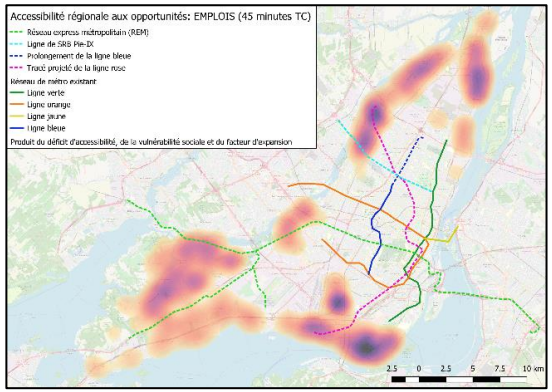


Figure 33 – Produit du déficit d'accès aux emplois et de la vulnérabilité

Accessibilité régionale : Formation professionnelle

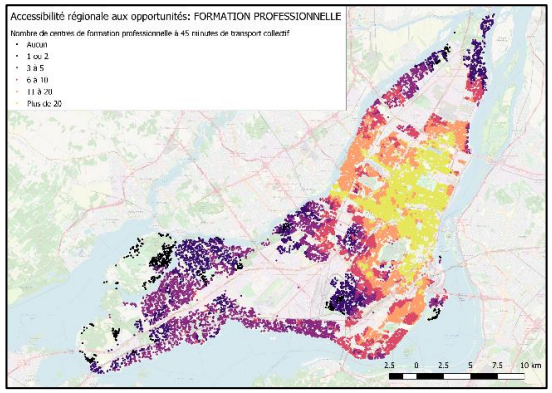


Figure 34 – Centres de formation professionnelle à 45 minutes de TC

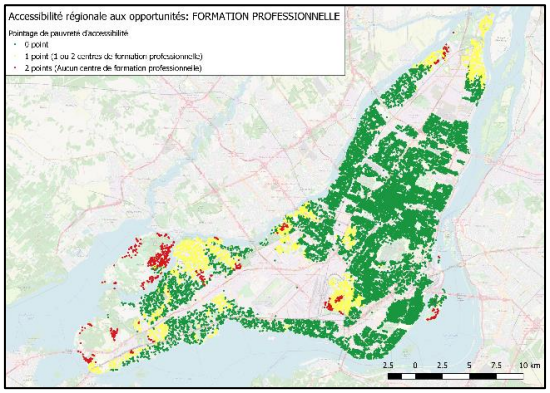


Figure 35 – Pointage de déficit d'accès aux centres de formation professionnelle

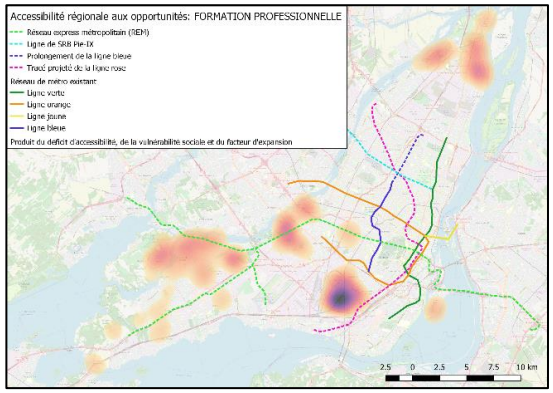


Figure 36 – Produit du déficit d'accès aux centres de formation et de la vulnérabilité

Accessibilité régionale : Magasins d'occasion (friperies)

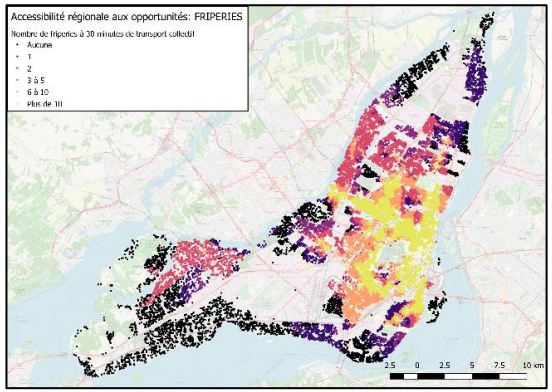


Figure 37 – Quantité de friperies/magasins d'occasion à 30 minutes de TC

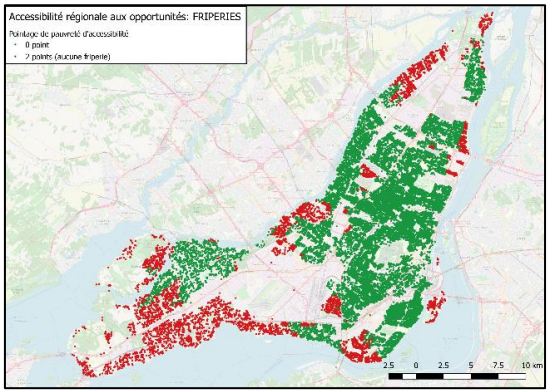


Figure 38 – Pointage de déficit d'accès aux friperies/magasins d'occasion

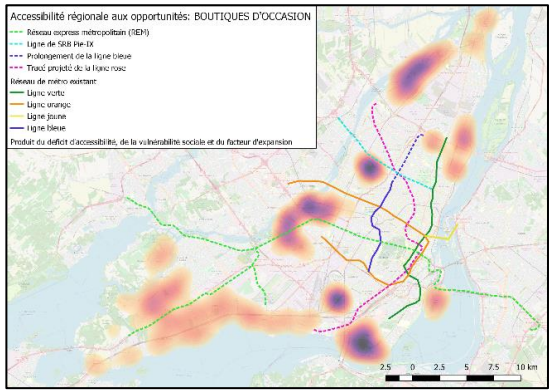


Figure 39 – Produit du déficit d'accès aux friperies et de la vulnérabilité

Accessibilité régionale : Grands parcs

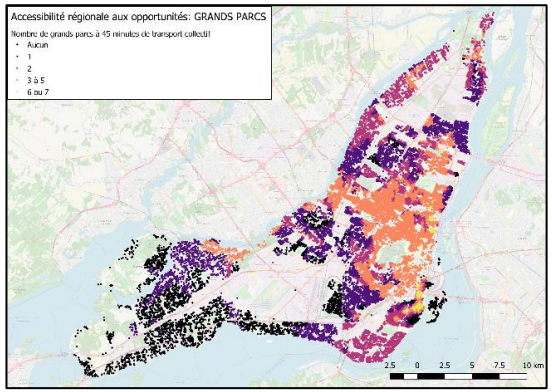


Figure 40 – Quantité de grands parcs à 45 minutes de TC

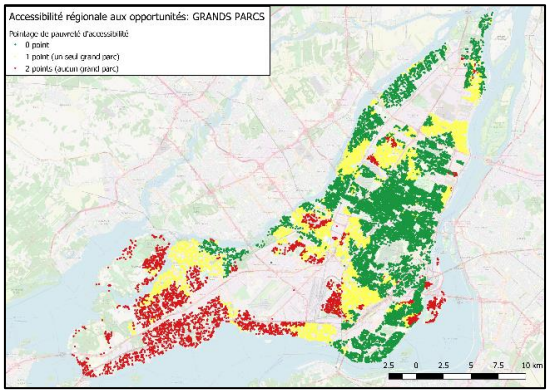


Figure 41 – Pointage de déficit d'accès aux grands parcs

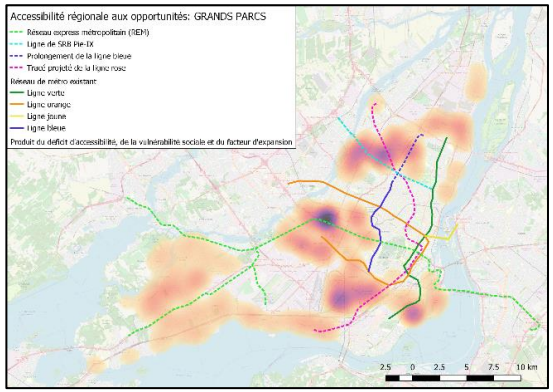


Figure 42 – Produit du déficit d'accès aux grands parcs et de la vulnérabilité

Accessibilité régionale : Hôpitaux

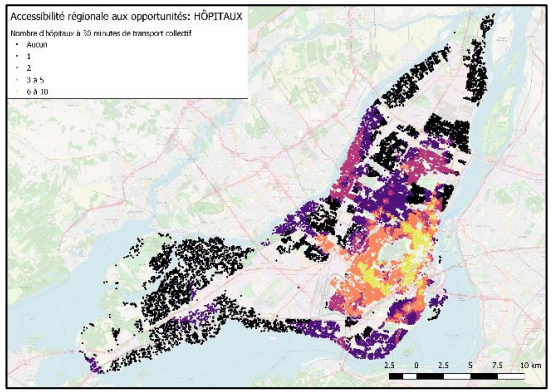


Figure 43 – Quantité d'hôpitaux à 30 minutes de TC

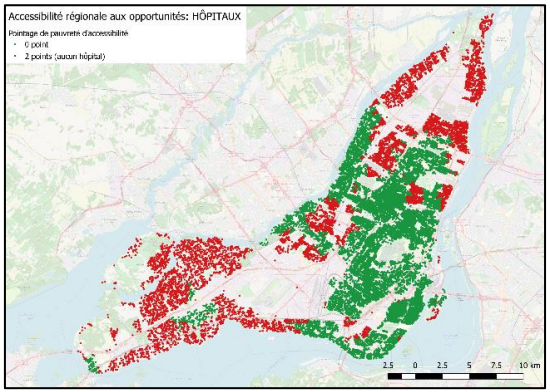


Figure 44 – Pointage de déficit d'accès aux hôpitaux

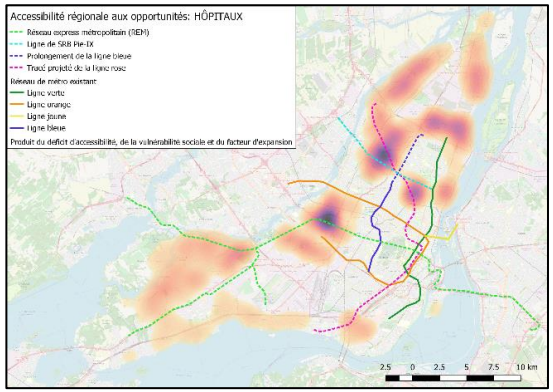


Figure 45 – Produit du déficit d'accès aux hôpitaux et de la vulnérabilité

Accessibilité régionale : Musées

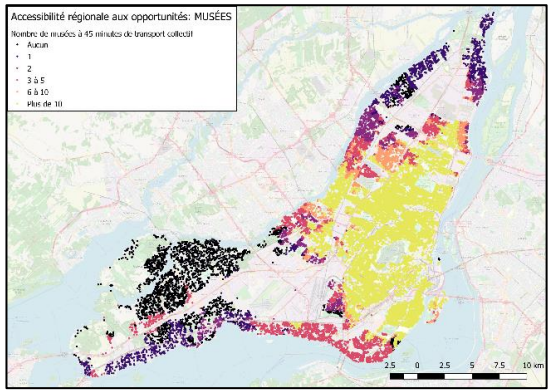


Figure 46 – Quantité de musées à 45 minutes de TC

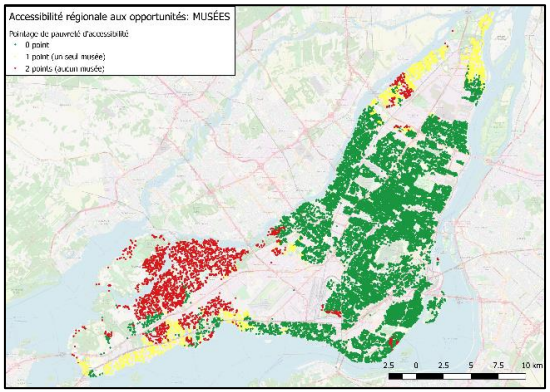


Figure 47 – Pointage de déficit d'accès aux musées

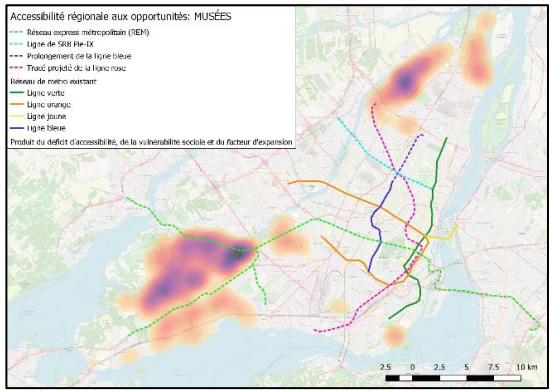


Figure 48 – Produit du déficit d'accès aux musées et de la vulnérabilité

Accessibilité régionale : Universités

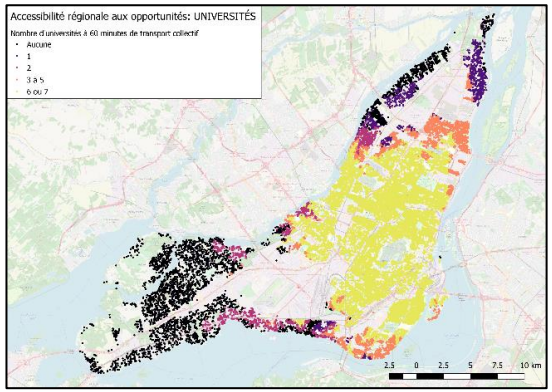


Figure 49 – Quantité d'universités à 60 minutes de TC

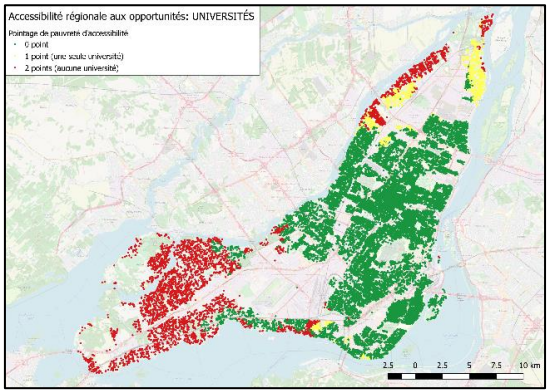


Figure 50 – Pointage de déficit d'accès aux universités

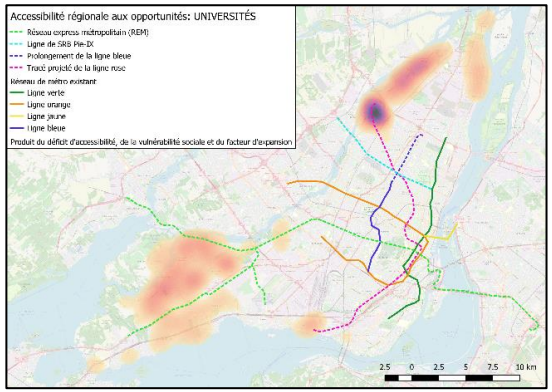


Figure 51 – Produit du déficit d'accès aux universités et de la vulnérabilité

Exposition locale à l'offre de services : Accès aux arrêts

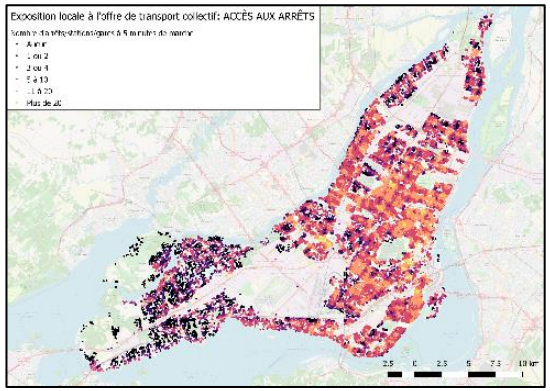


Figure 52 – Quantité d'arrêts accessibles à 5 minutes de marche

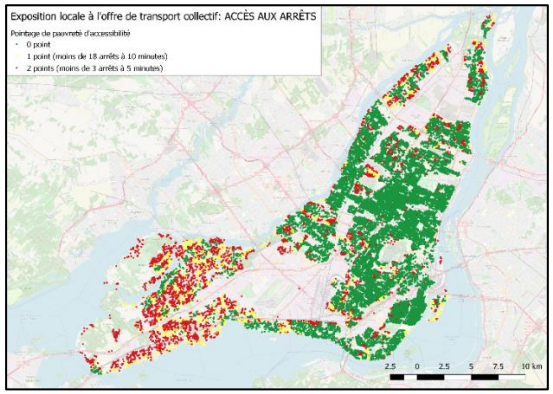


Figure 53 – Pointage de déficit d'accès aux arrêts de transport collectif

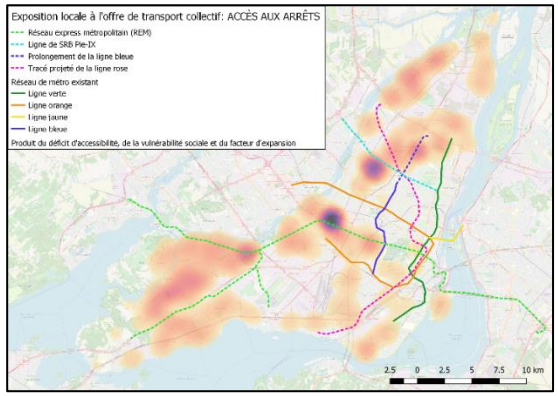


Figure 54 – Produit du déficit d'accès aux arrêts et de la vulnérabilité

Exposition locale à l'offre de services : Nombre de passages-ligne (fréquence)

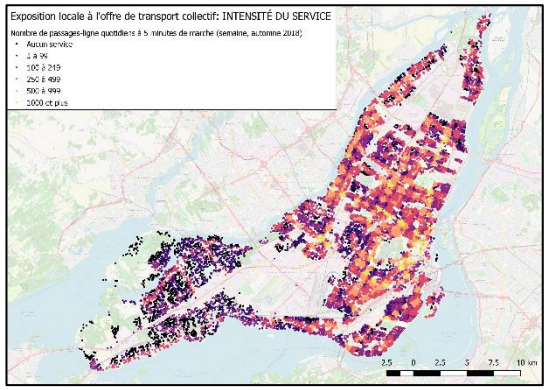


Figure 55 – Quantité de passages-ligne à 5 minutes de marche

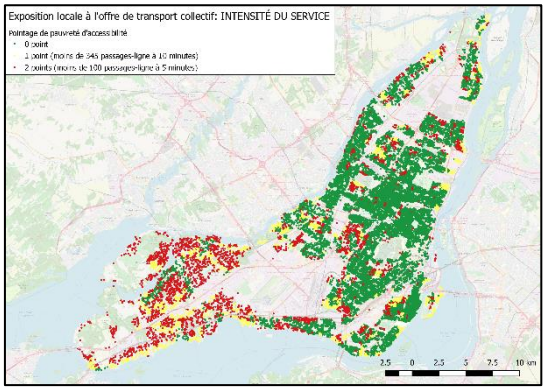


Figure 56 – Pointage de déficit d'accès aux passages-ligne (fréquence)

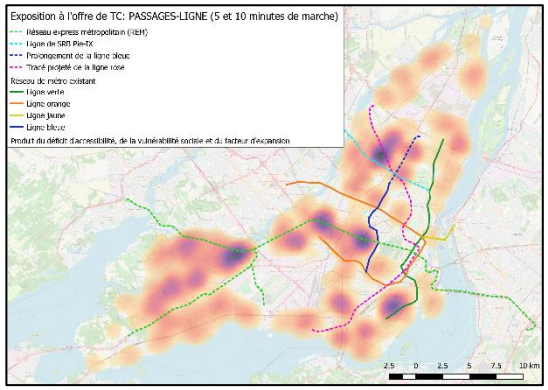


Figure 57 – Produit du déficit d'accès aux passages-ligne et de la vulnérabilité

Exposition locale à l'offre de services : Heures cumulées de service (continuité)

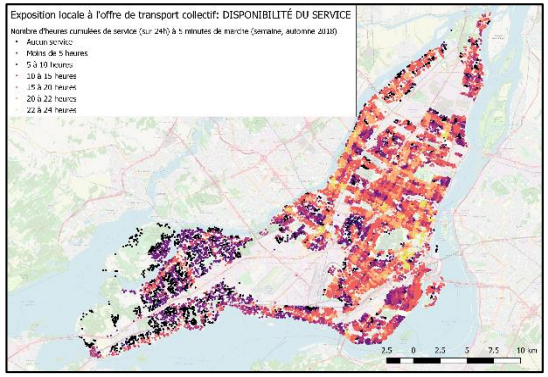


Figure 58 – Heures de service cumulées à 5 minutes de marche

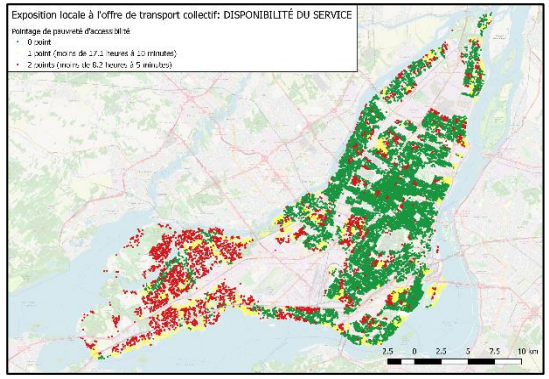


Figure 59 – Pointage de déficit d'heures de service cumulées

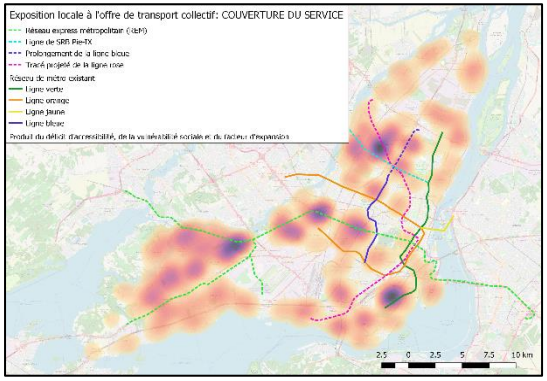


Figure 60 – Produit du déficit d'heures de service cumulées et de la vulnérabilité