POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Développement d'indicateurs de durabilité pour le transport en commun

JUDITH MAGEAU-BÉLAND

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

© Judith Mageau-Béland, 2019.

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé :

Développement d'indicateurs de durabilité pour le transport en commun

présenté par **Judith MAGEAU-BÉLAND**

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

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

Martin TRÉPANIER, président

Catherine MORENCY, membre directrice de recherche

Julie TELLIER, membre

DÉDICACE

« Pourquoi faire ça simple, quand on peut faire ça compliqué. » - Proverbe Mageau

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, j'aimerais remercier Catherine Morency de m'avoir permis de vivre l'aventure incroyable qu'a été la maîtrise. Même si je ne représentais pas nécessairement le profil pour atteindre la maîtrise, merci de m'avoir donné ma chance et montré ta confiance en mes capacités. Il s'agit d'une grande expérience que je suis heureuse d'avoir pu réaliser. J'ai découvert le monde du transport grâce à vous et ça a été un point marquant de mes études et dans ma vie de façon générale. Merci infiniment!

Je remercie également les partenaires de la Chaire Mobilité pour le financement des travaux : le Ministère des Transports du Québec, la STM, EXO, l'ARTM et la Ville de Montréal.

Merci également à l'exceptionnelle équipe d'étudiants en transport, autant pour les conseils, le partage de connaissance, d'inquiétudes et de randonnées de vélo : Jérôme, Gabriel, Élodie, Greg, Charles, Yann, Simon, Vincent, Mohamed, Julien et tous les autres. Merci en particulier à Jérôme qui a cru en mes capacités dès le début et qui m'a inspiré à vouloir accéder à la maîtrise en transport.

Je remercie les associés de recherche, Jean-Simon, Hubert, Pierre-Léo et Brigitte, pour votre aide, vos conseils et vos discussions toujours intéressantes.

Merci à ma famille de m'avoir épaulée tout au long de cette montagne russe qu'a été la maîtrise, mais également les années intenses du baccalauréat, en plus des dernières semaines à vous casser les oreilles avec mon mémoire. Blanche, Geoffroy, Pascale, Marc-Olivier, Chantal et Nil, sans votre support et vos encouragements, je ne me serais pas rendue au bout de cette aventure. On a tous traversés des années plutôt intenses dernièrement, mais vous avez toujours trouvé le moyen de m'épauler.

Enfin, je remercie spécialement Jean-Philippe, pour ton aide sur R et Python, pour ton écoute pour mes pratiques de présentation, pour tes conseils rassurant sur le monde particulier de la recherche et surtout pour ton support moral qui a été plus qu'important au cours des dernières années. J'ai déjà hâte à nos prochains projets qui seront probablement aussi intenses que nos maîtrises respectives.

RÉSUMÉ

Dans un contexte où la mobilité durable est largement discutée, autant dans le discours public que scientifique, la quantification de celle-ci, en plus de ses différentes composantes, est toujours difficilement opérationnelle. La création d'indicateurs permet non seulement la description de la durabilité d'un système, mais également la comparaison de scénarios sur une base équivalente. On se concentre ici spécifiquement sur le transport collectif, pour des fins de simplification des indicateurs ainsi que pour la qualité des données disponibles sur le sujet.

La littérature regorge de proposition de modèles de systèmes d'indicateurs ou d'index de durabilité. Le travail de la recherche est donc d'évaluer leur pertinence, leur équilibre et, le cas échéant, leur applicabilité au transport en commun. Pour y arriver, une vaste revue de littérature est effectuée tout d'abord sur les indicateurs de mobilité durable et de durabilité en général, puis pour chacun des indicateurs, se concentrant principalement sur leur contexte théorique spécifique et sur les méthodes de mesure. Cette étape permet de construire un cadre méthodologique pour l'évaluation de l'indicateur sur un scénario de développement ou de modification du service de transport en commun, tout en conservant la possibilité de modifier l'échelle d'application (d'un arrêt à une ligne, par exemple). Enfin, deux indicateurs sont poussés davantage afin de comprendre le contexte les entourant, les possibilités de mesures et l'application dans le contexte réel de la région montréalaise.

Le premier de ces deux indicateurs est le potentiel de contact social occasionné par l'exposition sociale aux groupes différents de ceux rencontrés au domicile par les individus. Cette exposition peut en effet varier au cours d'une journée grâce aux déplacements des individus, ce qui la rend dynamique, c'est-à-dire variable dans le temps et l'espace. Ce faisant, une étude du dynamisme de la composition sociale des secteurs de la région de Montréal est réalisée avec l'utilisation de l'Enquête Origine-Destination 2013 de Montréal ainsi que le Recensement canadien 2016. Ces données permettent d'offrir un profil social portant sur le revenu, l'âge, le statut et l'appartenance à une minorité visible.

Il est donc possible d'offrir des observations portant sur la considérable variation de certaines variables sociales. Notamment, le statut près des pôles d'emplois de la région ainsi que l'augmentation de diversité en termes de minorités visibles des quartiers, lorsqu'analysés de façon

statique, montrent une faible exposition aux différents groupes. L'exposition sociale est déconstruite afin d'en offrir un regard complet, en tenant compte des lieux d'activité.

La contribution du transport dans la possibilité d'exposition à ces lieux d'activité est également approchée en comparant les niveaux d'exposition des individus se déplaçant à ceux n'effectuant aucun déplacement. De cette façon, il est entre autres possible de constater que certains individus peuvent augmenter le niveau de diversité sociale auquel ils sont exposés même en ne se déplaçant pas. Cependant, les gains majeurs sont réalisés par des individus se déplaçant avec une augmentation moyenne de l'indice d'interaction entre le domicile et le secteur le plus diversifié rencontré de 0,20 contre 0,09 pour les individus non-mobiles.

Le second indicateur développé en profondeur est la réalisation d'activité physique induite par l'utilisation du transport en commun. Il a été montré dans la littérature que l'utilisation de ce mode permet la réalisation d'une portion importante de l'activité physique recommandée quotidiennement pour assurer une conservation de l'état de santé ainsi qu'une prévention de maladies diverses. Néanmoins, une actualisation de ces études était nécessaire afin de tenir en compte plusieurs facteurs d'influence sur l'intensité de la marche, ce qui est réalisé par l'utilisation de l'unité de mesure du MET (*Metabolic Equivalent of Task*), une unité de mesure décrivant l'intensité d'une activité physique.

Il est ainsi possible de brosser un portrait des utilisateurs actuels du transport en commun en montrant qu'ils réalisent en moyenne quotidiennement 54% de l'activité physique recommandée seulement grâce à la marche pour accéder au transport en commun ou à la destination à partir du transport en commun. Une attention est également portée sur les individus utilisant un mode de transport motorisé, afin de vérifier quel serait leur niveau d'activité physique potentiel s'ils utilisaient plutôt le transport collectif pour leurs déplacements. Cette portion de l'étude permet d'établir à 85% ce niveau.

Cet indicateur est également appliqué à un exemple de transfert actif possible afin de montrer la variété d'analyses possibles avec l'utilisation de cet indicateur, faisant parti du système d'indicateurs de durabilité pour le transport en commun proposé.

ABSTRACT

In the context of sustainable mobility, a well discussed topic in the literature as well as among decision makers, the need to measure this concept is still not answered by a sustainability index. This index could help assess the sustainability level of a transportation system and compare different systems or scenarios on the same base. It is also the case in the public transportation domain. This mode of transportation is discussed in this master thesis, because of its nature and the quality of available data y.

The literature is rich in terms of sustainability indexes or indicators. The first part of this work is to analyze these indicators, by looking at their relevance, their balance and the possibility to apply them to public transportation scenarios. To achieve this goal, a vast literature review is accomplished first on sustainable mobility indicators, then on the specific context of each indicators and the metric to assess them. This step is the basis to build a methodological framework to measure each indicator in a transit scenario context, in different possible levels of analysis. Two of the indicators are studied further, by making a complete study of the context, the metrics and a possible application.

The first of these two indicators is the potential of social contact resulting from social exposure to different groups than the ones met a home. This exposure can change throughout the day because of the trips, which makes it dynamic. In other words, the trips make the social exposure variable over time and space. This study is conducted using the 2013 Origin-Destination Survey of Montreal combined with social information from the 2016 Canadian Census. With these databases, four social features are studied: annual income, age, main occupation and visible minority.

This study leads to a visualisation of the significant variation of the diversity of some social features, for instance the main occupation variation in sectors around the major employment centres or the visible minority presence in some sectors with a low diversity residential composition. Dynamic social composition can show a complete overview of possible exposure, by doing an activity-based analysis instead of a residential-based analysis.

The transportation role in the social exposure is also considered by comparing the level of exposure of the mobile population to the level of the non-mobile population. It is therefore possible to observe that mobility can lead people to a better probability of being exposed to a different social

context, increasing the interaction index by 0.20 between the home location and the maximum diversity encountered during the day, instead of 0.09 for the non-mobile people.

The second developed indicator is the level of physical activity a person can achieve only by using transit. It has been shown in the literature that a person can achieve a significant percentage of the daily level of recommended physical activity only with the use of public transport. This level is important to prevent various diseases, as stated by major heath organisations. This study contributes to update the literature, by accounting for more variables that can make walking a more intense physical activity.

This study analyses transit users on the one hand. It shows that they can on average accomplish 54% of the daily recommended level of physical activity, with the walking portions of access and egress to transit stops as well as transfers. In the second hand, the users of motorised modes are studied, by looking at feasible transit trips that could replace their motorised trips. By doing this modeling, we demonstrate that the level of physical activity achievable is 85% of the daily recommended physical activity.

This indicator is also applied to an active transfer scenario to demonstrate one of the various possible analysis.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE III

REMERCIEMENTS IV

RÉSUMÉ V

ABSTRACT VII

TABLE DES MATIÈRES IX

LISTE DES FIGURES XIV

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS XVII

LISTE DES ANNEXES XVIII

CHAPITRE 1 INTRODUCTION 1

1.1 Problématique 1

1.2 Objectifs 2

1.3 Structure du mémoire 2

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE 4

2.1 Indicateurs de durabilité pour le transport en commun 4

2.1.1 L'origine du développement durable 4

2.1.2 Mobilité durable 5

2.1.3 Le transport collectif durable 6

2.1.4 Contexte actuel 7

2.1.5 Mesurer la mobilité durable 7

2.2 Exposition sociale dynamique 14

2.2.1 Rôle du transport dans le contact social 14

2.2.2 Exposition sociale 16

2.2.3 Composition sociale statique 18

2.2.4 Composition sociale dynamique 18

2.3 Réalisation d'activité physique grâce à l'utilisation du transport en commun 20

2.3.1 Sédentarité 20

2.3.2 Activité physique pour la santé 21

2.3.3 Niveau recommandé 23

2.3.4 Activité physique liée au transport 24

2.4 Mesure de l'activité physique 24

2.4.1 *Metabolic Equivalent of Tasks (MET)* 25

2.4.2 Lien avec les recommandations 26

2.4.3 Dépense énergétique liée à la marche 26

CHAPITRE 3 INDICATEURS DE DURABILITÉ POUR LE TRANSPORT EN COMMUN . 30

3.1 Sélection du système d'indicateurs 30

3.1.1 La *Pieuvre* et le *Cercle de causalité* 31

3.1.2 Boite à outils 32

3.1.3 Justification de ce choix de système d'indicateurs 33

3.2 Développement des fiches d'indicateurs de durabilité 33

3.2.1 Méthodologie de développement général des fiches 34

3.3 Indicateurs de durabilité 34

3.3.1 Déplacements avec peu de nuisances et favorisant l'ambiance de quartier 40

3.3.2 Indisponibilité en raison des déplacements 40

3.3.3 Richesse et diversité des outils d'information à l'usager 41

3.3.4 Quantité et efficacité d'utilisation d'énergie et Quantité d'émissions de gaz à effet de serre (GES) 41

3.4 Perspectives 42

3.4.1 Quantité de matières désuètes et efficacité de récupération 42

3.4.2 Indicateurs économiques 43

3.4.3 Indicateurs non développés. 44

3.4.4 Application à des scénarios de développement 44

3.4.5 Échelles d'application et mise en commun 45

CHAPITRE 4 EXPOSITION ET COMPOSITION SOCIALE DYNAMIQUE LIÉE AUX DÉPLACEMENTS 46

4.1 Méthodologie 46

4.1.1 Description des données 46

4.1.2 Choix de l'unité d'analyse 50

4.1.3 Localisation horaire des individus 54

4.1.4 Mesure de la composition sociale 57

4.1.5 Variation de la composition des secteurs 58

4.1.6 Variation de l'exposition grâce aux déplacements 58

4.1.7 Analyse de sensibilité 58

4.2 Résultats et analyse 59

4.2.1 Composition des secteurs 59

4.2.2 Variation de la composition des secteurs 72

4.2.3 Gain d'exposition avec les déplacements 81

4.2.4 Opportunités d'exposition grâce aux déplacements 84

4.3 Perspectives 87

4.3.1 Application à des scénarios de développement du transport collectif 87

4.3.2 Développements possibles 87

CHAPITRE 5 MESURER L'ACTIVITÉ PHYSIQUE LIÉE À L'UTILISATION DU TRANSPORT EN COMMUN 89

5.1 Méthodologie 89

5.1.1 Niveaux d'application 89

5.1.2 Description des données 91

5.1.3 Calcul du niveau d'activité physique 92

5.2 Comparaison des niveaux d'analyse 97

5.2.1 Niveau d'analyse sélectionné 99

5.3 Résultats et analyse 100

5.3.1 Portrait des utilisateurs du transport en commun 100

5.3.2 Niveau d'activité physique potentiel des utilisateurs de modes motorisés 113

5.3.3 Application à l'étude de scénarios de transport en commun 120

5.3.4 Perspectives 122

CHAPITRE 6 CONCLUSION ET PERSPECTIVES 124

6.1 Principales contributions 125

6.2 Principales limitations 126

6.3 Perspectives de recherche 127

RÉFÉRENCES 129

ANNEXE 136

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 : Comparaison de deux études portant sur le niveau d'activité physique lié au transport 25

Tableau 2-2 : Niveaux d'activité physique supplémentaires liés au port d'une charge 28

Tableau 3-1 : Particularités de différents systèmes d'indicateurs de transport durable (Sioui, 2014) 30

Tableau 3-2 : Description du niveau d'application des indicateurs choisis pour représenter les orientations 36

Tableau 4-1 : Comparaison de l'exposition sociale de la population mobile et non-mobile 84

Tableau 5-1 : Description des niveaux d'analyse du niveau d'activité physique 90

Tableau 5-2 : Méthode d'évalution de l'influence de la pente 94

Tableau 5-3 : Nombre de déplacements possédant les différentes caractéristiques.....98

Tableau 5-4 : Nombre de déplacements et niveau d'activité physique par déplacement pour les différents niveaux d'analyse 99

Tableau 5-5 : Détails du calcul du transfert actif proposé.....122

Tableau 0-1 : Valeurs des indicateurs pour le calcul du potentiel de temps perdu 143

Tableau 0-2 Comparaison de type de véhicules.....149

LISTE DES FIGURES

Figure 2-1: Organisation de l'établissement d'indicateurs, traduit de (Litman, 2005) 8

Figure 2-2 : Niveaux d'analyse où les indicateurs peuvent être nécessaires (traduction de Litman (2005)) 9

Figure 2-3 : Rôle des indicateurs dans le processus de planification des transports (traduit de (Zegras, 2006) par (Sioui, 2014), adapté de (Meyer & Miller, 1984)) 10

Figure 2-4 Facteurs d'influence du niveau d'activité physique liés au transport, traduit de (Langlois et al., 2016) 24

Figure 3-1 : Schéma statique de la *Pieuvre* (Sioui, 2014) 32

Figure 4-1 : Découpage de la région montréalaise par les SM 47

Figure 4-2 : Représentation schématique de la répartition du facteur d'expansion selon la proportion des minorités visibles 49

Figure 4-3 : Découpage alvéolaire de la région montréalaise 52

Figure 4-4 : Dimensions de chaque hexagone 53

Figure 4-5 - Schéma organisationnel de l'algorithme de formation de la matrice de localisation . 55

Figure 4-6 : Secteurs répondant aux critères de seuil minimal 56

Figure 4-7 : Niveau de diversité au centre de la région montréalaise - revenu 60

Figure 4-8 : Niveau de diversité au centre de la région montréalaise - âge 61

Figure 4-9 : Niveau de diversité au centre de la région montréalaise - statut 62

Figure 4-10 : Niveau de diversité au centre de la région montréalaise – minorité visible 63

Figure 4-11 : Comparaison de la composition sociale de deux quartiers de Brossard 64

Figure 4-12 : Localisation du secteur centre-ville 66

Figure 4-13 : Variation de la composition sociale du centre-ville 66

Figure 4-14 : Localisation du secteur de Sainte-Rose, Laval 68

Figure 4-15 : Variation de la composition sociale du secteur de Sainte-Rose, Laval 68

Figure 4-16 : Localisation du secteur entourant le cégep André-Laurendeau 69

Figure 4-17 : Variation de la composition sociale du secteur entourant le cégep André-Laurendeau 70

Figure 4-18 : Localisation du secteur de Montréal-Nord.....71

Figure 4-19 : Variation de la composition sociale du secteur de Montréal-Nord.....72

Figure 4-20 : Distribution des coefficients de variation des caractéristiques sociales pour l'ensemble des secteurs.....73

Figure 4-21 : Relation entre l'indice d'interaction statique et le coefficient de variation pour chaque secteur, en fonction du revenu.....74

Figure 4-22 : Distribution spatiale des coefficients de variation liés au revenu 76

Figure 4-23 : Distribution spatiale des coefficients de variation liés à l'âge.....77

Figure 4-24 : Distribution spatiale des coefficients de variation liés au statut 79

Figure 4-25 : Distribution spatiale des coefficients de variation liés à l'appartenance à une minorité visible 80

Figure 4-26 : Différence absolue de l'indice d'interaction avant et après un déplacement en fonction du motif 82

Figure 4-27 : Différence absolue de l'indice d'interaction avant et après un déplacement en fonction du mode 83

Figure 4-28 : Indice d'interaction maximum et minimum atteint au cours d'une journée pour les personnes mobiles ou non-mobiles 85

Figure 4-29 : Différence d'indice d'interaction du lieu de résidence et maximum atteint au cours d'une journée pour les personnes mobiles ou non-mobiles 86

Figure 5-1 : Exemple de la mise à l'échelle d'un plan de quartier de la station Beaubien 96

Figure 5-2 : Niveau d'activité physique moyen par déplacement selon le motif.....101

Figure 5-3: Niveau d'activité physique moyen par déplacement selon l'âge de l'individu se déplaçant.....102

Figure 5-4 : Niveau d'activité physique moyen par déplacement selon le genre de l'individu se déplaçant.....104

Figure 5-5 : Niveau d'activité physique moyen par déplacement en fonction de l'origine du déplacement.....105

Figure 5-6 : Niveau d'activité physique moyen par déplacement en fonction de la destination du déplacement.....107

Figure 5-7 : Niveau d'activité physique moyen quotidien selon l'âge de l'individu se déplaçant 109

Figure 5-8 : Niveau d'activité physique moyen quotidien selon le lieu de résidence des utilisateurs du transport en commun. 110

Figure 5-9 : Proportion des individus atteignant le seuil minimal recommandé avec leurs déplacements en transport en commun 112

Figure 5-10 : Niveau potentiel d'activité physique selon le mode réellement utilisé pour le déplacement. 114

Figure 5-11 Niveau potentiel d'activité physique quotidien selon le groupe d'âge pour les utilisateurs actuels de modes motorisés 116

Figure 5-12 : Niveau potentiel d'activité physique quotidien selon le lieu de résidence pour les utilisateurs actuels de modes motorisés 118

Figure 5-13 : Proportion des utilisateurs actuels de modes motorisés pouvant atteindre le niveau potentiel d'activité physique quotidien recommandé selon le lieu de résidence 120

Figure 5-14 : Représentation géographique du transfert actif possible. 121

Figure 0-1 Exemple d'application de l'indicateur portant sur les déplacements avec peu de nuisances et favorisant l'ambiance de quartier 139

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

Enquête OD	Enquête Origine-Destination de Montréal 2013
SM	Secteur municipal
AD	Aire de diffusion
MET	Metabolic Equivalent of Tasks
GTFS	General Transit Feed Specification

LISTE DES ANNEXES

Annexe A Systèmes d'indicateurs présentés par Sioui (2014) 136

Annexe B Fiches d'indicateurs 137

Annexe C Évolution horaire de l'indice d'interaction des SM liée à la caractéristique sociale du revenu 155

.

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

1.1 Problématique

Au cours de la seconde moitié du 20e siècle, les sociétés ont pris conscience des enjeux environnementaux qui pressaient sur eux. Devant les catastrophes, le trou se creusant dans la couche d'ozone et les crises persistant entre les peuples, les nations se sont unies afin de créer une commission au sein même de l'Organisation des Nations Unies afin de réinventer une façon pour l'humanité d'évoluer, unissant environnement, société et économie. C'est dans ce contexte qu'en 1987, la Commission mondiale sur l'environnement et le développement dépose à Oslo le rapport « Notre avenir à tous », mieux connu sous le nom de Rapport Brundtland (G. H. Brundtland, 1987). Bien que ce rapport ait été un point marquant dans l'évolution de la durabilité, les sociétés n'ont toujours pas nécessairement adopté les recommandations et les changements nécessaires à un développement durable, tel que proposés dans ce rapport.

Encore en 2015, la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC), dans le cadre de sa conférence internationale sur le climat, nommé COP 21, invitait l'ensemble de ses membres à signer une déclaration les engageant à limiter leurs émissions de gaz à effet de serre afin de limiter le réchauffement climatique sous les 2°C d'ici 2100. Cette entente entre dans la grande lignée des ententes et négociations internationales sur le climat : Sommet de la Terre, Protocole de Kyoto et la Conférence de Copenhague.

Le chemin demeure ardu afin d'arriver à des changements réels de pratiques au sein des sociétés, mais les acteurs prennent position et s'organisent de plus en plus. Le domaine du transport en est un excellent exemple, étant le principal émetteur de GES du Québec, étant responsable de 41,7% de ceux-ci en 2015 (Ministère du développement durable, 2018). Néanmoins, le Gouvernement québécois s'est doté, au printemps 2018, d'une Politique de mobilité durable, annonçant ses cibles à atteindre d'ici 2030 (G. d. Québec, 2018) en matière de transition de la mobilité.

Dans un contexte où la mobilité durable est largement discutée, autant dans le discours public que scientifique, la quantification de celle-ci, en plus de ses différentes externalités, est toujours difficile à opérationnaliser. Le domaine du transport collectif est largement intéressé à pouvoir mesurer l'impact environnemental des différents systèmes le composant, afin de pouvoir globalement l'améliorer. En effet, le transport collectif est reconnu pour ses bienfaits

environnementaux, sociaux et économiques pour la société, mais la mesure de ces impacts est toujours difficile.

1.2 Objectifs

En se basant sur le monde de la mobilité durable, l'objectif général de la recherche est de développer un système d'indicateurs destiné à mesurer la durabilité de scénarios de transport en commun. Pour y arriver, les objectifs spécifiques sont établis.

1. **Recenser les indicateurs de durabilité dans la littérature et évaluer leur pertinence**

La littérature regorge de systèmes d'indicateurs servant à évaluer la durabilité de systèmes, dont la mobilité. Ce faisant, un objectif important est de se pencher sur cette littérature et effectuer une classification de la littérature pertinente à l'établissement du système d'indicateurs. De plus, chaque indicateur est traité par une littérature spécifique importante à analyser, autant pour la compréhension de l'enjeu duquel découle l'indicateur, mais également sur les méthodes connues d'évaluation.

2. **Déterminer les indicateurs destinés à former le système d'indicateurs de développement durable**

Les indicateurs doivent être choisis méthodiquement afin d'assurer de respecter des critères de pertinence et de représentation, mais aussi de cohésion avec l'ensemble du système. Ce faisant, les indicateurs formant un système d'indicateurs doivent refléter un équilibre de représentation des enjeux et des composantes du développement durable.

3. **Mettre en application certains indicateurs**

Enfin, les indicateurs de durabilité doivent être appliqués afin de vérifier leur signification. En effectuant cette mise en contexte, il est également important de vérifier le contexte dans lequel ils se posent en poussant l'analyse au niveau du portrait régional.

1.3 Structure du mémoire

Le présent mémoire est structuré de façon à suivre l'évolution de la composition du système d'indicateurs. Ainsi, le premier chapitre amène une introduction au sujet de la durabilité des systèmes de transport en commun.

Le second chapitre porte sur la revue de littérature de le mobilité durable, des indicateurs de durabilité pour le transport en commun ainsi que sur la revue de littérature spécifique aux deux indicateurs développés en profondeur dans le mémoire, soit sur l'exposition sociale dynamique ainsi que sur la réalisation d'activité physique.

Le troisième chapitre se penche directement sur la composition du système d'indicateurs, par la sélection du système d'indicateurs sur lequel est développé les indicateurs étudiés dans ce mémoire, puis une présentation des indicateurs développés.

Le quatrième chapitre se consacre entièrement au développement du premier indicateur du système : l'exposition et le potentiel de contact social dynamique lié à l'utilisation du transport en commun. Au cours de celui-ci, on propose une méthodologie et un portrait de la composition et de l'exposition sociale dans le contexte montréalais.

Le cinquième chapitre est quant à lui consacré au troisième indicateur du système : la réalisation d'activité physique grâce à l'utilisation du transport en commun. La structure de cette section est donc composée de façon semblable au précédent chapitre, en présentant la méthodologie et des résultats régionaux. Un exemple est également présenté sur une possibilité de transfert actif.

Enfin, dans le sixième chapitre, on y présente également de larges perspectives de développement pour le système d'indicateurs. On y aborde ainsi les autres indicateurs à développer, les limitations des indicateurs développées ainsi que les perspectives de recherches pour le développement d'un système d'indicateurs de durabilité pour le transport en commun.

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

La revue de littérature porte sur différents aspects qui sont explorés ici. Tout d'abord, une revue des systèmes d'indicateurs de durabilité est effectuée, en plus d'explorer les applications actuelles au transport en commun. Par la suite, la revue de littérature explore la littérature entourant les deux indicateurs qui ont été développés complètement, soit l'exposition sociale dynamique ainsi que l'activité physique liée au transport collectif.

2.1 Indicateurs de durabilité pour le transport en commun

La section présente un bref aperçu de la large littérature portant sur l'évaluation de la durabilité, particulièrement appliquée au contexte du transport.

2.1.1 L'origine du développement durable

Le concept de développement durable tire son origine du Rapport Brundtland (G. H. Brundtland, 1987), réalisé par la commission mondiale sur l'environnement et le développement, sous l'Organisation des Nations Unies dans un contexte où les enjeux liés à la mondialisation et l'intérêt porté vers les générations futures, notamment par le biais des problèmes environnementaux qui font surface, se font de plus en plus sentir (Sioui, 2014). Dans une volonté de conserver une croissance et un développement des sociétés, ce rapport établit la toute première définition du développement durable : « répondre aux besoins du présent sans compromettre les générations futures de répondre aux leurs ». Il se base sur trois grands piliers conceptuels, soit l'environnement, la société et l'économie. Tous les trois doivent donc être valorisés afin d'assurer une durabilité.

Les premières années suivant l'apparition de ce concept sont marquées par une difficulté à interpréter justement les enjeux et opportunités sous-jacents à la définition (Gendron & Revéret, 2000; Sioui, 2014). Les trois domaines de la durabilité sont également parfois accompagnés par le concept de gouvernance.

Toutefois, ces questionnements sont de courte durée puisque le besoin d'opérationnalisation se fait rapidement sentir et le développement des années suivantes porte davantage sur l'application de la durabilité aux différentes composantes sociales en tenant compte de la durabilité pour établir les lignes directrices de la réflexion, résumées ici par Sioui (2014) :

- Adoption d'une vision à long terme;
- Considération des trois domaines centraux du développement durable;
- Progression vers une durabilité et une responsabilisation;
- Considération des problématiques locales et globales.

Ces grandes considérations globales sont alors appliquées sur une multitude de domaines, notamment la mobilité, pour ce qui nous concerne.

2.1.2 Mobilité durable

La mobilité durable consiste globalement en un développement des systèmes de transport suivant les grandes orientations du développement durable. Le domaine du transport est un secteur dont l'impact environnemental est important, avec une portion importante des émissions de polluants globales qui proviennent de ce domaine et la viabilité économique d'une société compte également sur celui-ci (CCMM, 2010; Ministère du développement durable, 2018). La performance en termes de durabilité des systèmes de transport est donc un enjeu important pour les décideurs.

Pour bien saisir ce concept, il importe de tout d'abord comprendre l'évolution récente du domaine de la mobilité. En effet, au cours des dernières décennies, la planification des transports s'est transformée afin de passer d'un contexte centré sur l'automobile, vers un univers où les transports sont centrés sur les individus avec une meilleure accessibilité et portés vers une durabilité (Banister, 2008).

Différents chercheurs ont proposé des définitions du concept de mobilité durable, dont l'organisation *Centre for Sustainable Transportation* dont la définition a été adoptée par 15 pays de l'Union européenne ainsi que par le comité spécialisé sur les indicateurs de durabilité du *Transportation Research Board* (Litman, 2005*)*. Cette définition, qui est la plus acceptée parmi celles proposées, repose sur l'énoncé suivant (Gilbert, Irwin, Hollingworth, & Blais, 2003), traduit par Sioui (2014) :

« Un système de transport durable est un système de transport qui :

1. permet aux individus et aux sociétés de satisfaire leurs principaux besoins d'accès et de développement d'une manière sécuritaire et compatible avec la santé des humains et des écosystèmes, de façon équitable entre les individus d'une génération et entre les générations;

2. est abordable, fonctionne efficacement, offre un choix de moyens de transport et soutient une économie dynamique; et

3. limite les émissions et les déchets à la capacité de la planète de les absorber, minimise la consommation de ressources non renouvelables, limite la consommation de ressources renouvelables dans le respect des principes de développement durable, réutilise et recycle ses composantes et minimise l'utilisation des terres et les émissions sonores. »

Cette définition, bien que globale, permet d'offrir un cadre pour améliorer la durabilité des systèmes de transport. L'ensemble de la suite des travaux repose donc sur celle-ci.

2.1.3 Le transport collectif durable

Le transport collectif est également un mode largement représenté dans la littérature portant sur la mobilité durable. Les trois grandes sphères du développement durable sont effectivement toutes touchées par les impacts bénéfiques connus du transport en commun sur la ville (Beaudet, Demers, Lamalice, Morency, & Wolff, 2008; P. Miller, de Barros, Kattan, & Wirasinghe, 2016). Parmi ceux-ci, on note des impacts sur l'économie par la réduction des dépenses liées au transport par les ménages ou la création d'emplois (CCMM, 2010). À titre d'exemple, la STM est le quatrième plus grand employeur au Québec (CCMM, 2010). Il est également reconnu pour être un agent important de la réduction des émissions de polluants, notamment pour ce qui est des émissions de gaz à effet de serre qui sont élevés à seulement 2% des émissions totales du secteur du transport de passagers, alors que l'utilisation de la voiture représente la majorité des émissions québécoises (énergétique, 2008). Le volet social est également bien représenté grâce à l'aménagement d'espaces de vie urbains qui sont dus à la présence de transport en commun (Beaudet et al., 2008). Ces impacts sont évidemment des exemples et les impacts vont au-delà de ceux-ci.

Il est également à noter que le transport en commun peut représenter une variation d'impacts plus ou moins importante, en fonction des composantes du réseau de transport collectif. Notamment, les émissions polluantes peuvent être considérablement diminuées en fonction du mode de propulsion des véhicules, les véhicules électriques permettant d'atteindre d'encore plus faibles émissions, principalement les émissions de GES (Zuurbier et al., 2010). Il en va de même pour l'impact sur l'aménagement urbain entourant la présence du transport en commun qui peut varier d'un tracé à un autre, par la présence d'un développement orienté autour du transport en commun

(ou TOD - Transit-Oiented Development) ou à l'autre extrémité, d'un contexte davantage rural centré sur l'auto-solo.

En comprenant l'impact important du transport en commun sur la durabilité d'une société, il devient alors important de développer un système d'indicateurs pour en mesurer la durabilité.

2.1.4 Contexte actuel

L'intérêt pour une transition vers une mobilité durable n'a pas dérougi depuis le début du 21e siècle. Différents organismes ou niveaux gouvernementaux un peu partout dans le monde se sont dotés de politiques ou d'orientations misant sur une durabilité des transports. Parmi ceux-ci, les villes parmi les plus importantes du Québec ont adopté, au cours de la dernière, des plans de mobilité misant une sur une durabilité de la mobilité (Laval, 2013; Montréal, 2008; V. d. Québec, 2011).

Au printemps 2018, le Gouvernement du Québec adoptait une première politique de mobilité durable (G. d. Québec, 2018). Au cœur de celle-ci de grandes orientations accompagnées de cibles sont établies pour assurer la transition espérée. Parmi celles-ci, on compte des orientations liées aux trois volets principaux de la durabilité. Pour l'environnement, on note la gestion durable de l'aménagement du territoire ainsi que l'électrification des transports; pour la société, la santé et la sécurité de la population sont entre autres mises de l'avant et enfin, pour l'économie, on y souligne l'accessibilité à la main-d'œuvre et la fiabilité des infrastructures. Tous ces éléments sont donc des composantes importantes de la durabilité traduites par la suite sous forme de cibles à atteindre.

Cette politique a ainsi pour objectif d'établir un cadre décisionnel guidant la gouvernance du domaine des transports au Québec. Les indicateurs proposés au sein de celle-ci servent donc d'appui pour guider les décisions et la planification des systèmes de transport.

2.1.5 Mesurer la mobilité durable

Néanmoins, les différentes définitions de la mobilité durable laissent un flou important quant à son évaluation. Effectivement, si la définition permet plusieurs interprétations, l'établissement d'un ensemble de mesures ou d'un indice composite devient plus ardu à poser, en raison de la multitude des interprétations possibles.

Divers indicateurs ou systèmes d'indicateurs sont proposés dans la littérature pour mesurer le niveau de durabilité des systèmes de transport ou d'une ville. Lorsqu'il s'agit du second cas, on note l'importance de l'impact du transport sur l'ensemble de la ville (Moles, Foley, Morrissey, & O'Regan, 2008). Toutes les études s'entendent tout de même sur les aspects à mesurer qui composent la définition classique du développement durable : économie, société et environnement (G. Brundtland, 1987). Certains amènent également la notion de gouvernance dans l'évaluation de la durabilité (Litman, 2005). Les études portant exclusivement sur le transport en commun semblent néanmoins être peu présentes, voire presque absentes dans la littérature.

La structure du processus d'établissement d'indicateurs de durabilité est d'ailleurs détaillée de la façon qui suit par Litman (2005).

Figure 2-1: Organisation de l'établissement d'indicateurs, traduit de (Litman, 2005)

Cette suite logique du processus est effectivement nécessaire. Les systèmes d'indicateurs n'étant pas une fin en soi, ils permettent de mesurer des impacts résultant de mesures prises pour atteindre des cibles, servant quant à elles un ou des objectifs développés dans le cadre d'une vision. Chacun de ces éléments est donc important à définir afin d'assurer une pertinence pour le système d'indicateurs choisi.

Somme toute, l'établissement d'un système d'indicateurs permettant l'étude du niveau de durabilité d'un système de transport est détaillé dans la présente section sous les objectifs auxquels ils doivent répondre, leurs critères de sélection, ainsi qu'une brève revue de systèmes bien établis dans le domaine de l'évaluation de la durabilité. Un accent est aussi porté sur les indicateurs liés au transport collectif.

2.1.5.1 Objectifs des indicateurs

Avant d'être en mesure de développer des indicateurs de durabilité, il importe de définir les objectifs auxquels ils doivent répondre. Litman (2005) définit les indicateurs de performance selon l'organisation suivante, en fonction de leur utilisation de l'objectif qu'ils doivent servir :

- Processus

- Intrants
- Extrants
- Conséquences

Ces quatre grandes catégories représentent donc les objectifs d'un système quelconque et les indicateurs peuvent mesurer l'une ou l'autre de ceux-ci. Cette organisation est également présentée de façon linéaire et détaillée pour le cas particulier de la mobilité durable par ce même auteur.

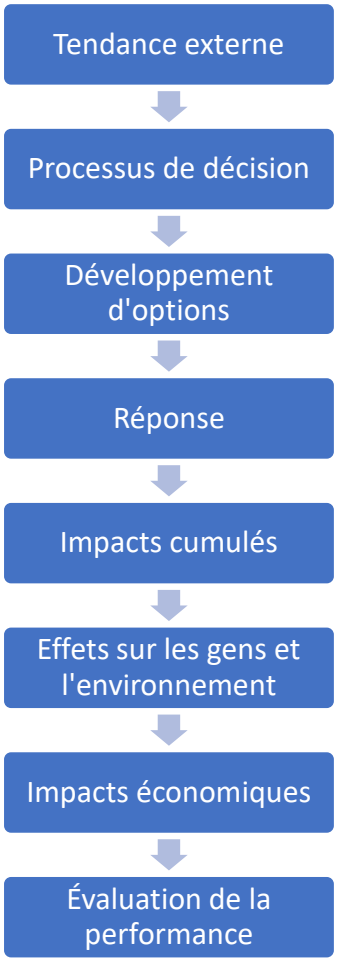


Figure 2-2 : Niveaux d'analyse où les indicateurs peuvent être nécessaires (traduction de Litman (2005))

Dans le cas présent, les indicateurs sont pertinents dans le cadre du processus de décision pour la planification des transports et le développement d'options de transport collectif. Ainsi, l'organigramme suivant présentant l'écosystème de la planification entourant le besoin

d'indicateurs permet de comprendre l'objectif et leur place dans le développement d'un système d'indicateurs.

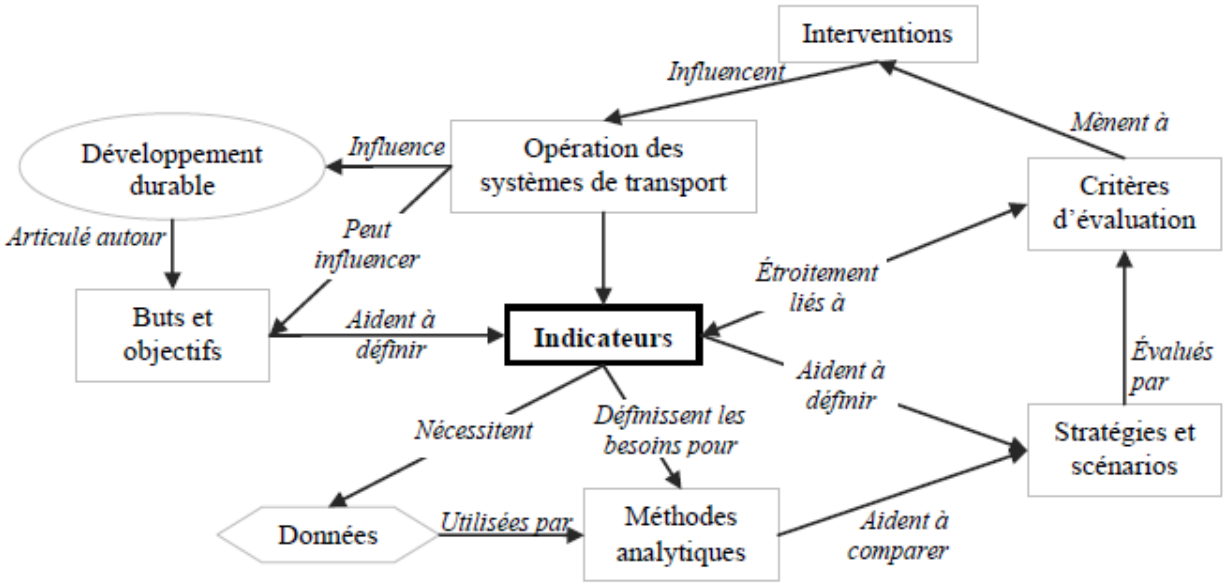


Figure 2-3 : Rôle des indicateurs dans le processus de planification des transports (traduit de (Zegras, 2006) par (Sioui, 2014), adapté de (Meyer & Miller, 1984))

Cette figure présente donc l'environnement entourant les indicateurs, appuyant le fait qu'ils ne sont pas en eux-seuls une finalité, puisque leurs résultats ont un impact sur les stratégies et interventions sur les opérations des systèmes de transport. Cet organigramme, même s'il est composé pour les systèmes de transport de façon générale, peut facilement être applicable pour les stratégies et scénarios de développement ou de planification du transport collectif.

En ayant pris conscience de cet écosystème, Sioui (2014) définit les objectifs selon quatre grands critères, basés sur la littérature.

- Quantification (Bouni, 1998; Gudmundsson, 2003; Zittoun, 2009)
    - La quantification est un objectif de base des indicateurs. Ils doivent permettre de mesurer des impacts quantitatifs, mais également de transformer des éléments davantage qualitatifs en évaluation mesurable (Litman, 2005). Ceci peut prendre la forme de valeur directe ou de ratio en fonction d'une base quantitative, tel que les passagers-km ou le temps.
- Simplification (Barcelo, 1999; Bouni, 1998; Gudmundsson, 2003; Zittoun, 2009)

  - Certains éléments de la durabilité peuvent sembler plus abstraits ou être difficiles à mesurer, ou même la durabilité en tant que telle peut être un phénomène plus complexe. La simplification des concepts est donc primordiale pour le développement d'un système d'indicateurs.

- Communication (Barcelo, 1999; Bouni, 1998; Gudmundsson, 2003)
  - L'une des fins d'un système est la communication des concepts et l'atteinte de cibles, portant donc l'accent sur l'importance de la facilité de communication de chacun d'entre eux. En d'autres mots, les indicateurs doivent pouvoir avoir une signification explicite.

- Gestion dans le temps (Bouni, 1998; Zittoun, 2009) et dans l'espace (Sioui, 2014)
  - Enfin, la gestion temporelle et spatiale est capitale afin de permettre l'observation de variations dans l'évolution temporelle ou la localisation des indicateurs.

Ces éléments représentent donc les objectifs intrinsèques au développement d'indicateurs dans sa globalité. Il existe également une variété d'objectifs se logeant dans l'usage de ceux-ci. Cet usage peut avoir les fins suivantes : capter l'évolution de phénomènes, mesurer les orientations et objectifs ainsi qu'agir à titre d'aide à la décision (Sioui, 2014). Il existe également des objectifs liés spécifiquement à la planification des transports qui, elle, est liée directement aux objectifs de la durabilité, telles que l'efficacité des coûts et de l'utilisation des ressources, ainsi que l'intégration et l'inclusivité des systèmes de transport (Litman, 2005). L'objectif du système d'indicateurs doit donc également prendre ces éléments en considération.

D'autres études ne mettent pas l'accent sur la définition des objectifs préalable au choix d'indicateurs; elles effectuent une revue des développements sur le sujet afin de regrouper les indicateurs déjà formulés et sélectionner les plus pertinents. Parmi celles-ci, certaines vont choisir de former leur système à partir des indicateurs les plus mentionnés (Tanguay, Rajaonson, Lefebvre, & Lanoie, 2010). Certains auteurs vont plutôt établir des critères de pertinences sur les indicateurs existants, dont la disponibilité des données, tel que mentionné précédemment (Litman, 2005). Cette sélection peut s'avérer un choix arbitraire et influencer subjectivement les résultats de l'analyse de durabilité. Des indicateurs dont les données sont plus difficiles à obtenir sont parfois tout aussi

importants conceptuellement que ceux dont l'acquisition de données est plus triviale (Sioui, 2014). C'est pourquoi la définition demeure une étape cruciale afin d'effectuer un choix éclairé.

2.1.5.2 Choix des indicateurs

Après avoir compris et établi l'objectif de développement du système, le choix des indicateurs qui le composent est également capital. Plusieurs critères doivent être respectés et des choix méthodologiques doivent être faits afin d'assurer une cohésion dans le système. Tout d'abord, la taille du système d'indicateurs doit représenter un compromis entre une représentativité détaillée par le biais d'une taille imposante du système et une réalisation facilitée par une collecte simplifiée des données dans un plus petit ensemble d'indicateurs (Litman, 2005).

La taille du système n'est toutefois pas le seul critère de conception dans le choix des indicateurs. Trois attributs doivent également être présents dans la prise de décision guidant la sélection (Joumard, Gudmundsson, & Folkeson, 2011; Sioui, 2014) : représentativité (viabilité, fiabilité, sensibilité), opérabilité (mesurabilité, disponibilité des données, préoccupations éthiques) et application dans les politiques (transparence, interprétation, pertinence et liés aux actions).

D'autres critères sont relevés dans la littérature et sont présentés ci-bas (Litman, 2005; Sioui, 2014) :

1. Balancé

L'équilibre entre les indicateurs est important afin de ne pas surreprésenter ou sous-représenter certaines composantes théoriques de la mobilité durable.

2. Acquisition de données

Une grande quantité d'études propose des systèmes d'indicateurs basés sur la disponibilité des données (Haghshenas & Vaziri, 2012; Moles et al., 2008; Nicolas, Pochet, & Poimboeuf, 2003). Néanmoins, bien qu'il s'agisse d'une contrainte importante d'opérationnalisation, il est difficile d'obtenir un portrait juste de la durabilité en tenant compte uniquement des données disponibles, puisque certains aspects ne sont pas mesurables directement, mais doivent tout de même faire partie intégrante de l'évaluation.

3. Compréhensible

Le système d'indicateurs et ses conclusions doivent également être compréhensibles pour leurs destinataires. Puisque le présent projet se destine à évaluer des scénarios de transport en commun, il doit être accessible à la compréhension par les preneurs de décision, au niveau de la profondeur technique, principalement.

4. Désagrégation possible

Le système doit être cohérent dans l'ensemble, mais également être intéressant lorsqu'analysé de façon désagrégée.

5. Unité de référence

Les unités de référence des indicateurs doivent être cohérentes, sous une échelle semblable et complémentaire.

6. Niveau d'analyse

Il doit refléter l'impact ultime de l'orientation de l'indicateur plutôt que les effets intermédiaires découlant des paramètres.

7. Objectifs à réaliser

Enfin, l'objectif de développement du système d'indicateurs doit toujours guider le choix des indicateurs afin qu'ils répondent convenablement aux objectifs initiaux.

Ces précédentes études montrent donc les critères de base à conserver lors du choix des indicateurs à inclure dans le système, à la suite d'une revue de littérature sur les indicateurs.

2.1.5.3 Pondération et agrégation des indicateurs

Enfin, l'agrégation en un index composite est également un élément couramment soulevé dans la littérature. Certains font le choix de développer une méthodologie d'agrégation et de pondération des indicateurs, alors que d'autres ont choisi de ne pas combiner les indicateurs. En effet, les deux méthodes peuvent être pertinentes, mais l'agrégation en un index numérique peut entraîner une perte de détails importante (Sioui, 2014). Une représentation visuelle de l'information peut parfois être plus adéquate.

2.1.5.4 Les indicateurs pour le transport en commun

La littérature portant sur l'évaluation de la durabilité des systèmes spécifiquement de transport en commun n'est pas aussi riche que la littérature portant sur la mobilité durable. En effet, alors qu'historiquement les études portant sur les indicateurs liés au transport en commun étaient orientées de façon à principalement étudier la performance des systèmes sous l'angle de l'efficacité, de la performance économique ou de l'impact environnemental, la vision plus globale, considérant tous ces éléments à la fois, est plus récente dans la littérature (P. Miller et al., 2016). Certaines tentatives ont néanmoins été réalisées, mais sous l'angle d'une bonification de l'analyse environnementale, sans être une analyse exhaustive de la durabilité (Pope, Annandale, & Morrison-Saunders, 2004).

2.2 Exposition sociale dynamique

L'exposition sociale par le biais des déplacements fait partie des éléments de durabilité à évaluer. Cette section présente donc une revue de littérature sur le sujet.

2.2.1 Rôle du transport dans le contact social

La socialisation fait partie des besoins de base pour un être humain (Maslow, 1943). Afin d'y répondre, les individus doivent parfois se déplacer pour atteindre des cercles sociaux connus ou inconnus, avec des milieux qui peuvent être différents en termes d'individus présents. Le transport permet donc d'atteindre des cercles sociaux et de briser l'isolement des groupes sociaux les uns par rapport aux autres.

2.2.1.1 Atteinte individuelle de cercles sociaux

Les déplacements permettent aux individus d'atteindre des cercles sociaux qui peuvent être différents de celui rencontré au lieu de résidence. En effet, tel que le catégorise Harvey and Taylor (2000), il existe au minimum trois types d'espace social : la résidence, le lieu de travail et la communauté. À ceux-ci peut s'ajouter l'espace de déplacement. Néanmoins, parmi ces localisations, un individu n'est pas en permanence en contact avec d'autres individus, passant entre 33% et 41% du temps d'éveil de façon isolée (Harvey & Taylor, 2000).

Ce besoin de sortir de cette isolation personnelle est primordial, notamment pour des populations plus âgées, où ce besoin est partie intégrante du bien-être (Spinney, Scott, & Newbold, 2009).

L'accès à des infrastructures de transport est donc important pour l'ensemble de la population, afin de leur permettre d'accéder à des services et de briser l'isolement.

Les déplacements permettent non seulement d'atteindre de nouveaux cercles sociaux, mais la volonté de socialiser avec des cercles connus peut également être l'élément motivateur pour se déplacer. En effet, l'étude menée par Harvey and Taylor (2000) montre que les gens qui ont un niveau d'interaction sociale faible à un lieu, nommément le lieu de travail, auront tendance à se déplacer davantage pour répondre à un besoin de contact social.

L'atteinte de contacts sociaux est considérée ici comme étant un contact physique avec autrui. Avec les nouveaux outils de communication, il est possible pour un individu d'avoir un contact virtuel avec son cercle social (H. Miller, 2007). Néanmoins, puisque l'objectif de cette analyse est de vérifier la contribution du transport au potentiel de contact social par le biais de l'exposition, ce type de relation n'est pas considéré.

2.2.1.2 Bris de l'isolement social

La conception de nos villes est également un facteur isolant pour certaines tranches de la population vivant dans des secteurs homogènes, limitant ainsi les contacts des groupes différents entre eux. Cette formation urbaine peut être la cause d'une forme de ségrégation, laissant certains groupes sociaux résider dans des sections distinctes les unes des autres. Les études montrent l'importance d'effectuer un développement urbain promouvant la mixité sociale (Walks & Maaranen, 2008), afin d'en retirer des bénéfices liés à l'exposition entre les groupes.

Ainsi, des études ont montré que la dispersion des activités à l'échelle d'une ville a un effet négatif sur la participation à des activités sociales (Farber & Páez, 2009). Ce contact social permet également de développer des liens sociaux, qui eux, font en sorte que les individus peuvent accéder à des opportunités différentes et briser l'isolement (J. Y. Lee & Kwan, 2011). Ces liens peuvent notamment être forts ou faibles, permettant d'accéder à des opportunités différentes : respectivement un support émotionnel (Loury, 2000) ou l'accès à des opportunités et des ressources (Wellman & Potter, 1999).

2.2.2 Exposition sociale

L'exposition sociale est un concept également largement étudié dans la littérature. Il est normalement défini comme étant la probabilité de rencontrer des individus ayant des attributs différents de soi, qu'ils soient sociaux ou personnels (Boterman & Musterd, 2016). La présente section permet donc de comprendre les liens entre une exposition sociale et la possibilité de contact en plus d'investiguer le rôle du transport dans l'exposition.

2.2.2.1 Potentiel de contact social suivant l'exposition

Une exposition sociale entre des segments de population aux caractéristiques différentes peut entraîner des bénéfices notables pour l'ensemble de la communauté. Elle permet notamment d'entraîner une confiance et une relation sociale ouverte entre des groupes d'origine ethnique ou classes sociales différentes, ce qui est décrit comme une « canopée cosmopolite » (traduction libre de *cosmopolitan canopy*) (Anderson, 2011). D'un point de vue macroscopique, Putnam, chercheur reconnu pour ses travaux sur l'exposition sociale, souligne les apports d'une diversité sociale sur le capital social (Putnam, 2000, 2007). Parmi ceux-ci, on peut compter une amélioration du sens de l'identité, de la créativité scientifique, etc.

Toutefois, il est important de souligner le fait qu'une exposition sociale n'entraîne pas nécessairement automatiquement un contact social. Bien que la littérature souligne généralement les bénéfices d'une exposition sociale, plusieurs études montrent également les effets négatifs d'une exposition, ayant lieu principalement au lieu de domicile.

Tout d'abord, l'exposition sociale dans le domaine résidentiel en particulier peut représenter un enjeu de cohabitation puisque les différents groupes sociaux résidant au sein d'un même environnement ont peu d'interactions entre eux (Blokland & Van Eijk, 2010; Boterman & Musterd, 2016) et qu'une présence dans un lieu partagé n'entraîne pas nécessairement un sentiment de confiance mutuelle (Matejskova & Leitner, 2011). On mentionne également le malaise des individus lorsque confrontés à la différence, marquant le faible contact d'individus qui, même s'ils sont exposés l'un à l'autre, ne tisseront pas de liens entre eux (Matejskova & Leitner, 2011; Valentine, 2008). Ceci mène à une gradation de la qualité des interactions des individus. Ainsi, l'exposition entre les groupes n'entraine pas nécessairement une grande qualité d'interaction et de contact, en raison notamment de barrières entre les individus, telles que les préjugés (Askins &

Pain, 2011). Ce phénomène peut être observé entre autres chez les segments de population plus aisés, limitant les contacts par la géographie des résidences (Atkinson & Flint, 2004), ainsi que dans le phénomène de gentrification, où une isolation des groupes est observée (Walks & Maaranen, 2008). Certaines études ont également observé une diminution de l'engagement communautaire dans des milieux diversifiés (Putnam, 2007). Toutefois, ceci ne fait pas l'unanimité dans la littérature, Eric Oliver and Wong (2003) montrent qu'un milieu diversifié entraîne une diminution des préjugés entre les groupes différents.

Les différents gouvernements ont néanmoins choisi d'encourager le développement de milieux mixtes dans les quartiers résidentiels afin d'encourager l'intégration et la participation des différentes communautés, par le biais de mesures et de programmes de logements sociaux, entre autres (Boterman & Musterd, 2016).

2.2.2.2 Exposition au lieu d'activité

Ces conclusions divergentes ont permis d'élargir le spectre des lieux considérés dans l'analyse de l'exposition sociale. Les lieux de travail ou de loisir, pour ne nommer que ceux-ci, sont reconnus pour être des lieux de rencontre des différents groupes (Boterman & Musterd, 2016; Ellis, Wright, & Parks, 2004; J. Y. Lee & Kwan, 2011; Wong & Shaw, 2011). Il s'agit également d'endroits où l'exposition sociale est différente de celle du domicile. Ce faisant, l'étude de l'exposition s'est transformée dans la littérature plus récente pour se concentrer sur les lieux d'activités, nommément une analyse *activity-based*. On considère de cette façon les expériences plus complexes, qui incluent la mobilité des individus (Kwan, 2013). Ces schémas de mobilité et d'accès aux différentes activités sont également intimement liés aux réseaux sociaux, égocentriques ou géographiques, des individus (J. Y. Lee & Kwan, 2011). Les méthodes d'analyse de ces compositions basées sur les activités sont décrites dans la section portant sur la composition sociale dynamique.

2.2.2.3 Exposition durant les déplacements

Même s'il n'est pas traité dans la présente analyse, il est important de noter que le contact social peut également avoir lieu durant les déplacements. En effet, l'espace de déplacement peut constituer un lieu d'exposition en soi en fonction du mode, tel qu'il sera décrit dans la section sur l'analyse dynamique. L'exposition sociale a également lieu durant le temps de déplacement entre les différents lieux d'activité (Wong & Shaw, 2011). L'inclusion de cet espace de contact a été

réalisée par Farber, Neutens, Miller, and Li (2013) en considérant un prisme conceptuel d'espace-temps que des individus peuvent partager et ainsi être potentiellement exposés l'un à l'autre. Une autre étude considère également l'exposition sociale durant les déplacements, mais en portant un intérêt au mode de transport employé. En d'autres mots, le potentiel d'exposition durant le transport est considéré dans un bilan global d'exposition sociale, en pondérant le temps passé à se transporter en fonction du mode, du chemin emprunté et du moment de la journée (Alaily-Mattar, 2008; Boterman & Musterd, 2016). Ces considérations sont basées sur la littérature : le transport en commun est un mode où la probabilité de rencontrer un individu appartenant à un groupe différent est soutenue (Wilson, 2011), alors que l'utilisation de la voiture est reconnue comme étant isolante socialement, particulièrement pour les classes sociales plus élevées (Atkinson, 2006; Boterman & Musterd, 2016).

2.2.3 Composition sociale statique

La composition statique d'une population peut être décrite dans la littérature comme étant *place-based*, c'est-à-dire basée sur un lieu fixe, normalement le domicile. Celle-ci se réalise depuis plusieurs années selon la littérature. Déjà, à la moitié du 20e siècle, Duncan and Duncan (1955) proposaient des formules d'évaluation de la ségrégation sociale afin de mesurer le niveau de mixité de la population. Les méthodes d'évaluation sont semblables à une mesure de l'entropie d'une population, c'est-à-dire une mesure du degré d'hétérogénéité.

Parmi les équations préconisées dans la littérature, on retrouve notamment *Simpson's Interaction Index* (Lieberson, 1969; White, 1986) et *Theil's Entropy Index* (Theil, 1972). On peut également retrouver des mesures d'entropie, des indices de Gini ou de dissimilarité, parmi tant d'autres. Ces équations permettent une évaluation de population composée de deux à plusieurs groupes. Ces mesures agissent à titre d'indice de mixité sociale.

2.2.4 Composition sociale dynamique

Plusieurs études plus récentes ont intégré l'aspect dynamique de la composition sociale. En effet, tel qu'il a été exposé plus tôt, la composition sociale peut être variable grâce aux déplacements des individus. Ce faisant, il peut être fautif de considérer la population de façon statique, souvent au lieu de résidence, puisqu'une partie importante de la population se retrouve dans d'autres quartiers ou milieux au cours d'une même journée. Pour considérer le caractère dynamique, on utilise des

méthodes davantage axées sur le comportement de l'individu, surtout en ce qui a trait à l'espace et au temps de ses activités, ce qu'on appelle également une méthode basée personnes (*people-based)* (H. Miller, 2007) ou basée activités (*activity-based)* (Kwan, 2013).

Une étude réalisée par Farber et al. (2013) propose notamment une analyse de la zone dans l'espace-temps du potentiel d'interaction sociale (*Social Interaction Potential* (SIP)), c'est-à-dire la zone de croisement entre deux individus où une interaction pourrait potentiellement avoir lieu. Elle est établie en connaissant les lieux visités par chaque individu et le temps passé à chaque endroit. Cette méthode d'analyse a été réalisée sur des villes synthétiques et des quartiers de villes réelles, où la distribution des activités est différente dans chacun d'eux. Cette mesure peut être réalisée à une échelle globale, afin de vérifier le potentiel d'exclusion sociale de certains groupes.

En termes de visualisation de l'isolation sociospatiale, une étude propose quatre méthodes permettant une analyse du contact social dynamique, lesquelles sont détaillées ci-bas(Lee et Kwan 2011). Ces méthodes, permettent d'intégrer les informations des localisations, d'activités et de cercles sociaux des individus à différents degrés.

- **Trajets d'espace-temps** : Il s'agit des mêmes trajets utilisés à la base de l'étude de Farber et al. (2013). Ils permettent de vérifier les possibles mêmes contraintes d'espace ou de temps parmi les activités des individus et d'y voir des contacts possibles.
- **Fenêtre de temps** : Cette méthode ne tient pas compte de la localisation dans l'espace, en se concentrant sur le partage du temps pour les activités et des réseaux sociaux avec lesquels il y a une connexion durant ces activités. Le partage de l'information se concentre donc sur le temps, davantage que l'espace.
- **Combinaison des trajets en espace-temps et de la fenêtre de temps** : Cette combinaison permet une visualisation complète des opportunités géographiques et temporelles de contact social.
- **Surfaces de densité d'activité** : Cette méthode, la plus complète proposée par l'article, propose de montrer le potentiel d'interaction avec une surface tridimensionnelle, où sa hauteur montre à la fois le temps passé à un endroit en compagnie d'autres individus ainsi que le nombre de personnes côtoyées. Avec celle-ci, il est donc possible de montrer les relations spatiales pour des groupes distincts.

Enfin, ces méthodes mettent en évidence l'intégration des activités des individus afin de prendre en compte les milieux différents rencontrés durant les activités. Cette prise en compte des activités est la plupart du temps considérée sur une base quotidienne et non hebdomadaire ou annuelle, en considérant les lieux d'activités tels que le travail et les loisirs. À quelques exceptions, dont l'article de Farber et al. (2013), la plupart des articles se concentrent sur une évaluation dynamique concentrée sur l'individu, sans nécessairement la répliquer à l'échelle d'une communauté ou d'une région entière.

2.3 Réalisation d'activité physique grâce à l'utilisation du transport en commun

Les liens entre activité physique et transport ont largement été explorés par le passé et la place de ce lien dans l'évaluation de la durabilité est souvent soulevée dans la littérature. Le transport permet d'atteindre des cibles d'activité physique recommandées pour améliorer la santé, notamment par l'utilisation de modes de transport actifs. Toutefois, des études plus récentes permettent d'établir la présence d'un lien entre le transport collectif et les bénéfices pour la santé. La présente section présente un résumé de la vaste littérature explorant cette relation et les recommandations des institutions majeures en santé relatives à l'activité physique.

2.3.1 Sédentarité

Le mode de vie sédentaire est reconnu pour être un danger pour la santé. Selon l'OMS (2009), il s'agit du quatrième facteur de risque de mortalité au niveau mondial. Pour définir la sédentarité, on considère l'absence ou la faible présence de réalisation d'une activité physique modérée ou soutenue (Sallis, 2009; Tremblay, Colley, Saunders, Healy, & Owen, 2010) et ce, dans l'ensemble du quotidien d'un individu. D'autres auteurs vont plutôt parler du comportement problématique d'être en position assise durant une durée prolongée, sans être autrement actif (Owen et al., 2011). De plus, les activités physiques ne sont pas nécessairement un sport ou un exercice, comme il sera développé davantage dans les prochaines sous-sections. En effet, une activité physique se traduit par une variété d'activités incluant une activation des muscles squelettiques, amenant le corps dans un niveau métabolique supérieur à l'état de repos complet (Bouchard, Blair, & Haskell, 2018). Les activités physiques peuvent se décliner sous une gradation d'intensités, du repos jusqu'à une activité physique intense (B. Ainsworth et al., 2011).

Ce mode de vie est influencé par différents facteurs. Parmi ceux-ci, on peut notamment soulever l'environnement bâti, la densité urbaine et l'utilisation du sol (Feng, Glass, Curriero, Stewart, & Schwartz, 2010; James et al., 2013). Ces éléments ont un impact direct sur la distance de marche réalisée par les individus, en raison de la proximité des différents centres d'intérêt (Sallis, 2009). Évidemment, l'utilisation de la voiture est également un facteur d'influence important (Owen et al., 2011). On compte également parmi les causes de la sédentarité la proximité à un centre récréatif, tel qu'un parc, centre d'entraînement ou club sportif (Sallis, 2009). Une plus grande proximité favorise donc un accès plus facile à des opportunités de réalisation d'activités physiques. L'environnement social d'un individu est également facteur de probabilité de réalisation d'activité physique, influencé par les initiatives locales (Owen et al., 2011; Salmon, Owen, Crawford, Bauman, & Sallis, 2003). De plus, la perception de l'individu de la présence d'installations répondant à ses besoins peut influencer la réalisation d'activité. Par exemple, les personnes âgées réaliseront une marche récréative dans un parc dans le cas où il y a présence d'installations comme des bancs et où le vandalisme n'est pas perçu comme étant une nuisance.

Des liens importants ont également été établis entre l'exposition aux écrans, particulièrement pour le temps d'écoute de la télévision et des enjeux de santé (Owen et al., 2011). En effet, il a été établi chez une population australienne, que les prédicteurs d'un niveau accru de consommation télévisuelle étaient le plaisir lié à l'écoute ainsi que les barrières perçues limitant l'activité physique (Owen et al., 2011; Salmon et al., 2003). Une autre étude, toujours citée par Owen et al. (2011), montre que le niveau d'éducation ainsi que l'environnement rural sont des caractéristiques individuelles augmentant la probabilité d'être dans une catégorie plus élevée de durée d'écoute de la télévision (Clark et al., 2010).

En somme, les influences sur le mode de vie sédentaire sont vastes : les caractéristiques individuelles, environnementales, communautaires, sociales et politiques (Owen et al., 2011).

2.3.2 Activité physique pour la santé

Plusieurs études ont montré les impacts positifs de la réalisation d'activité physique sur la santé individuelle, notamment en réduisant considérablement le risque de différentes maladies. Le *U.S. Department of Health and Human Services* (USHHS) a rassemblé différentes études pour souligner les bénéfices de l'activité physique pour la santé (USHHS, 2008). Parmi ces bénéfices, on retrouve notamment une réduction importante de différents problèmes de santé, tels que le risque d'arrêt

cardiaque, la haute pression sanguine ou le haut niveau de cholestérol dans le sang, les problèmes de santé mentale comme la dépression ou un dysfonctionnement cognitif, le risque de diabète de type 2 et d'autres maladies comme le cancer. Des bénéfices évidents de l'amélioration du tonus musculaire pour la capacité fonctionnelle, c'est-à-dire la réalisation de tâches quotidiennes, sont aussi mentionnés. Dans ce rapport, on note également que ces bénéfices sont notables pour toutes les tranches de la population, peu importe leur âge, sexe ou origine ethnique.

Une étude de Warburton, Nicol, and Bredin (2006) effectue une revue des études sur les bénéfices de l'activité physique et fournit des informations quantifiées sur ces bénéfices. Notamment, on y mentionne que le fait d'être physiquement actif permet une diminution de plus de 50% des risques cardiovasculaires (Myers et al., 2004). En ce qui a trait au risque de souffrir d'un diabète de type 2, chaque augmentation hebdomadaire de dépense énergétique équivalente à 500kCal permet une diminution du risque de 6%, particulièrement pour les individus les plus à risque (Helmrich, Ragland, Leung, & Paffenbarger Jr, 1991). Enfin, le risque de cancer du côlon est également diminué de 30% à 40% chez les hommes actifs et les femmes actives voient une diminution du risque de cancer du sein de 20% à 30% (I.-M. Lee, 2003).

Afin de mesurer l'impact de ces différentes maladies sur la vie des individus, certains chercheurs ont commencé à employer au début des années 1990 l'espérance de vie ajustée par l'invalidité (*Disabiliy-adjusted life years* ; DALY) comme mesure de l'impact sur la qualité de vie des maladies (Murray et al., 2012). Elle se compose de la sommation des années perdues en raison d'une mort prématurée ainsi que des années vécues avec une invalidité relative à une maladie. Pour l'Amérique du Nord, on retrouve, parmi les premières causes de réduction des DALYs pour un individu, les maladies liées aux problèmes cardiaques ainsi que le diabète et le cancer du côlon (Murray et al., 2012).

Toutes les conséquences du manque d'activité physique ont également un impact important sur le système de santé. En effet, les personnes actives sont de faibles utilisateurs du système de santé, comparativement aux personnes inactives. Sari (2009), dans une étude réalisée sur une population canadienne adulte, estime à 38% la proportion supplémentaire d'individus inactifs ayant recours à un service d'hospitalisation, en plus de 5,5% de visites supplémentaires chez un médecin de famille, 13% chez d'autres services médicaux et 12% chez des services infirmiers. En termes de nombre, cette utilisation supplémentaire due à une insuffisance d'activité physique se chiffre

respectivement à 1,42 millions, 2,37 millions, 1,33 millions et 0,47 million de visites. Dans un contexte de système de santé public, il s'agit d'un coût d'utilisation assumé par la société, mais d'autres coûts, notamment les frais pharmaceutiques, sont assumés de façon différente. De plus, la réalisation d'une activité physique, la marche associée à l'utilisation du transport en commun dans le cas présent, permet une économie de frais de santé évaluée à 5500$ par personne par année, selon une étude de Edwards (2008).

2.3.3 Niveau recommandé

Pour contrer les effets néfastes de la sédentarité et limiter les risques de développement de maladies, l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) recommande d'effectuer de l'activité physique. Ce faisant, l'activité physique minimale à réaliser est de 150 minutes d'une intensité modérée ou 75 minutes d'activité physique d'intensité soutenue hebdomadairement. Une combinaison des deux niveaux d'intensité est également suggérée (OMS, 2009). Il s'agit ici de valeurs minimales pour un adulte (18 à 64 ans) ou une personne âgée. Les bénéfices sur la santé peuvent également être augmentés si les valeurs sont doublées. Pour les enfants, on parle plutôt de 60 minutes par jour d'activité modérée à soutenue.

Le type d'activité décrit par l'OMS (2009) est défini par non seulement un sport, mais une activité ménagère, professionnelle, de déplacement ou autre, et ce, dans un contexte variable (quotidien, familial ou communautaire).

L'*U.S. Department of Health and Human Services* (USHHS) abonde dans le même sens avec le *2008 Physical Activity Guidelines for Americans*, en proposant ces mêmes recommandations. Pour décrire l'intensité absolue des activités, on les compare à un repos complet. Ce faisant, une activité d'intensité faible correspond à 1.1 à 2.9 fois la dépense énergétique d'un état de repos, modérée correspond à 3 à 5.9 fois le repos et intense correspond à plus de 6 fois la dépense au repos. Il est également possible d'utiliser l'intensité relative, qui décrit l'effort nécessaire par un individu, selon son niveau de forme de base. Par exemple, une activité physique qui, de façon absolue serait de faible intensité, peut représenter une intensité relative plus élevée pour des individus dont le niveau de forme de base est plus faible. Néanmoins, pour les besoins de l'étude, cette notion n'est pas prise en compte.

Évidemment, les recommandations touchent également les activités favorisant un tonus musculaire, surtout pour les enfants, mais l'étude se concentre principalement sur les activités ayant des bénéfices cardio-vasculaires, puisque ce sont celles-ci qui sont liées principalement avec les activités de déplacement.

2.3.4 Activité physique liée au transport

Ces recommandations peuvent s'effectuer par le biais d'activités de loisir, mais également en réalisant des activités fonctionnelles de façon active (OMS, 2009; USHHS, 2008). Évidemment, le comportement de mobilité, que ce soit par son choix de mode ou de trajet a un impact important sur le niveau d'activité physique qui peut être réalisé dans le cadre des déplacements. La figure suivante, tirée d'une étude réalisée par Langlois, Wasfi, Ross, and El-Geneidy (2016) permet d'organiser les influences sur le niveau d'activité physique réalisée.

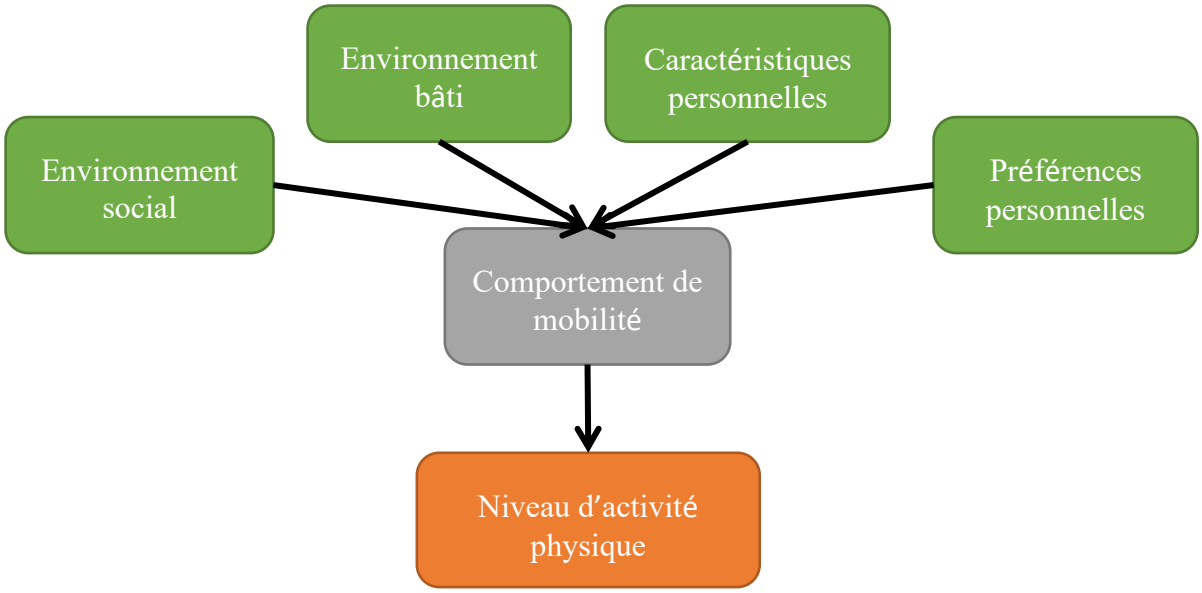


Figure 2-4 Facteurs d'influence du niveau d'activité physique liés au transport, traduit de (Langlois et al., 2016)

2.4 Mesure de l'activité physique

L'évaluation de l'activité physique peut prendre diverses formes. Dans le cas présent, l'étude se base sur deux principales sources : une évaluation du nombre de pas réalisés dans les déplacements

des usagers du transport collectif montréalais (Morency, Trépanier, & Demers, 2011) ainsi que l'analyse du niveau d'activité physique atteint par les résidents de quartiers aménagés en fonction de la présence du transport collectif (*Transit Oriented Development*, TOD), dans le cadre de leurs déplacements réguliers (Langlois et al., 2016). Le tableau suivant compare la méthodologie des deux études.

Tableau 2-1 : Comparaison de deux études portant sur le niveau d'activité physique lié au transport

	Morency et al. (2011)	**Langlois et al. (2016)**
Base de données des déplacements	Enquête Origine-Destination 2003	Enquête sur les lieux normalement visités par les résidents de TOD
Simulation des déplacements	Approche complètement désagrégée	Déplacements sur Google Maps
Distances de marches	Distances de marche réseau des déplacements déclarés	Distance de marche pour accéder aux points d'intérêt à partir du domicile
Unité pour évaluer le niveau d'activité physique	Nombre de pas	*Metabolic Equivalent of Task* (MET)

Cette recherche utilise donc une combinaison des deux études, c'est-à-dire qu'elle utilise l'Enquête Origine-Destination 2013 pour obtenir les portions des déplacements déclarés réalisés à la marche. L'application sur le réseau se fait néanmoins grâce à la plateforme Transition, développée par la Chaire Mobilité. Enfin, à partir de ces informations, on estime le niveau d'activité physique grâce à l'utilisation des METs comme unité de mesure. Une explication plus détaillée se trouve dans la section 5.1 portant sur la méthodologie de cet indicateur.

2.4.1 *Metabolic Equivalent of Tasks (MET)*

Le niveau d'intensité des activités est évalué en établissant un équivalent métabolique d'accomplissement d'une tâche (MET). Ce niveau correspond à la dépense énergétique par kilogramme d'un individu pour une activité réalisée sur une durée d'une heure. Ainsi, 1 MET équivaut à 1 $kCal*kg^{-1}*h^{-1}$. Il s'agit également du niveau métabolique au repos (*Resting Metabolic Rate*, RMR) qui correspond à être assis calmement. De cette façon, toute activité peut être comparée à ce niveau d'intensité : une activité de 3 METs, par exemple, serait donc trois fois plus

intense qu'un repos complet. Ce faisant, pour obtenir la dépense énergétique d'une activité, il suffit de diviser le nombre de METs par le poids de l'individu et par la durée.

Le *Compendium of Physical Activities* est un recueil regroupant toutes les activités physiques, sportives ou non, où une évaluation du nombre METs a été réalisée dans la littérature. Sa première édition date de 1993, mais deux rééditions ont été réalisées depuis, la plus récente datant de 2011. Au sein de ce recueil, les activités sont organisées en fonction de leur nature (transport, sport, activité ménagère, etc.) et on y fournit le niveau d'activité physique spécifique à chaque activité, basé sur différentes études.

2.4.2 Lien avec les recommandations

Tel que mentionné précédemment, l'OMS recommande d'accomplir quotidiennement 150 minutes d'activité physique d'intensité modérée ou 75 minutes d'activité physique soutenue et ce, sur une base hebdomadaire. Pour des fins de simplification et de concordance avec la base quotidienne des données de l'Enquête Origine-Destination, on peut parler d'une recommandation minimale de 30 minutes quotidiennement, au minimum cinq fois par semaine pour une activité modérée (Langlois et al., 2016) ainsi que 15 minutes quotidiennement, au minimum cinq fois par semaine pour une activité physique intense. Ainsi, une activité physique modérée correspond à des valeurs horaires de 3 à 5,9 METs, alors qu'une activité physique intense correspond à plus 6 METs par heure.

En effectuant une sommation des METs accumulés par activité physique d'une durée minimale de 10 minutes quotidiennement, on peut établir que l'activité physique minimale à réaliser quotidiennement correspond à 1.5 METs. Effectivement, avec une activité physique de 3 METs réalisée sur une durée de 30 minutes, on obtient une valeur de 1.5 METs. De plus, pour obtenir cette valeur, il faut prendre en considération que les recommandations d'activité physique entre les niveaux modérés et intenses sont réparties de façon linéaire entre une activité de 30 minutes à intensité modérée (3 METs) et une activité intense (6 METs) sur une durée de 15 minutes.

2.4.3 Dépense énergétique liée à la marche

Dans le cas présent, l'activité d'intérêt est la marche. Celle-ci représente 3.5 METs pour une marche à 5 km/h (code d'activité 16060 dans le *Compendium of Physical Activities* (B. Ainsworth et al., 2011; B. E. Ainsworth et al., 2011)).

Certains facteurs peuvent faire varier le niveau d'intensité de la marche et ce faisant, changer le type d'activité du recueil ou changer la durée de l'activité. Certains d'entre eux ont été étudiés et sont explorés dans les prochaines sous-sections.

2.4.3.1 Temps de marche

Comme mentionné précédemment, le temps de marche a un impact considérable sur les bénéfices possibles sur la santé. Il s'agit de la limite inférieure de durée pour qu'une activité physique soit considérée dans le bilan quotidien. Les effets positifs sur la santé de l'individu sont d'ailleurs comparables lors d'une activité aérobique de 10 minutes ou de 30 minutes, alors que l'impact d'activités physiques de plus courte durée est encore incertain dans la littérature (Haskell et al., 2007). Cette durée minimum de 10 minutes consécutives par activité est d'ailleurs celle recommandée par l'USHHS (2008).

2.4.3.2 Pente

La pente du parcours est également un élément important de l'intensité de l'activité physique. Certaines études ont porté sur le sujet, montrant une différence dans le comportement de marche lors de la présence d'une pente, variant notamment la vitesse (Kawamura, Tokuhiro, & Takechi, 1991). Néanmoins, malgré ce fait, on peut prendre l'hypothèse simplifiée d'une vitesse constante durant le déplacement, en augmentant toutefois le niveau d'intensité physique en conservant la même vitesse.

Ces diverses études ont ainsi mené à l'établissement de valeurs d'intensité différentes que la marche sur un parcours plat au sein du Compendium, dont les valeurs suivantes :

- 5.3 METs par heure pour une activité de marche à une vitesse entre 2,8 et 3,2 miles/h (4,5 à 5,1 km/h) sur une pente montante de 1 à 5% (code 17210);
- 8.0 METs par heure pour une activité de marche à une vitesse entre 2,8 et 3,2 miles/h (4,5 à 5,1 km/h) sur une pente montante de 6 à 15% (code 17211);
- 3.3 METs par heure pour une activité de marche à une vitesse de 2,5 miles/h (4 km/h) sur une pente descendante (peu importe l'angle) (code 17180) (B. Ainsworth et al., 2011; B. E. Ainsworth et al., 2011)

Ces valeurs permettent ainsi de tenir compte de l'angle de la pente à franchir dans l'évaluation de l'activité physique.

2.4.3.3 Port d'une charge

Certains déplacements nécessitent le transport d'une charge. Malgré que les effets sur l'activité musculaire n'aient pas été largement étudiés dans la littérature (Silder, Delp, & Besier, 2013), on considère ici que le port d'une charge implique une intensité supplémentaire et donc une valeur différente de METs, tel qu'exposé dans le Compendium.

Par exemple, on peut compter le poids associé au port d'un sac d'école qui peut représenter près de 10% du poids d'un étudiant (Dames & Smith, 2015), donc on peut supposer un poids d'environ 10 lbs pour un enfant ou 15 lbs pour un adulte.

Le tableau suivant présente différentes valeurs associées au port d'une charge.

Tableau 2-2 : Niveaux d'activité physique supplémentaires liés au port d'une charge

Motif de déplacement	METs horaires associés au poids de la charge	Source
Magasinage - retour	2.5	(Langlois, 2016)
École - aller	1.5	(Dames & Smith, 2015) Marche avec le port d'une charge de 1 à 15 lbs : 5 METs dans le *Compendium of Physical Activities* (B. E. Ainsworth et al., 2011)
École -retour	1.5	(Dames & Smith, 2015) Marche avec le port d'une charge de 1 à 15 lbs : 5 METs dans le *Compendium of Physical Activities* (B. E. Ainsworth et al., 2011)

2.4.3.4 Marche en station

La marche associée à l'utilisation de stations de train et de métro est non négligeable. En effet, les distances en station peuvent représenter une portion importante des temps de déplacement à la marche liée à l'utilisation du transport en commun. Bien que celles-ci aient rarement une durée de plus de 10 minutes, elles peuvent s'ajouter au temps de marche en provenance de l'origine du déplacement ou pour atteindre la destination.

En plus de ces temps de marche à considérer, les stations, plus particulièrement celles de métro, comportent des quantités importantes de marche en raison de la profondeur des quais. Ainsi, il peut

être pertinent d’utiliser une valeur adéquate pour considérer ces segments, soit de 4,0 METs par heure pour une activité de marche à une basse vitesse dans des escaliers en montée (code 17133) (B. Ainsworth et al., 2011; B. E. Ainsworth et al., 2011).

.

CHAPITRE 3 INDICATEURS DE DURABILITÉ POUR LE TRANSPORT EN COMMUN

Ce chapitre traite du développement du système d'indicateurs de durabilité pour le transport en commun. Ce faisant, la première portion porte sur la sélection du cadre méthodologique entourant le système d'indicateur, puis la seconde développe les indicateurs touchés par le présent mémoire.

3.1 Sélection du système d'indicateurs

Sioui (2014) trace un portrait des plus importants systèmes d'indicateurs, résumé dans le tableau suivant.

Tableau 3-1 : Particularités de différents systèmes d'indicateurs de transport durable (Sioui, 2014)

	VTPI	**I_SUM**	**STPI**	**PROPOLIS**	**SUSTAIN**	**SIMBAD**	**ELASTIC**	**TERM**	**Rassafi**	**Parsons**	**CEESE**	**SUTRA**	**MTI**	**LSS**
Échelle d'analyse														
Nationale	X		X					X	X		X		X	
Région urbaine	X	X		X	X	X	X			X		X		X
Objectifs du système														
Suivi, comparaison	X	X	X				X	X	X	X				
Aide à la décision (choix de scénarios et politiques)				X	X	X					X	X	X	X
Agrégation en un indice global														
		X		X	X		X		X	X				X
Autres particularités, thématiques explicites du système														
Gouvernance	X	X						X						
Comportement de mobilité			X		X			X	X		X	X		
Aménagement			X	X	X							X	X	
Technologie			X		X							X		

Cette revue des systèmes d'indicateurs existants fait ressortir la variabilité dans les orientations que prennent les systèmes d'indicateurs. De plus, l'échelle d'analyse est bien souvent macroscopique, à l'échelle nationale ou régionale, ce qui cadre difficilement avec notre objectif de mesurer la

durabilité de scénarios de transport collectif à l'échelle plus locale. Il n'y a pas donc de parfait système d'indicateurs, chacun ayant ses particularités et ses forces.

Plus récemment, un projet chapeauté par le TRB a permis le développement d'un outil nommé le calculateur S+ROI, permettant d'étudier le niveau de durabilité d'une agence de transport collectif (Gallivan & Hoffman, 2018). Il permet de répondre aux besoins soulevés par les agences, soient le besoin de quantification, la gouvernance et la communication. Bien que pertinent, il n'est pas nécessairement adapté pour les besoins actuels d'évaluation de scénarios, puisqu'il se concentre sur une évaluation davantage macroscopique.

Des études ont également porté sur la durabilité de villes, développant des indicateurs spécifiques à la réalité locale (Jain & Tiwari, 2017). Néanmoins, celles-ci ne sont adaptées ni au contexte montréalais ni à l'apport du transport en commun au niveau de durabilité.

Parmi l'éventail de possibles systèmes d'indicateurs offerts dans la littérature, les résultats de l'étude menée par Sioui (2014) tracent la base du développement de la présente étude. Ses différentes parties ayant une pertinence notable sont détaillées dans la présente section, avant de justifier plus en profondeur le raisonnement derrière la sélection de ce système.

3.1.1 La *Pieuvre* et le *Cercle de causalité*

La *Pieuvre* constitue le schéma relationnel au cœur des travaux de Sioui (2014). Celle-ci représente tous les éléments composant la durabilité mis en relations en fonction des catégories de concepts soulevés dans la littérature, tous reliés à l'un des piliers du développement durable qui eux, à leur tour, sont reliés au concept central de développement durable. Cette représentation permet ainsi d'organiser et de comprendre les liens entre les composantes de la mobilité durable de façon équilibrée, sans mettre davantage à l'avant-plan des concepts mis de l'avant dans la sphère publique, en plus de considérer des domaines non traditionnellement liés aux transports (Sioui, 2014). Ce schéma permet d'organiser les composantes, connues ou non, du développement durable de façon statique.

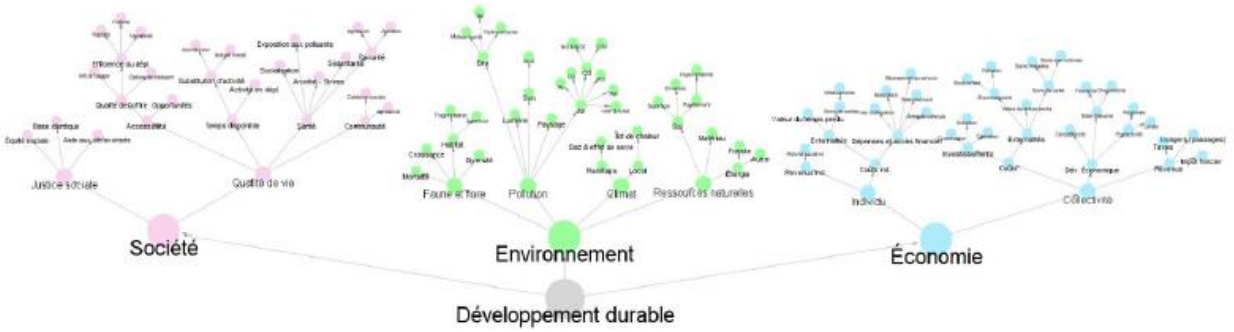


Figure 3-1 : Schéma statique de la *Pieuvre* (Sioui, 2014)

Le *Cercle de causalité* est quant à lui tiré des mêmes travaux, mais il se penche davantage sur les relations de cause à effets, sous différents degrés d'influence, entre les composantes de la durabilité dans un contexte de mobilité, tout en empêchant une redondance des enjeux appartenant à différentes sphères de la mobilité durable. Ces relations permettent de comprendre l'équilibre existant entre chacun des enjeux ainsi que la complexité existant dans les relations entre les composantes du développement durable.

Ces représentations sont le reflet d'une réflexion approfondie de mesure, de pondération et d'équilibre des éléments constituant le développement durable en fonction de la littérature, dans un contexte de mobilité général, sans nécessairement tenir compte du mode et de l'échelle d'application.

3.1.2 **Boite à outils**

La Boîte à outils accompagne ces travaux afin de répertorier 17 indicateurs, chacun déclinant entre une et trois mesures pour représenter ces indicateurs. Ceux-ci sont applicables à différents éléments de transport, mais le sont surtout à une échelle régionale.

Afin d'assurer une cohérence et éviter une surreprésentation de certains des indicateurs, les liens de cause à effet tirés du Cercle de causalité sont utilisés pour représenter le degré d'intensité du lien entre l'indicateur et la composante d'analyse. Une sommation de ces composantes en fonction de ce degré d'intensité permet également de vérifier l'équilibre du développement du système d'indicateurs, concordant avec le développement proposé par Litman (2005).

3.1.3 Justification de ce choix de système d'indicateurs

Il s'agit donc du modèle choisi pour réaliser la suite des travaux. La grande qualité de la réflexion et l'équilibre dans la sélection des indicateurs le différencie des autres travaux. En effet, la réflexion menant à l'établissement des indicateurs repose sur un développement exhaustif des objectifs derrière l'évaluation de la durabilité dans le contexte du transport. De plus, les critères de sélection des indicateurs relevés dans la littérature sont respectés par cette étude.

Tel que mentionné par Tanguay et al. (2010) dans le cas des villes, la difficulté d'établir une définition claire du développement durable, la difficulté à classifier les indicateurs ainsi que la faible disponibilité des données rendent difficile l'évaluation adéquate de la durabilité. De plus, la nature subjective des systèmes retrouvés dans la littérature nuit à la précision des indicateurs. Néanmoins, Sioui réussit à répondre en grande partie à ces limitations. Pour y arriver, l'étude utilise des organisations conceptuelles profondes, sous le format de la Pieuvre et du Cercle de causalité, puis développe la Boite à outils, qui conserve l'équilibre des concepts présents dans les deux schémas méthodologiques précédents. Il s'agit donc des principales raisons justifiant la sélection de ce système d'indicateurs à titre de base pour la présente étude.

3.2 Développement des fiches d'indicateurs de durabilité

Dans le cadre de la présente démarche de recherche, pour chacun des indicateurs proposés par Sioui (2014), une fiche est développée afin d'adapter l'indicateur proposé au contexte d'évaluation de scénarios de transport en commun. Ce faisant, ceux-ci ne sont pas considérés directement; ce qui est considéré est plutôt l'idée générale de l'indicateur, décrite plus loin comme des « orientations » de mesure, cernant plutôt le domaine à étudier, tout en conservant l'équilibre de ces orientations proposées par Sioui. Pour conserver cet équilibre, on s'assure de respecter les thématiques de la Pieuvre que ces orientations représentent ainsi que le degré de connexion aux concepts de durabilité du Cercle de Causalité. De nouveaux indicateurs spécifiques sont alors développés pour chacune de ces orientations.

Pour chacun d'entre eux, une fiche est développée afin de faire état du contexte de la méthode d'évaluation et de la mise en application. Toutefois, aucun essai n'est effectué sur de réelles bases de données afin d'en tirer des résultats probants pour la plupart d'entre eux; il ne s'agit que de fiches méthodologiques.

3.2.1 Méthodologie de développement général des fiches

Pour développer ces fiches, trois grandes étapes sont suivies. Premièrement, une revue de littérature spécifique à l'orientation est réalisée. Celle-ci porte à la fois sur le domaine, les impacts sur les sphères du développement durable, mais aussi sur les méthodes de mesure utilisées pour transformer cette orientation en un indicateur. Si la littérature compte des contributions pertinentes, cette section s'oriente sur le transport collectif spécifiquement, puisque l'objectif est bel et bien de développer des indicateurs dédiés au transport en commun.

Deuxièmement, un indicateur formel est déterminé en fonction de la littérature relevée. Cet indicateur est également justifié en fonction d'hypothèses ainsi que des critères de sélection mentionnés par Litman (2005), soit globalement un indicateur équilibré, où l'acquisition de données est possible, qui vulgarise bien l'orientation, facilite une mise à l'échelle et reflète des éléments tangibles, tout en répondant à l'objectif global de réalisation du système d'indicateurs, soit de mesurer le niveau de durabilité du transport en commun, par l'entremise de scénarios de transport en commun.

Troisièmement, l'élaboration d'un cadre méthodologique est présentée, mais ce cadre n'est pas nécessairement appliqué. Il est développé en tenant compte des données disponibles et des manipulations simples possibles, telles qu'une affectation au réseau ou des calculs de temps de parcours, par exemple.

3.3 Indicateurs de durabilité

Les éléments mentionnés dans la méthodologie forment les fiches complétées pour chacune des orientations proposées. Parmi les orientations étudiées, les indicateurs développés et finalisés sont présentés aux chapitres suivants. Ceux-ci concernent le potentiel de contact social grâce aux déplacements (no 01) et la part d'activité physique recommandée attribuable aux déplacements (no 03).

Pour ce qui est des autres orientations, celles-ci sont complétées à différents niveaux, sans toutefois être finales. Elles sont ainsi davantage considérées comme des pistes de réflexion que des indicateurs finaux. Elles sont disponibles en annexe 1 et leur degré de complétion est explicité dans le tableau 3-2 de la présente section, à l'aide du code de couleur : rouge étant une orientation à analyser, mais non touchée par la présente étude; jaune pour les orientations où un début de

réflexion a été effectué et verte pour les orientations développées et complétées. Plusieurs orientations n'ont donc pas de conclusion directe tirée de la présente analyse.

Ce tableau liste l'ensemble des orientations et propositions d'indicateurs de mobilité durable soulevés par Sioui et résume les conclusions tirées par les fiches développées. Ceux-ci forment donc le cadre et la base du développement de l'ensemble de la méthodologie du système d'indicateurs. Des propositions sont également effectuées pour vérifier l'application de l'indicateurs à différentes échelles, soit macroscopique à l'échelle d'un scénario de lien de transport en commun, mésoscopique à l'échelle d'un élément physique composant le scénario de développement, soit un arrêt dans le cas présent et microscopique à l'échelle d'un déplacement réalisé via le scénario évalué. Ces niveaux d'application servent principalement à étudier l'applicabilité de l'indicateur proposé à différentes échelles, afin de valider quelle échelle serait la plus pertinente pour appliquer le système d'indicateurs proposé.

Tableau 3-2 : Description du niveau d'application des indicateurs choisis pour représenter les orientations

No	Orientation	Indicateur proposé par Sioui	Degré de développement de la fiche d' indicateur	Indicateur choisi	Application macroscopique (Lien de transport en commun)	Application mésoscopique (Arrêt)	Application microscopique (Déplacement)
1	Potentiel de contact social grâce aux déplacements	Part des déplacements en compagnie d'autres personnes que celles du ménage Durée d'activités extérieures au domicile		Gain d'exposition social grâce aux déplacements	Moyenne du gain pour les utilisateurs	Niveau de l'indice d'interaction du secteur où se situe l'arrêt	Gain d'exposition grâce au déplacement
2	Déplacements avec peu de nuisances et favorisant l'ambiance de quartier	Part des déplacements à vélo à la marche et en TC, pour un territoire donné		Indicateur de marchabilité	Moyenne d'indicateur de marchabilité autour du lien	Indicateur de marchabilité autour de l'arrêt	N/A
3	Part d'activité physique recommandée attribuable aux déplacements	Part du nombre de pas quotidien recommandé attribuable aux déplacements		Part du MET quotidien recommandé attribuable aux déplacements	Moyenne du niveau d'activité physique réalisé par les utilisateurs	Moyenne du niveau d'activité physique entre le lieu d'activité et l'arrêt	Niveau d'activité physique réalisé par le déplacement
4	Indisponibilité en raison des déplacements	Temps de trajet excluant le temps actif (vélo, marche) et le temps comme passager		Temps valorisable dans le déplacement	Moyenne de la proportion du temps valorisable par les usagers	N/A	Proportion du temps valorisable sur le trajet

Tableau 3-2 : Description du niveau d'application des indicateurs choisis pour représenter les orientations (suite)

5	Richesse et diversité des outils d'information à l'usager	Indice de la quantité et la diversité des outils d'information à l'usager		Niveau de dynamisme de l'information offerte	Niveau de dynamisme sur le lien	Niveau de dynamisme de l'information à l'arrêt	Niveau de dynamisme de l'information sur le trajet
6	Intensité de service, options de transport et équité d'accès	Intensité de service pour chaque mode de transport					
		Indice des options de transport, agrégeant les intensités de services de tous les modes de transport					
		Indice de Gini mesurant la distribution des segments de population vulnérable par rapport à l'offre					
7	Quantité de matières désuètes et efficacité de récupération	Quantité de matières désuètes (véhicules, pneus, huiles usées) et proportion de ces matières qui sont recyclées ou réutilisées		N/A	N/A	N/A	N/A
8	Surface et taux d'utilisation de l'emprise au sol des réseaux de transport	Emprise au sol occupée par les voies de circulation et les stationnements par pass-km, par réseau de transport					
		Surface-heure réservée (occupée par le véh ou en attente de l'être) par passager					
9	Quantité et efficacité d'utilisation d'énergie	Consommation d'énergie, par source d'énergie a) totale et b) par pass-km		Consommation d'énergie en valeur énergétique	Consommation d'énergie totale	N/A	Consommation d'énergie par passager-km

Tableau 3-2 : Description du niveau d'application des indicateurs choisis pour représenter les orientations (suite)

10	Quantité, efficacité et équité de distribution des émissions de polluants	Quantité de polluants émis par la circulation des véhicules, par type de polluant a) totale et b) par pass-km					
		Indice de Gini appliqué à la distribution de la population par rapport aux émissions de polluants					
11	Quantité et efficacité des émissions de gaz à effet de serre (GES)	Quantité de GES émis par la circulation des veh a) totale et b) par pass-km		Quantité de GES émis	Quantité des GES par ce lien (par km)	N/A	Quantité de GES émis par déplacement (par pass-km)
12	Coûts directs et indirects de déplacement et équité de distribution des coûts	Coût moyen du déplacement, par mode et par segment de population					
		Indice de Gini appliqué à la distribution des coûts quotidiens de déplacement					
13	Récupération des frais d'utilisation	Taux de récupération des frais d'utilisation (revenus et budget d'opération), par réseau et par type de dépenses (matériaux et main d'œuvre)					
14	Contribution du transport au PIB	Proportion du PIB attribuable au secteur des transports, par réseau de transport					

Tableau 3-2 : Description du niveau d'application des indicateurs choisis pour représenter les orientations (fin)

15	Main d'œuvre pour les générateurs d'emploi	Nombre de travailleurs à proximité des générateurs d'emploi					
16	Accidents et leurs victimes par gravité	Indice des accidents par pass-km, par mode de transport					
		Indice des victimes par pass-km, par mode de transport					
17	Niveau de congestion des routes principales	km-h de congestion					
		Délai : moyenne et variabilité					

Ainsi, avec le tableau précédent, il est possible de voir que seuls deux indicateurs ont été développés, soit ceux présentés aux chapitres suivants. Selon Sioui, tous les indicateurs sont de même importance. Dans ce contexte, le choix d'en approfondir certains ne signifie pas qu'ils sont plus importants que les autres. En outre, certains de ceux-ci font déjà l'objet d'un approfondissement dans le cadre d'autres projets de recherche. Le choix des indicateurs à approfondir est le résultat d'un arbitrage entre intérêt de recherche, opportunités offertes par les données et applicabilité au contexte d'un réseau de transport collectif.

Une réflexion a été entamée pour les orientations 2, 4, 5, 7, 9 et 11. Celles-ci sont sommairement présentées dans cette section, mais un détail complet de la réflexion se retrouve en annexe. Les orientations restantes sont à développer et davantage de détails sont formulés en perspectives. Pour celles-ci, l'absence d'un indicateur ne signifie donc pas qu'il faut les abandonner ou utiliser directement les indicateurs proposés par Sioui (2014), mais plutôt qu'ils n'ont pas été traités dans le mémoire et qu'une étude exhaustive est toujours à réaliser.

3.3.1 Déplacements avec peu de nuisances et favorisant l'ambiance de quartier

Pour cette orientation, un indicateur de marchabilité est utilisé aux abords du service de transport en commun afin de représenter l'impact de la présence du transport en commun sur l'ambiance de quartier. Effectivement, la littérature présente les quartiers où les déplacements faits à la marche sont favorisés comme étant un facteur d'influence positif sur le développement d'une cohésion sociale (Leyden, 2003). La présence du transport en commun amène les gens à y accéder à la marche, ce qui permet d'inciter un développement urbain autour du transport en commun axé sur les déplacements courts faits à la marche.

Des travaux ont déjà été effectués par la Chaire Mobilité concernant la mesure de la marchabilité (Lefebvre-Ropars, 2017). L'indicateur proposé consiste donc à l'application de la méthodologie avancée dans cette étude dans des zones entourant la présence du transport en commun, soit de la ligne en tant que tel ou des arrêts.

3.3.2 Indisponibilité en raison des déplacements

Cet indicateur porte sur la valorisation du temps passé à se déplacer, afin qu'il ne soit pas complètement considéré comme une perte de temps. Le transport en commun permet, encore plus que les autres modes, d'effectuer des tâches en parallèle au déplacement. Elles peuvent être

productive ou de loisir. La littérature a d'ailleurs exploré les facteurs pouvant influencer la probabilité de réaliser une activité durant le déplacement, notamment par le moment de la journée où le déplacement a lieu, le motif, etc.

À partir de cette littérature, il est alors possible de formuler un indice illustrant le potentiel de temps valorisé en fonction des différentes caractéristiques du déplacement. Ces caractéristiques peuvent être particulières à certains tracés, par exemple les lignes qui sont peu achalandées en périodes hors-pointe. Ce faisant, il est possible de reproduire l'indicateur également à l'échelle du tracé.

3.3.3 Richesse et diversité des outils d'information à l'usager

La richesse et la diversité des outils d'information à l'usager sont représentées sous un indice regroupant la disponibilité des données aux lieux critiques où les usagers peuvent nécessiter de l'information, c'est-à-dire avant le déplacement, à l'arrêt et à bord du véhicule de transport en commun, ainsi que le dynamisme de l'information fournie. Par dynamisme, on entend le niveau de mise à jour en temps réel de l'information. En combinant ces deux éléments, il est alors possible de fournir un indice de la qualité de l'information pour l'usager. Néanmoins, on ne considère que les caractéristiques de l'information fournie par la société de transport et non la possibilité d'accéder à de l'information du point de vue de l'utilisateur. Par exemple, l'indice ne tient pas en compte l'accès à un téléphone intelligent pour obtenir les informations en temps réel.

3.3.4 Quantité et efficacité d'utilisation d'énergie et Quantité d'émissions de gaz à effet de serre (GES)

La quantité et l'efficacité d'utilisation de l'énergie et la quantité d'émissions de GES sont traitées de façon similaire. En effet, les deux sont des éléments intimement liés dans le contexte où l'évaluation porte sur la phase d'utilisation des véhicules. Ce faisant, l'énergie de propulsion des véhicules est l'émetteur de gaz à effets de serre. Néanmoins, une distinction importante se retrouve entre les deux orientations : la première porte davantage sur l'efficacité d'utilisation de l'énergie. Ainsi, un véhicule, peu importe son carburant, doit utiliser efficacement son énergie, à l'aide notamment de technologies de récupération de l'énergie et une limitation des pertes. Par exemple, une meilleure efficacité peut prendre la forme de frein régénératif. C'est pourquoi une unité énergétique est plus adéquate pour cet indicateur.

La seconde orientation traite des émissions en fonction du type de carburant. De cette façon, le bilan final de consommation énergétique est combiné aux émissions moyennes par type de carburant pour évaluer les émissions de GES, un carburant fossile émet davantage de GES qu'un véhicule fonctionnant à l'électricité. On peut appliquer cet indicateur à l'ensemble du service d'une ligne, par exemple, ou bien de façon désagrégée au niveau d'un passager-km.

3.4 Perspectives

Les fiches d'indicateurs ayant un niveau de complétion non finalisé sont considérées comme des perspectives au développement du système d'indicateurs. Ceux-ci sont présentés sous un identifiant jaune au sein du tableau précédent. Les identifiants en rouge n'ont pas été développés dans le cadre du présent mémoire, mais ceci ne signifie pas qu'il n'est pas important de les inclure, au contraire. Il importe de conserver l'équilibre des orientations proposées par l'auteure. Cependant, un indicateur a été retiré, soit celui présenté à la première sous-section nommé « Quantité de matières désuètes et efficacité de récupération ». Les indicateurs économiques ont également été revus afin de s'adapter plus convenablement à l'échelle d'analyse désirée, présentés à la deuxième sous-section. Dans la troisième sous-section, on s'intéresse aux indicateurs non développés. Enfin, au cœur des deux dernières sections, on y présente les perspectives relatives à l'application à des scénarios de développement de transport collectif, puis les méthodes d'agrégation possibles.

3.4.1 Quantité de matières désuètes et efficacité de récupération

Il est proposé que l'indicateur de quantité de matières désuètes et efficacité de récupération soit retiré du système d'indicateurs de durabilité pour le transport en commun. L'analyse réalisée par Sioui (2014) démontre la pertinence d'inclure le volet portant sur la récupération des véhicules et des consommables liés à la gestion d'un système de transport. Néanmoins, la disponibilité des données des sociétés de transport limite la possibilité d'établir des diagnostics de récupération par projet, ligne ou arrêt, sans devoir faire des moyennes générales qui perdent de la précision. Par exemple, la STM fournit annuellement un état des lieux des indicateurs de durabilité de son organisation (STM, 2018). Ils forment donc un portrait général de l'organisation à une échelle supérieure à celle désirée dans le cas présent.

De plus, pour la gestion de la société de transport, la consommation de ressources ne se limite pas à l'opération directe des véhicules; il faudrait donc également inclure les activités de gestion dans l'évaluation, ce qui complique largement la possibilité d'obtenir des données désagrégées et l'application à seulement un scénario de transport en commun, et non l'ensemble de la société de transport.

3.4.2 Indicateurs économiques

Les indicateurs proposés par Sioui ne sont pas nécessairement applicables sur un scénario de développement du transport collectif. Ces indicateurs sont listés ci-dessous :

- Coûts directs et indirects de déplacement et équité de distribution des coûts;
- Récupération des frais d'utilisation;
- Contribution du transport au PIB;
- Main d'œuvre pour les générateurs d'emploi.

Ceux-ci sont pertinents à une plus grande échelle que celle proposée dans le présent mémoire. De plus, ces indicateurs ne concernent pas nécessairement le transport collectif directement. Des organismes ont étudié l'impact économique du transport collectif, en développant une étude et une série d'indicateurs d'impact du transport collectif sur l'économie régionale de Montréal (CCMM, 2010). Néanmoins, ces indicateurs sont toujours d'une échelle beaucoup plus grande que celle d'intérêt ici, c'est-à-dire qu'on y étudie l'impact économique sur la région complète montréalaise, alors que le système d'indicateurs développé dans le présent mémoire se destine plutôt à une application sur un scénario de transport collectif, sous forme de nouvelle ligne par exemple.

Ce faisant, une réflexion est nécessaire afin de développer des indicateurs davantage microscopiques. Une proposition de la littérature avance à ce sujet des critères clés pour développer des indicateurs économiques liés à la durabilité (Zheng, Atkinson-Palombo, McCahill, O'Hara, & Garrick, 2011). Ceux-ci sont :

- Accessibilité économique pour les individus;
- Efficacité de la mobilité des personnes et des marchandises;
- Équité financière;

- Résilience économique.

Ces grandes lignes peuvent s'arrimer également avec les avancées de Sioui (2014), mais une refonte est nécessaire pour redévelopper des indicateurs locaux à partir d'objectifs généraux. Litman (2005) propose également une liste d'indicateurs qui peuvent alimenter la réflexion sur les enjeux économiques, dont les suivants :

- Satisfaction des usagers;
- Transport commercial;
- Efficacité des coûts;
- Délais de congestion;
- Etc.

Si ces indicateurs sont considérés être liés à l'économie par l'auteur, il est également possible de voir qu'ils sont liés à d'autres orientations proposées par Sioui (2014). Davantage d'investigation est donc nécessaire pour établir des indicateurs économiques d'une échelle adéquate.

3.4.3 Indicateurs non développés.

Parmi les indicateurs non développés, on retrouve deux orientations liées à d'autres projets de recherche actuellement en développement par la Chaire Mobilité. Ceux-ci sont listés ci-bas :

- Intensité de service, options de transport et équité d'accès;
- Surface et taux d'utilisation de l'emprise au sol des réseaux de transport.

Puisque des efforts sont actuellement placés en parallèle au présent mémoire dans le développement approfondi de ces indicateurs, il a été choisi de ne pas les développer en version sommaire. Toutefois, l'intégration des résultats de ces études parallèles au système d'indicateurs sera fort pertinente.

3.4.4 Application à des scénarios de développement

Les indicateurs doivent répondre à l'objectif général de caractérisation de la durabilité des scénarios de développement de transport en commun. Ceux-ci doivent pouvoir changer d'échelle afin de s'adapter convenablement à des scénarios de plus grande envergure (la mise en service d'un

prolongement d'une ligne de métro, par exemple), autant que des scénarios de modification locale (un déplacement ou une augmentation du nombre d'arrêts d'une ligne d'autobus, par exemple). Ce faisant, la réflexion doit se poursuivre sur la possibilité de changement d'échelle pour les indicateurs, tout en conservant la précision du système.

3.4.5 Échelles d'application et mise en commun

Les échelles d'application représentent un enjeu de taille pour l'opérationnalisation de la durabilité. Dans le cas présent, les indicateurs sont proposés sous un format plus microscopique que ce qui a été relevé dans la littérature par Sioui (2014). Toutefois, les indicateurs ne sont pas toujours totalement pertinents pour toutes les échelles, comme le montre le tableau 2-2.

La mise en commun des indicateurs est également un enjeu qui nécessite une investigation profonde. Si certaines études soulèvent le fait que l'agrégation en un index composite entraîne une perte d'information (Sioui, 2014), il s'agit souvent du type d'information qui est recherchée par les décideurs. La recherche à ce sujet pourrait ainsi permettre d'établir des méthodes de vulgarisation des indicateurs, qui permettent de faire ressortir un niveau global de durabilité, tout en conservant la flexibilité d'application et les détails du système d'indicateurs complet.

Une approche intéressante pour déterminer une échelle d'application ainsi qu'une mise en commun serait de transformer cette évaluation sous un format d'analyse de cycle de vie qui répartit l'impact sur l'économie, l'environnement et la société sur l'ensemble de la durée de vie de l'élément analysé. Ceci permettrait également de tenir compte de toutes les phases de vie des composantes du système, de la construction à la fin de vie, ce qui n'est pas nécessairement le cas pour le moment, où on considère seulement la phase d'utilisation du système pour développer les indicateurs.

CHAPITRE 4 EXPOSITION ET COMPOSITION SOCIALE DYNAMIQUE LIÉE AUX DÉPLACEMENTS

Ce chapitre explore l'indicateur de potentiel de contact social grâce aux déplacements sous l'angle de l'exposition dynamique aux différents groupes sociaux. La méthodologie est tout d'abord expliquée, puis appliquée sur la région montréalaise pour effectuer un portrait de l'exposition sociale et l'impact du transport dans variation cette exposition.

4.1 Méthodologie

La méthodologie employée pour cette analyse effectue une analyse régionale du potentiel de contact social et se divise en quelques étapes principales : un choix d'unité spatiale est effectué, deux bases de données sont combinées afin d'obtenir les informations sociodémographiques de la population en question et un indice de l'hétérogénéité de la population est sélectionné puis appliqué sur les zones spatiales, en fonction des caractéristiques sociales. Des analyses de la variation de la composition sociale sont enfin effectuées.

4.1.1 Description des données

Deux bases de données sont utilisées pour effectuer l'étude. Celles-ci sont détaillées dans la présente section.

4.1.1.1 Enquête Origine-Destination

L'Enquête Origine-Destination de Montréal est une enquête ménage portant sur les déplacements des individus de la grande région de Montréal pour une journée normale d'automne 2013. Le territoire d'enquête est de 9840 km^2 et est montré à la figure suivante.

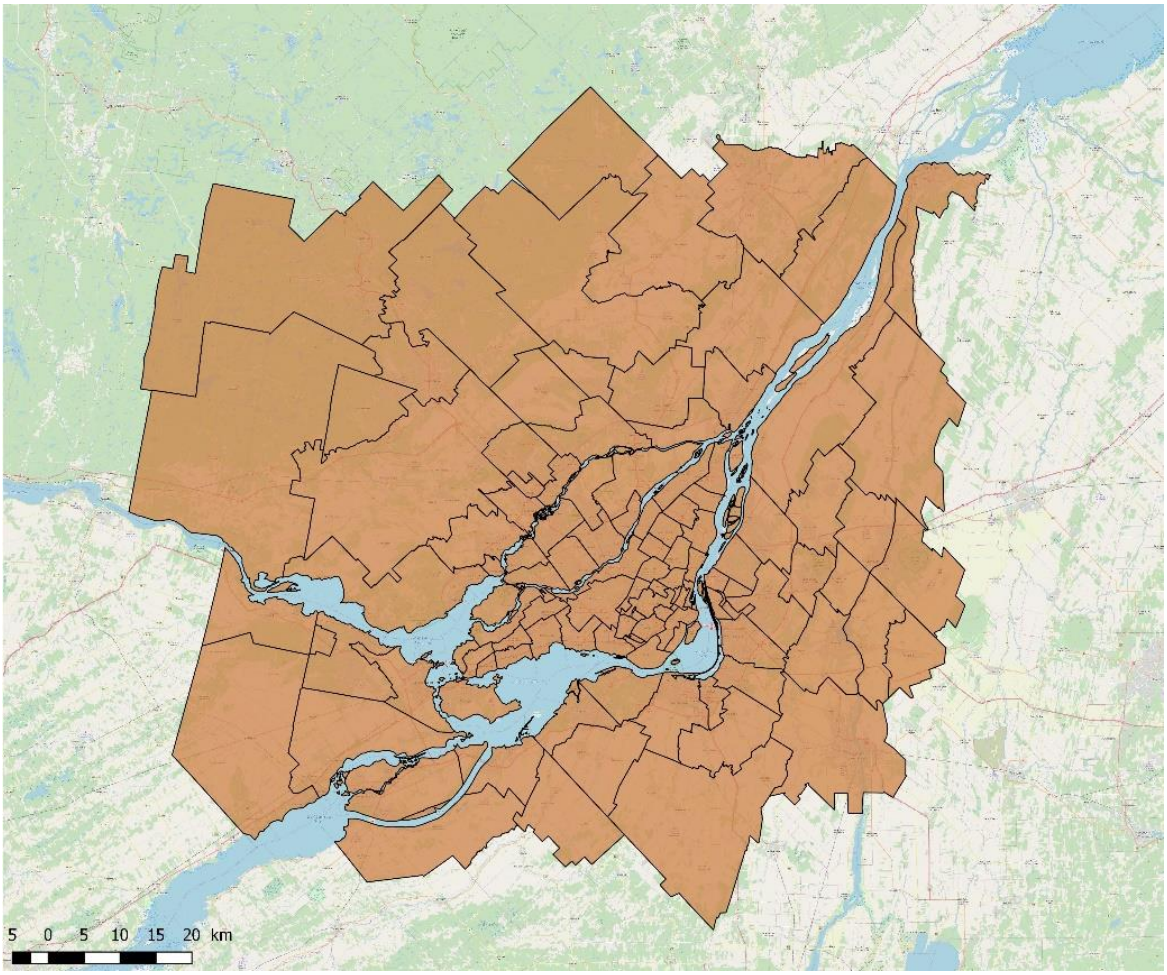


Figure 4-1 : Découpage de la région montréalaise par les SM

L'Enquête O-D porte sur les 4 288 000 résidents de la région, avec un échantillon représentatif de 4,35%, expansionné en suivant des facteurs attribués à chaque personne et à chaque ménage. Il comprend toutes les informations nécessaires sur le ménage (taille, localisation de la résidence, motorisation, etc.), sur l'individu (âge, statut, possession d'un permis de conduire, etc.) ainsi que sur les déplacements (localisations de l'origine et de la destination, mode employé, motif de déplacement, etc.) (Agence Métropolitaine de Transport, 2013). Pour la présente étude, on utilise les informations relatives aux déplacements ainsi que l'âge et le statut pour caractériser la population.

4.1.1.2 Recensement canadien

Le Recensement canadien est un vaste recensement touchant l'ensemble de la population canadienne réalisée par Statistiques Canada. Par sa nature, elle permet d'avoir des renseignements

exacts sur les caractéristiques sociodémographiques de la population. Elle est réalisée périodiquement au printemps, à chaque 5 ans. La population est invitée à remplir un questionnaire avec les informations de base, alors qu'une portion de cette population est sélectionnée pour remplir un questionnaire long, où davantage d'informations sont demandées.

Pour analyser l'exposition sociale, on utilise à partir de ces données le revenu annuel moyen dans le plus petit découpage possible, c'est-à-dire l'aire de diffusion (AD). En effet, au contraire de l'Enquête OD, le Recensement canadien fournit ses données de façon agrégée par zone géographique. Il serait possible d'accéder aux microdonnées, mais l'usage étant très contrôlé et l'accès limité, il a été choisi de se fier aux données agrégées par secteurs géographiques. Il est donc possible de les obtenir pour de grandes régions, comme pour l'ensemble de la RMR de Montréal, par exemple, ou pour des plus petits secteurs comme les AD. Néanmoins, puisque l'objectif est de combiner cette information avec les données désagrégées de l'Enquête OD, l'utilisation du plus petit découpage possible est nécessaire afin de faciliter la fusion.

Dans le cas de la présente étude, les caractéristiques sociales du revenu moyen et de l'appartenance à une minorité visible sont utilisées.

4.1.1.3 Agrégation des données

Les données sont agrégées pour fournir un portrait unique de chaque individu. Ce faisant, ce sont les données du Recensement qui sont attribuées aux valeurs désagrégées des individus l'Enquête OD. Pour y arriver, deux méthodes peuvent être appliquées en fonction de la nature de la caractéristique sociale discutée. La première, appliquée sur les données du revenu, consiste en l'application de l'attribut du revenu moyen de l'AD à l'ensemble de la population résidant dans cette même AD. Malgré le fait que la moyenne perde de l'information cruciale sur la distribution des revenus de cette zone, la faible population comprise au sein d'elle (400 à 700 personnes) fait en sorte que le résultat est suffisamment précis possible pour les besoins de l'analyse.

La seconde, quant à elle, est plus complexe et est appliquée sur les données relatives à l'appartenance à une minorité visible. En effet, les données de Statistiques Canada sont structurées de façon à attribuer un pourcentage à la population appartenant à chacune des minorités visibles pour chaque zone géographique. Afin d'attribuer ces valeurs aux individus, on attribue la répartition des groupes dans l'AD à la valeur du facteur d'expansion de toute personne résidant dans cette AD. Ce faisant, il est séparé en différents individus synthétiques ayant les mêmes

propriétés et déplacements que l'individu observé de l'Enquête OD, mais dont la propriété liée à l'appartenance à une minorité visible attribuée est changeante pour individu synthétique. Le facteur d'expansion est proportionnel au pourcentage de cette minorité. Cette opération est représentée dans le schéma suivant.

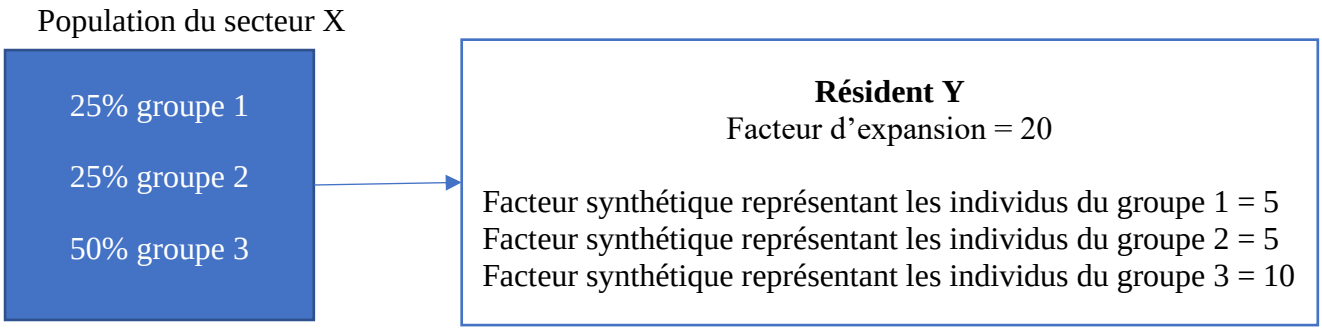


Figure 4-2 : Représentation schématique de la répartition du facteur d'expansion selon la proportion des minorités visibles

4.1.1.4 Catégorisation des groupes

Les groupes suivants sont utilisés pour réaliser l'étude. Certains sont divisés sous ce format dans les données fournies, alors que d'autres ont été agrégés pour la réalisation des calculs. En effet, un trop grand nombre de groupe peut avoir un effet sur la valeur de l'indice d'interaction ou des groupes n'étaient pas représentés un nombre de fois suffisant pour être représentatif. Certains regroupements ont également été faits dans l'objectif de représenter les groupes significatifs, notamment pour l'âge, où les étapes de vie étaient davantage significatives comparativement à l'âge numérique en tant que tel.

4.1.1.4.1 Âge

Les groupes d'âge sont séparés afin de représenter les différentes étapes d'une vie et sont donc divisés de la façon suivante :

- 0-14 ans : Enfant
- 15-34 ans : Jeune
- 35-64 ans : Adulte
- 65 ans et plus : Personne âgée

4.1.1.4.2 Statut

Le statut, soit l'occupation principale, est celui déclaré directement par les répondants de l'Enquête OD.

- Travailleur (temps plein ou partiel)
- Étudiant
- À la maison ou retraité
- Autre

4.1.1.4.3 Revenu

Les groupes de revenus moyens individuels fournis par le recensement sont agrégés par tranche de 25 000$.

- 0$ - 24 999$
- 25 000$ - 49 999$
- 50000$ - 74 999$
- 75 000$ - 99 999$
- 100 000$ - 124 999$
- 125 000$ et plus

4.1.1.4.4 Minorité visible

Statistique Canada liste les minorités visibles en 13 catégories. Afin de représenter adéquatement l'exposition à une minorité visible et mesurer adéquatement l'entropie de chaque secteur, les groupes de minorités visibles associé à l'Asie ont été regroupés en un seul groupe afin de limiter le nombre de groupe et améliorer la qualité des résultats.

- Non-minorité
- Noir
- Latino-américain
- Asiatique
- Arabe
- Autre

4.1.2 Choix de l'unité d'analyse

L'unité d'analyse spatiale agit à titre de zone au sein de laquelle la mixité sociale est analysée, pour vérifier si un potentiel de contact social est possible au cœur de celle-ci. Deux types unités d'analyses géographiques ont été testées pour réaliser l'étude; les deux sont détaillées ci-bas. Cependant, les résultats suivants sont obtenus avec la seconde unité d'analyse.

4.1.2.1 Secteurs municipaux de l'Enquête Origine-Destination 2013

L'Enquête Origine-Destination utilise dans son analyse 113 secteurs, nommés secteurs municipaux ou SM. Ceux-ci sont présentés précédemment à la figure 3-1. Ils ont été établis en tenant en compte la population résidente des secteurs ainsi que les logiques géopolitiques, entre autres. Les secteurs situés plus au centre de la région de Montréal sont plus petits, en raison de la forte densité de population; l'inverse est également vrai pour les secteurs en périphérie de la région.

Néanmoins, l'étude, tel qu'il sera détaillé plus loin dans la présente section, porte sur la population présente à tout instant dans chacun des secteurs. Ce faisant, ce découpage se trouve moins adéquat pour obtenir des résultats conséquents, puisque le découpage est fonction de la population résidente et non la population présente, qui elle, est la population d'intérêt dans cette étude. De plus, certains secteurs ayant une grande superficie voient leur population diminuer au cours de la journée, ce qui entraîne une diminution encore plus grande du potentiel d'exposition entre les individus présents dans le secteur. Un nouveau découpage géographique est donc nécessaire pour préciser les résultats.

4.1.2.2 Alvéoles

La formation géographique proposée est un découpage alvéolaire, c'est-à-dire en créant des zones de forme hexagonale sur l'ensemble du territoire. L'avantage de celle-ci est de limiter l'effet de frontière liée aux angles prononcés de formes comme le carré. De plus, chaque hexagone est formé de façon à avoir une aire de 1 km^2. L'objectif appuyant ce choix est non seulement de faciliter l'interprétation des résultats, mais également obtenir une zone géographique assez fine. Cette formation est montrée à la figure suivante.

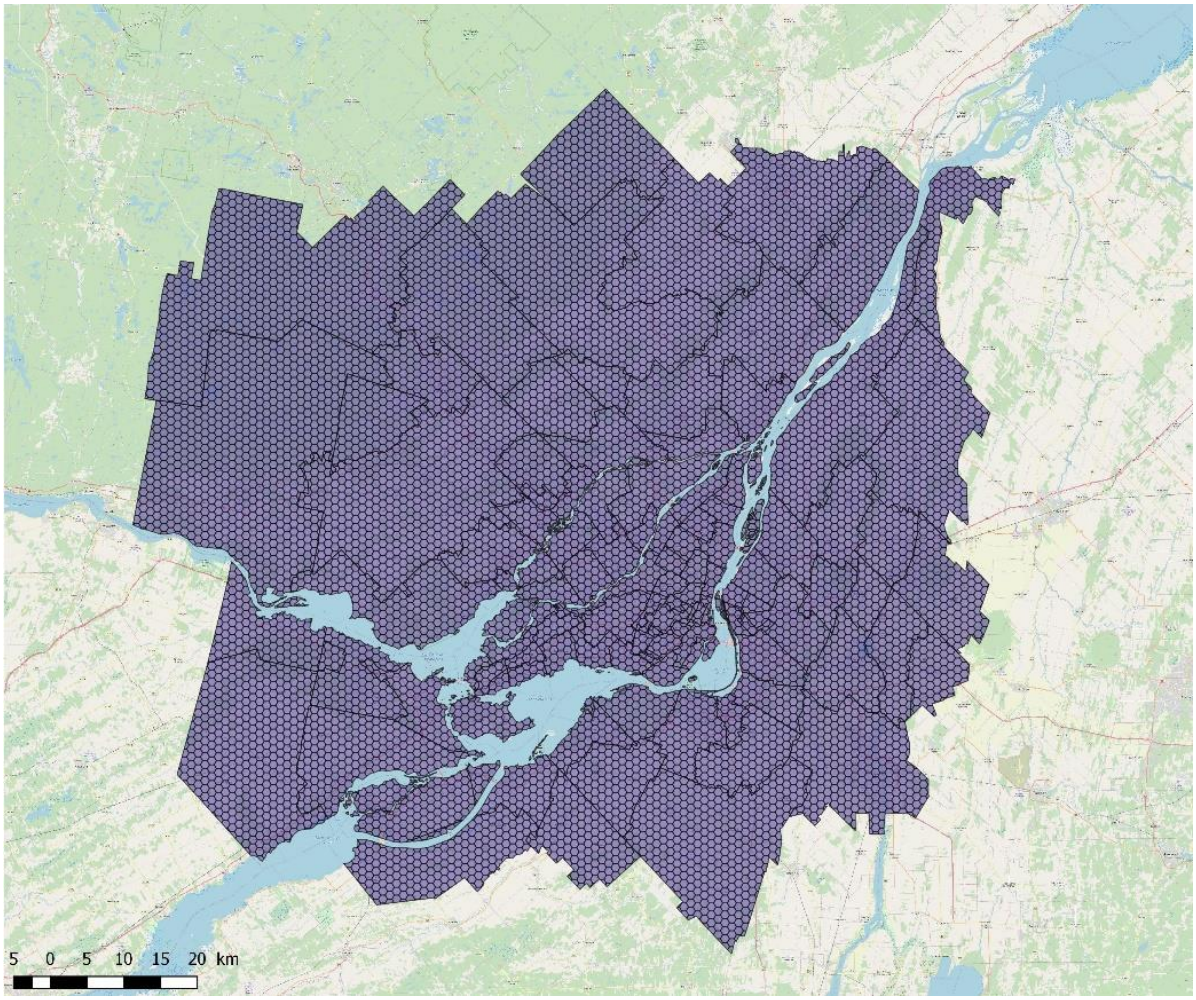


Figure 4-3 : Découpage alvéolaire de la région montréalaise

Pour y arriver, l'outil MMQGIS est utilisé dans le logiciel QGIS. Celui-ci permet de réaliser un grillage selon la forme et les dimensions désirées. Dans le cas présent, un découpage hexagonal avec les dimensions montrées ci-dessous est utilisé.

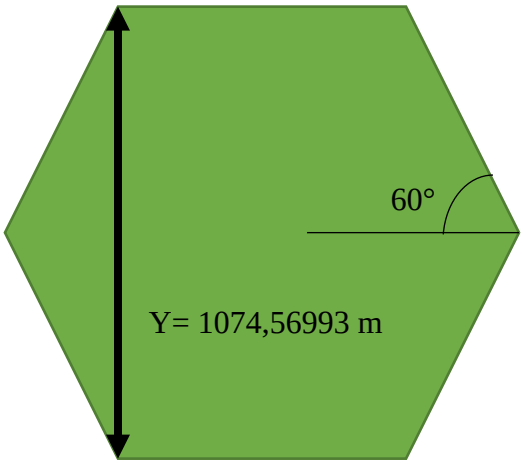
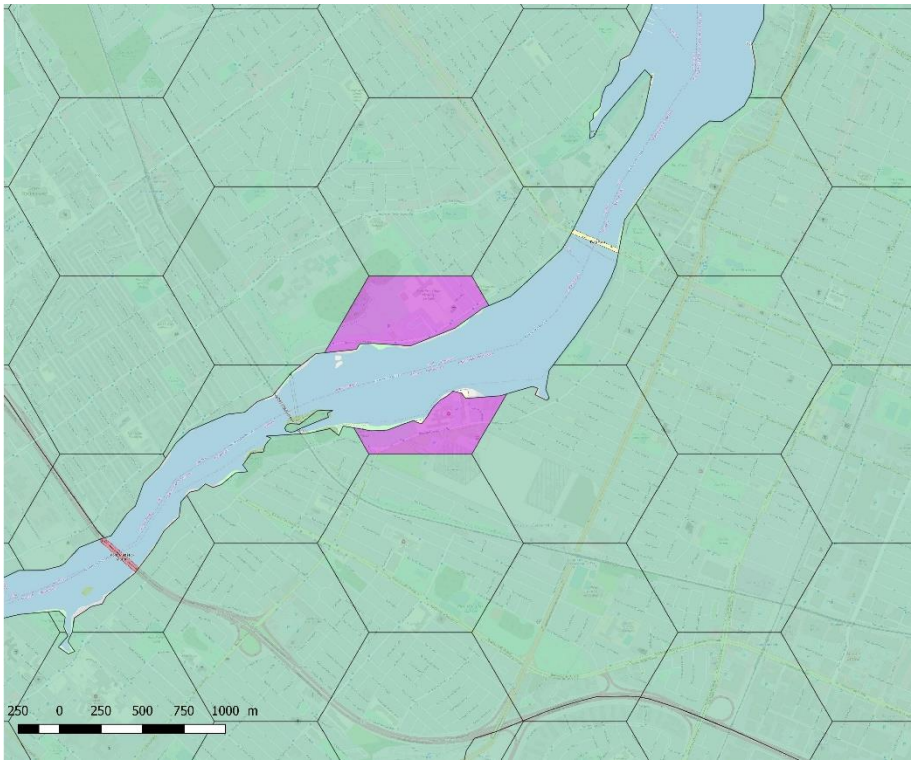


Figure 4-4 : Dimensions de chaque hexagone

Il est également important de noter que la valeur X est calculée automatiquement en fonction de la valeur en Y choisie, puisque les hexagones formés par l'application ont toujours des angles de 120°. De plus, les unités sont établies selon le système de coordonnées du projet. Le système employé est NAD83 MTM zone 8 (EPSG :2950) et permet d'utiliser des dimensions métriques.

Le découpage des SM transparait encore dans le découpage des hexagones, mais ne sépare pas l'information en deux zones différentes. Autrement dit, lorsqu'un hexagone est localisé sur la frontière entre deux SM, l'information des deux sous-sections hexagonales est combinée afin de reformer l'information en un seul hexagone de 1 km^2. L'objectif de conserver une sous-couche, soit le découpage des SM, est de permettre une éventuelle combinaison en SM, si le besoin se présente. Par exemple, la considération d'une sous-division pourrait être pertinente pour traiter les hexagones qui sont divisés par une barrière géologique ou physique pour traiter les parties de façon distincte. Cet exemple est illustré à la figure suivante, en observant la zone 289418-5045108, localisée entre Laval, secteur Laval-des-Rapides et Montréal, secteur Ahuntsic. En effet, malgré qu'ils soient situés dans le même hexagone, ils sont séparés par la rivière des Prairies et aucun lien routier ou de transport collectif ne les joint.



Cet exemple appuie également le fait qu'une analyse de sensibilité est importante et non-négligeable pour vérifier la représentativité de cette méthode. Les hexagones proposent un découpage très fin et le positionnement de l'ensemble est réalisé de façon aléatoire. Pour mesure l'impact de la position absolue de ces zones, on peut reproduire la même analyse, mais en décalant les hexagones afin de vérifier si les résultats restent semblables à l'échelle macroscopique.

4.1.3 Localisation horaire des individus

Afin d'être en mesure de localiser les individus de l'Enquête Origine-Destination, une restructuration de la base de données est nécessaire. Normalement organisée en fonction des déplacements, elle doit désormais l'être en fonction des individus. Une matrice, nommée matrice de localisation, est donc créée. Elle liste donc les individus de l'Enquête OD, conserve les attributs liés à chacun d'entre eux, et attribue un champ pour sa localisation et ce, à chaque heure de la journée. Cette matrice permet donc d'offrir le profil de la localisation pour les plus de 188000 individus de l'échantillon de l'Enquête OD.

Puisqu'aucune affectation au réseau n'est réalisée, on considère un temps de déplacement nul, pour tous les modes. Ainsi, lorsqu'un déplacement est déclaré dans une heure de la journée, on considère que l'individu effectuant ce déplacement se retrouvera au point de destination du déplacement au

cours de cette heure et y restera jusqu'à l'heure du départ du prochain déplacement, ou jusqu'à la fin de la journée si aucun autre déplacement n'est déclaré. Autrement dit, on considère des déplacements instantanés.

Le schéma organisationnel suivant résume la logique derrière l'attribution de la localisation des individus dans la matrice de localisation. Cette logique est traduite en algorithme permettant de former une base de données pour chaque individu.

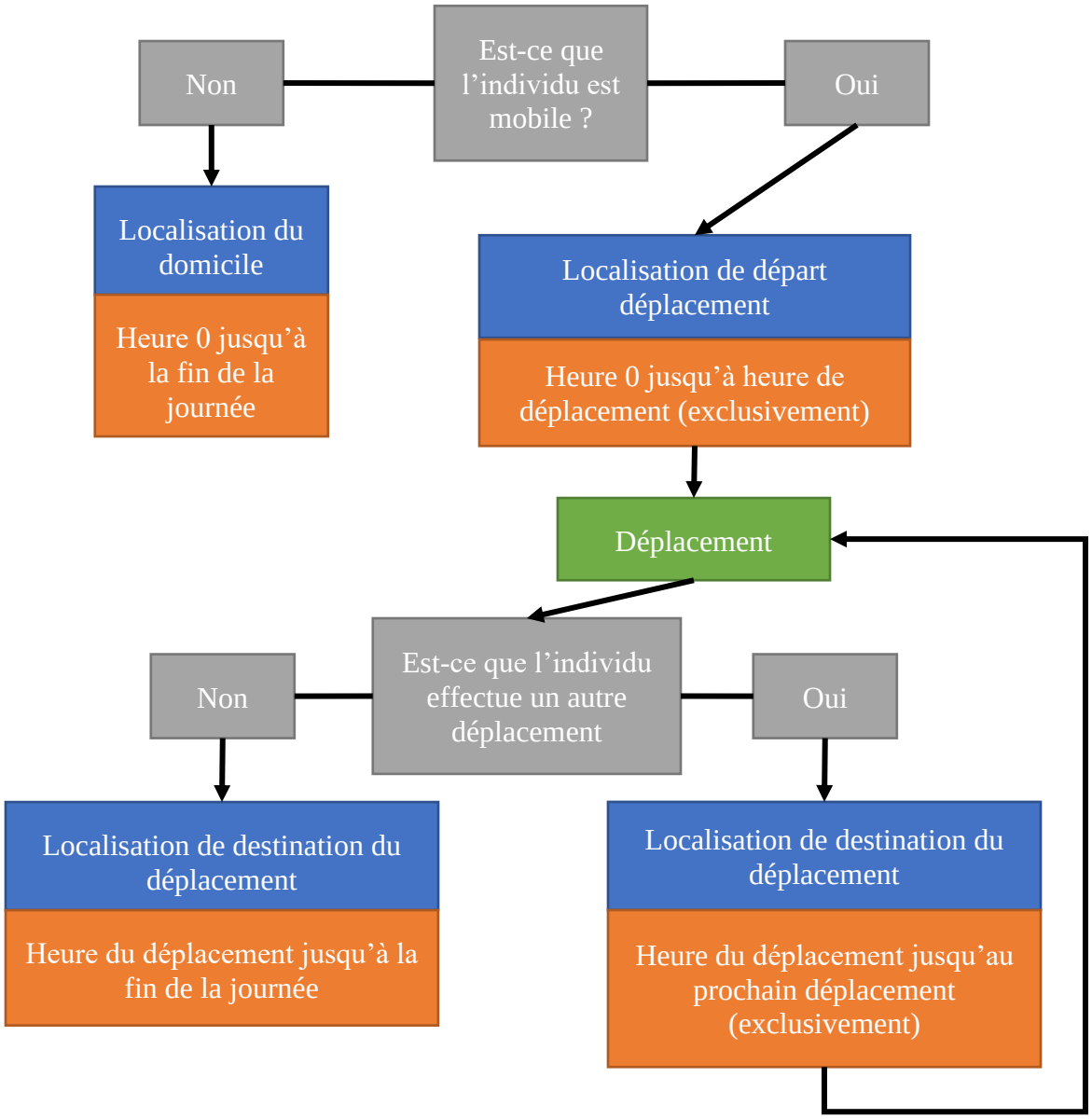


Figure 4-5 - Schéma organisationnel de l'algorithme de formation de la matrice de localisation

Les coordonnées géographiques données par l'Enquête Origine-Destination attribuée à chaque heure pour chaque individu sont ainsi incluses dans la matrice de localisation.

Chaque individu est par la suite localisé dans les secteurs géographiques mentionnés précédemment. Pour y arriver, un croisement entre les points géographiques et les zones est réalisé avec le logiciel QGIS afin d'attribuer la zone où l'individu se trouve à chaque heure pour effectuer des calculs agrégés sous cette dimension, plutôt que d'utiliser les coordonnées géographiques désagrégées.

Avec ces modifications d'échelle, il est donc possible d'analyser la composition de population de chaque zone. Une comptabilisation du nombre d'individus est effectuée en sommant leur facteur de pondération respectif par secteur et à chaque heure. La carte suivante présente les secteurs où une population non-nulle est présente pour une durée minimum de 5h durant la journée.

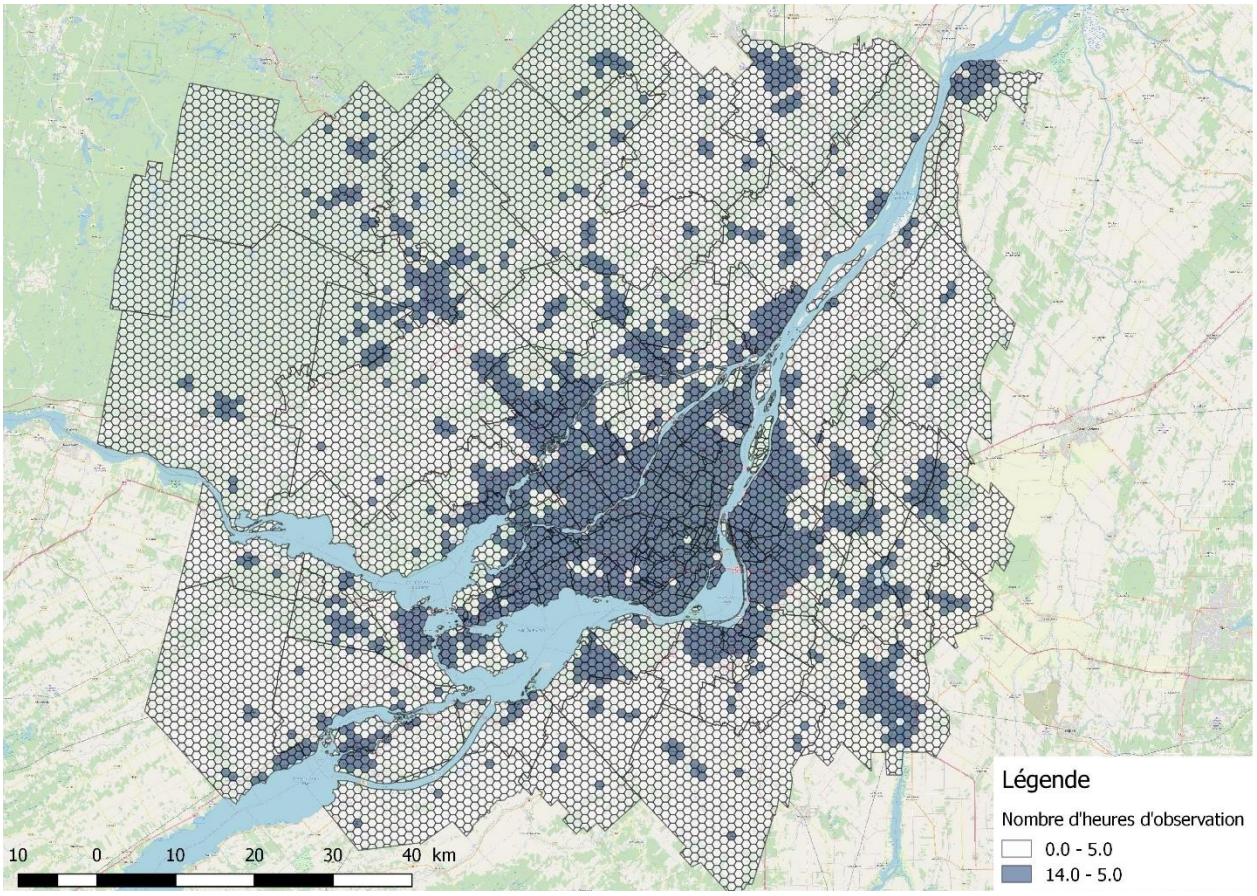


Figure 4-6 : Secteurs répondant aux critères de seuil minimal

On peut donc s'apercevoir du gain de précision dans la localisation des individus avec le grillage hexagonal, ce que la grande taille des SM ne permettait pas de voir. Un seuil minimal de 20 observations non pondérées par zone pour une durée de 5 h minimum est néanmoins considéré afin d'assurer la validité des résultats en éliminant les secteurs dont la population présente est trop faible.

4.1.4 Mesure de la composition sociale

En connaissant quels individus sont présents dans quels secteurs à chaque heure de la journée, il est possible d'estimer une mesure de la mixité sociale pour ces secteurs, heure par heure. Pour y arriver, il faut calculer les proportions de chaque groupe social présent dans chaque secteur, selon l'équation suivante :

$$\pi_m = \frac{\sum p_m}{\sum p_M}$$

Où π_m présente la proportion du groupe m présent dans cette zone, p_m, le nombre de personnes appartenant au groupe m et p_M, le nombre total de personnes présentes de tous les groupes dans la zone.

Dans le cas présent, l'indice d'interaction *(Simpsons' Interaction Index* (Lieberson, 1969; White, 1986)) est choisi. On conserve dans la présente étude le nom d'indice d'interaction pour conserver l'esprit donné par l'auteur de l'indice. Néanmoins, il a été montré dans la revue de littérature que l'exposition sociale n'est pas nécessairement synonyme d'interaction entre les individus. Il faut donc utiliser l'indice comme une mesure de l'exposition sociale et non d'interaction directement, malgré le nom donné par l'auteur de l'équation.

L'équation est la suivante :

$$I = \sum_{m=1}^{M} \pi_m (1 - \pi_m)$$

Où I est l'indice d'interaction; m, l'un des groupes sociaux possibles et π_m, la proportion du groupe m présent dans cette zone. Elle permet d'offrir une valeur sur l'échelle de 0 à 1, où 0 équivaut à une population homogène, c'est-à-dire où un seul groupe social est représenté, alors qu'une valeur

de 1 représente une population complètement hétérogène, soit un cas où tous les groupes seraient présents au sein du secteur de façon complètement équivalente.

Cette équation est ainsi appliquée sur tous les secteurs, à chaque heure, pour connaître le niveau de mixité sociale à tout moment. On obtient de cette façon une matrice de la composition des secteurs exposant la valeur de l'indice d'interaction pour chaque secteur, pour chaque heure.

4.1.5 Variation de la composition des secteurs

Pour étudier la variation de la composition des secteurs, la mesure du coefficient de variation est employée, selon l'équation suivante :

$$Coefficient\ de\ variation = \frac{écart - type}{moyenne}$$

L'écart-type et la moyenne sont mesurés par zone géographique, sur l'ensemble des valeurs horaires de l'indice d'interaction. Avec ce calcul, on peut vérifier l'amplitude de la variation de la composition, tout en prenant en compte la valeur moyenne. Un secteur où la moyenne est élevée et un écart-type faible, par exemple, aura une valeur du coefficient d'interaction inférieure à un secteur où l'écart-type est le même, mais dont la moyenne est plus faible, puisqu'une mince variation sur ce dernier aura un impact plus important sur sa composition.

4.1.6 Variation de l'exposition grâce aux déplacements

D'un point de vue plus individuel, il est possible de vérifier si un individu fait face à un contexte social plus ou moins diversifié. Pour y arriver, la mesure du coefficient de variation est également utilisée, mais dans le cas présent, les indices d'interaction considérés dans le calcul sont plutôt ceux des secteurs où l'individu en question se retrouve pour cette heure. En connaissant les caractéristiques sociales de l'individu, il est alors possible de croiser ces informations pour catégoriser le profil d'exposition en fonction des groupes sociaux.

4.1.7 Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité est réalisée en comparant les résultats globaux pour l'ensemble de la région montréalaise obtenus grâce à un décalage du découpage des zones. Puisque les zones hexagonales sont créées selon un positionnement aléatoire, le découpage peut affecter les résultats obtenus.

Les grands indicateurs utilisés sont les suivants :

- Moyenne générale de l'indice d'interaction moyen de chaque secteur pour chaque attribut social
- Moyenne générale du coefficient de variation de l'indice d'interaction de chaque secteur pour chaque caractéristique sociale.

4.2 Résultats et analyse

4.2.1 Composition des secteurs

La composition des secteurs peut être observée en représentant graphiquement l'indice d'interaction d'un secteur, en fonction de l'heure du jour, de 0h à 28h (soit 3h le lendemain). Puisque l'Enquête OD est formée de façon à représenter une journée allant de 0h jusqu'à 3h le lendemain, afin de tenir compte des retours au domicile plus tardifs, on conserve ce format de journée de 28h. De cette façon, il est possible d'observer les phénomènes particuliers de ces secteurs et les comparer avec le niveau des résidants. En effet, dans la présente section, on considère le « niveau statique » comme étant le niveau de l'indice d'interaction de la population résidant dans le secteur. Cette population est observable dans l'analyse dynamique par le niveau dynamique de nuit, près de l'heure 28.

4.2.1.1 Composition statique des secteurs

Tout d'abord, on peut analyser la population statiquement. Pour y arriver, la carte du niveau d'interaction nocturne (à 28h) de chaque secteur est produite, pour chacun des quatre attributs sociaux, pour représenter ce niveau statique. La composition est donc présentée en se concentrant sur les îles de Montréal et de Laval ainsi que sur les villes à proximité, afin d'avoir une visualisation plus précise pour ces secteurs plus denses.

4.2.1.1.1 Revenu

Le premier caractère étudié est le revenu, montré sur la carte suivante.

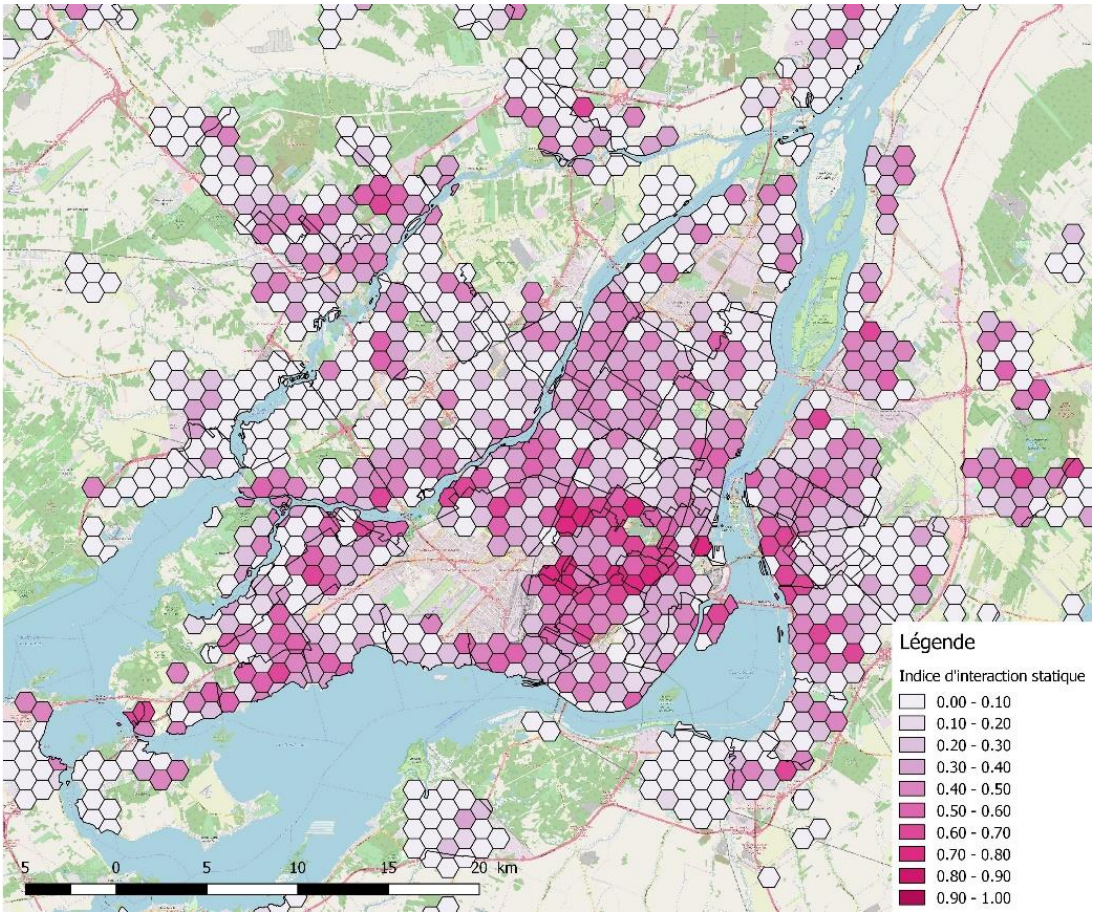


Figure 4-7 : Niveau de diversité au centre de la région montréalaise - revenu

Cette carte permet de voir que certains quartiers de Montréal ont un niveau d'interaction élevé, donc un niveau de mixité lié au revenu élevé. Parmi les plus élevés, on retrouve notamment les quartiers plus aisés, notamment Outremont, Notre-Dame-de-Grâce et Westmount. Ces quartiers sont composés de gens avec des revenus plus élevés, mais également avec des revenus plus faibles, notamment par la présence de bâtiments résidentiels contenant des ménages ayant un plus faible revenu que les autres résidences. D'autres quartiers sont intéressants à analyser, notamment les banlieues environnantes, où le niveau de mixité est plus faible. Ces quartiers sont généralement occupés par des résidences unifamiliales destinées à des tranches de la population ayant des revenus semblables. Ce faisant, certains groupes de revenus sont peu ou pas représentés dans la population résidente de ces quartiers, notamment les tranches les plus faibles ou les plus élevées. Ce phénomène, bien que généralisé dans les banlieues, semble être également présent dans les quartiers centraux de Montréal, tels que le Plateau-Mont-Royal et Rosemont, où le niveau de diversité de revenus moyens de la population résidente est très faible.

4.2.1.1.2 Âge

La figure suivante présente le niveau d'interaction de la population résidente liée à l'âge.

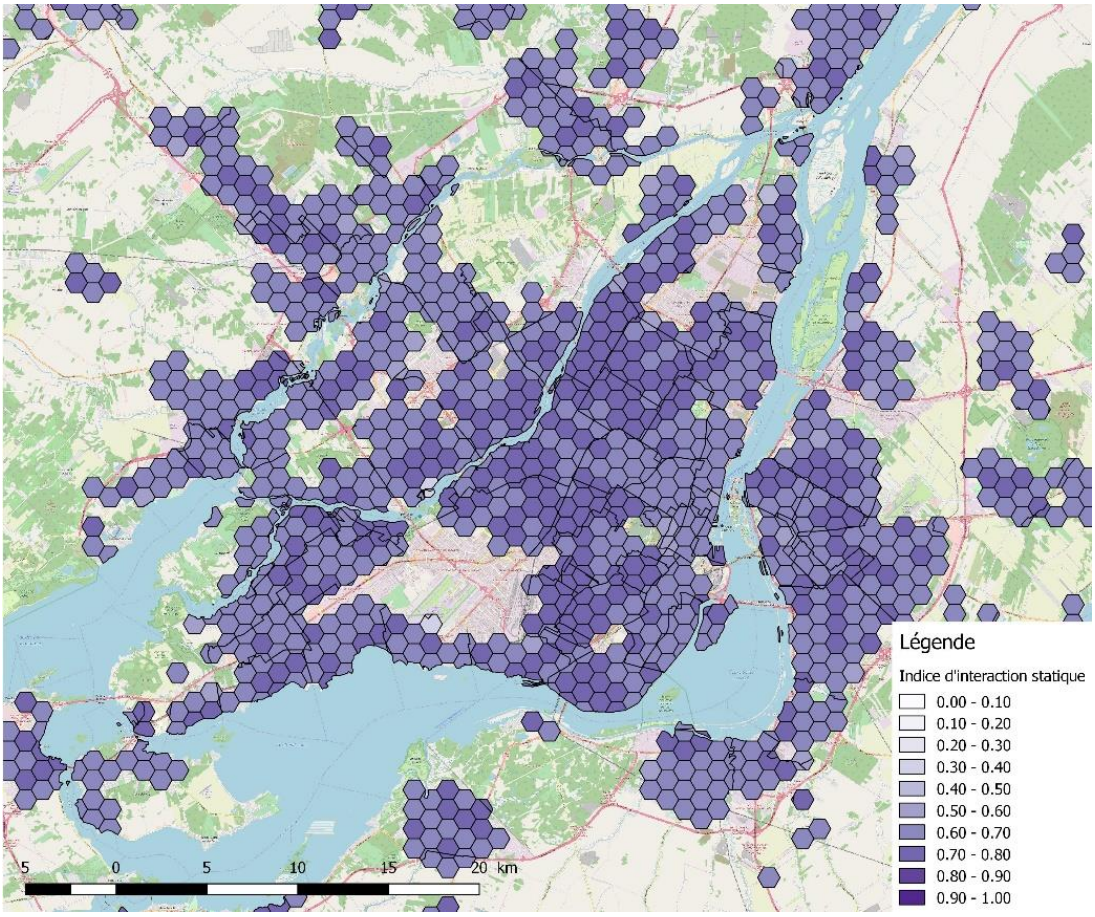


Figure 4-8 : Niveau de diversité au centre de la région montréalaise - âge

De façon générale, les groupes d'âge semblent être bien distribués dans la population, même à une petite échelle. Les foyers sont généralement composés de groupes d'âge différents, dont le meilleur exemple est la famille nucléaire, composée d'adultes accompagnés d'enfants, donc deux groupes d'âges représentés au sein du même domicile. De plus, le niveau d'interaction est élevé en raison du faible nombre de catégories d'âge.

4.2.1.1.3 Statut

Pour le statut, le constat est relativement semblable, tel que le montre la figure suivante.

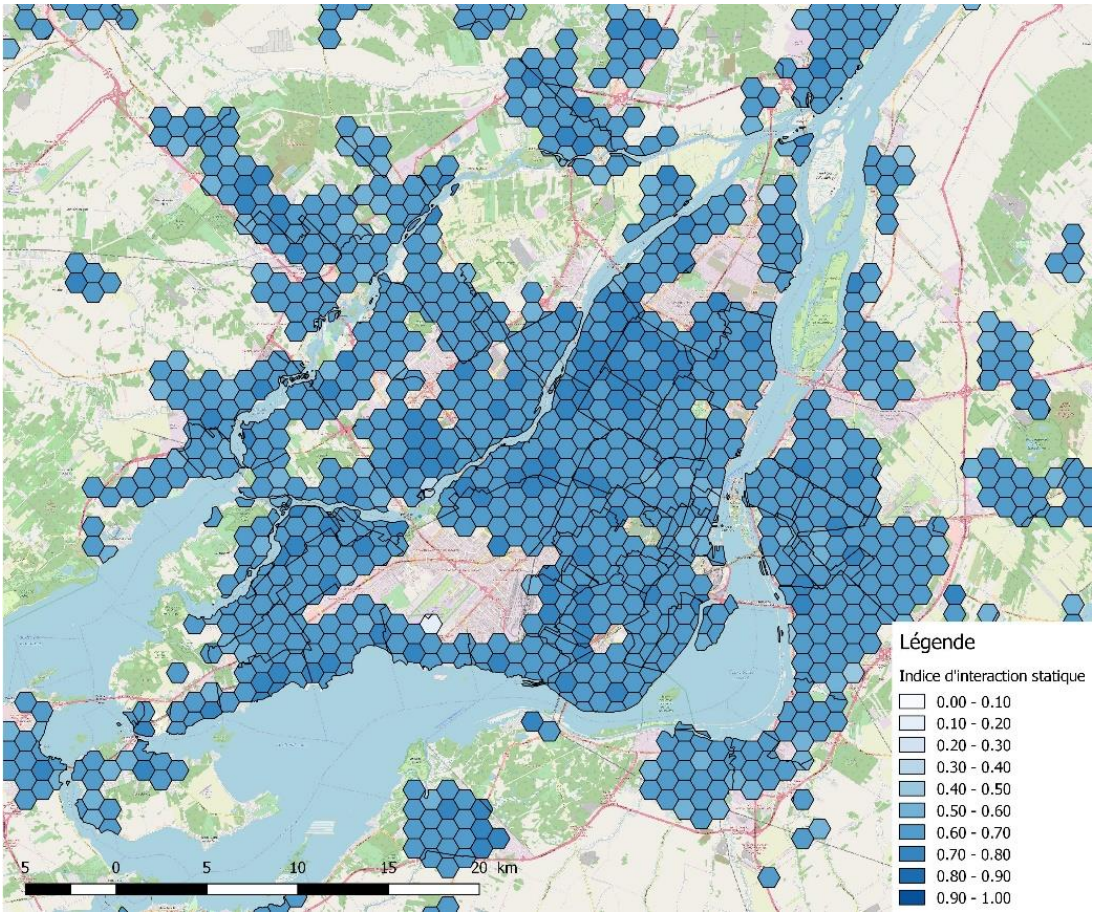


Figure 4-9 : Niveau de diversité au centre de la région montréalaise - statut

Encore une fois, les travailleurs peuvent souvent côtoyer les étudiants ou les retraités au sein d'un même secteur ou même d'un domicile. Ces caractéristiques sont en effet souvent liées, sans toutefois être le cas à tout coup, à l'âge de l'individu : les enfants et jeunes sont généralement étudiants, les adultes, travailleurs et les personnes âgées, retraitées. Le niveau d'interaction est donc élevé et relativement semblable dans la majorité des secteurs.

4.2.1.1.4 Minorité visible

La représentation de l'indice d'interaction relatif aux minorités visibles est intéressante en raison de zones clairement distinctes.

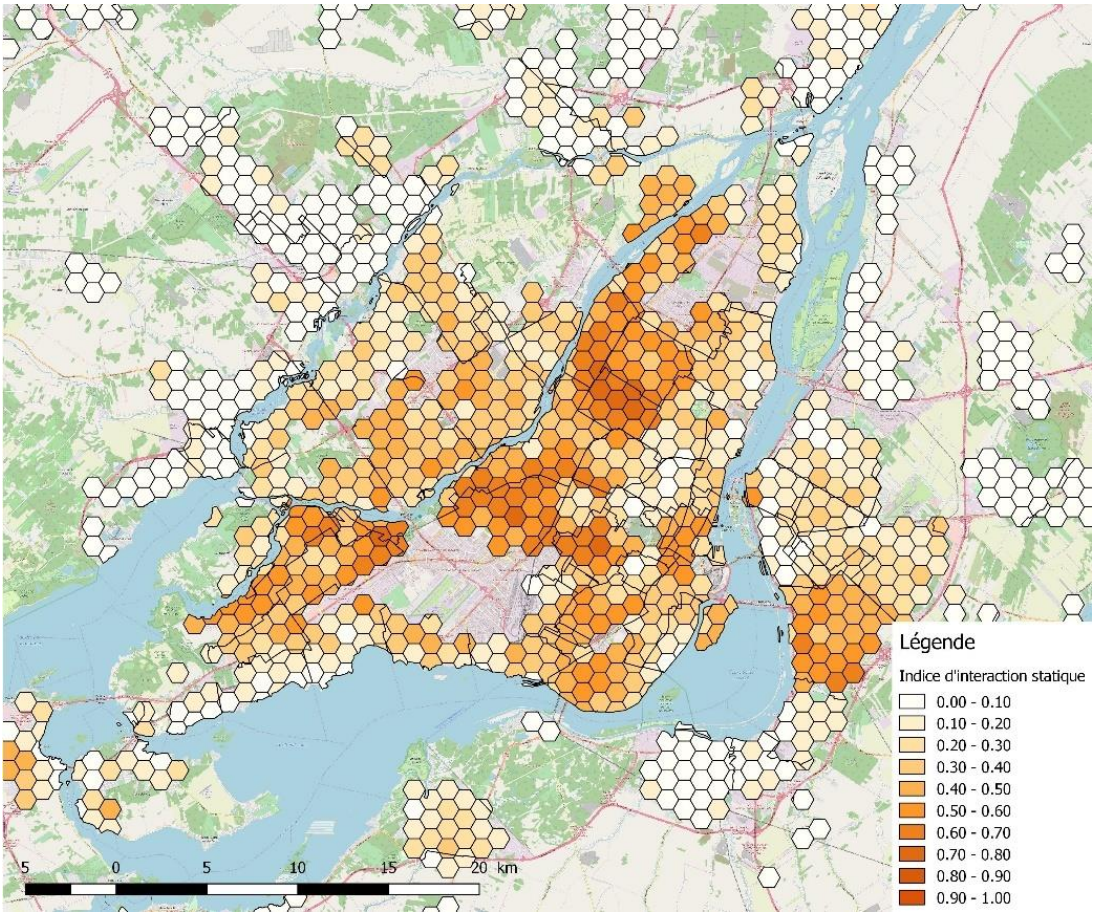


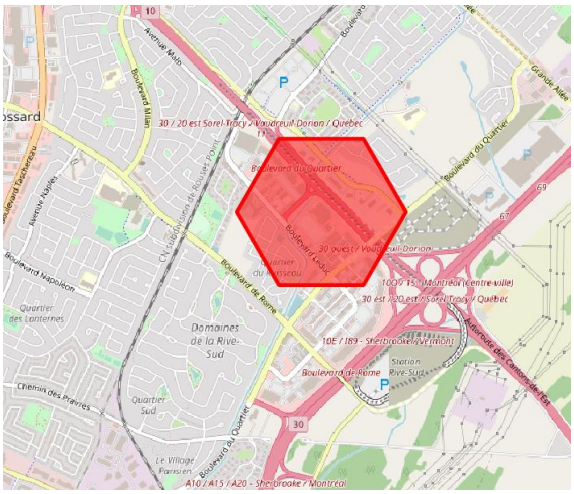
Figure 4-10 : Niveau de diversité au centre de la région montréalaise – minorité visible

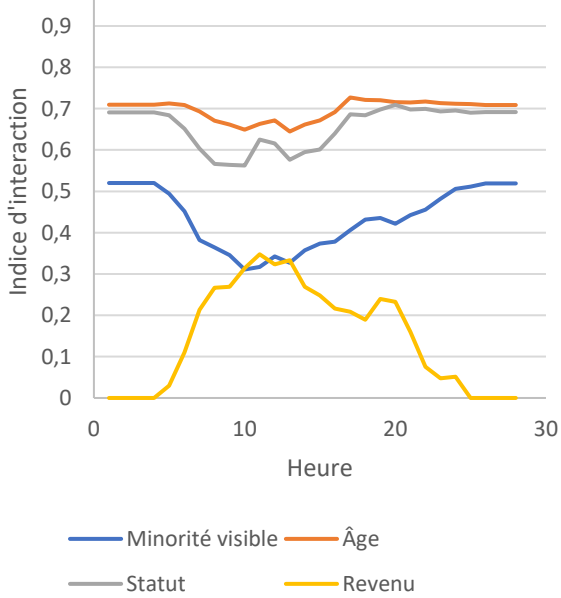
Contrairement au revenu, les zones où le niveau de mixité est le plus élevé sont plus agrégées dans les mêmes secteurs. Par exemple, les secteurs au nord-est de la ville de Montréal ainsi qu'à l'Ouest regroupent plusieurs hexagones dont le niveau de mixité des résidents est élevé. Cette agrégation est également observable sur la Rive-Sud de Montréal, à Brossard. Au sein de ces quartiers, le potentiel d'exposition au domicile, donc avec son entourage résidentiel immédiat, est considérablement plus élevé. Dans plusieurs autres secteurs, dont les banlieues entourant Montréal, le niveau de mixité est beaucoup plus faible; plus la distance avec l'île de Montréal se fait grande, plus l'indice d'interaction statique semble faible. Ces secteurs sont donc composés par pratiquement un seul groupe, le plus présent, soit la population n'appartenant pas à une minorité visible. Néanmoins, tel qu'il sera démontré plus loin, cela ne signifie pas nécessairement que le potentiel d'exposition de ces individus est nul, puisque ceux-ci se déplacent au cours de leur journée, parfois dans des secteurs où le niveau de mixité est plus élevé.

4.2.1.2 Précision de l'évaluation dynamique

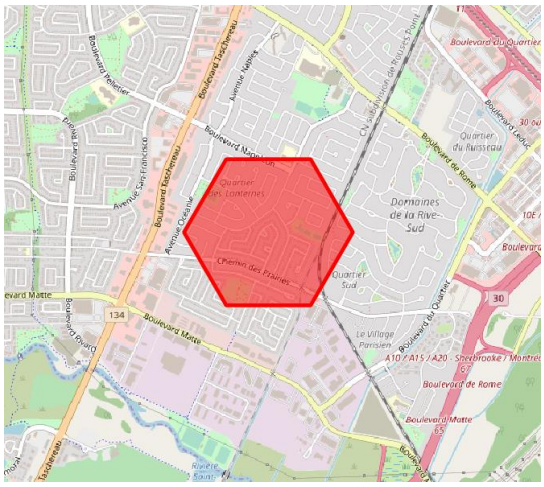
Pour arriver à évaluation de la variation de la composition sociale, il est possible d'observer, sous forme de graphique, la relation entre l'indice d'interaction et l'heure de la journée. Grâce à l'échelle précise d'un kilomètre carré, il devient possible de voir des micros phénomènes de mouvements sociaux.

307000-5034497 - Brossard 1





309000-5033342 – Brossard 2



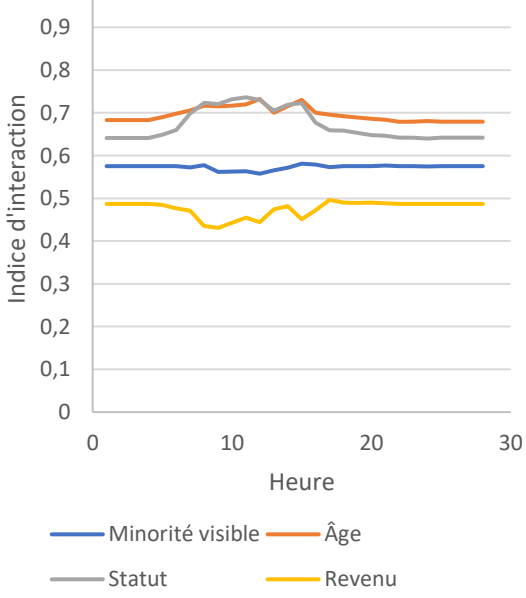


Figure 4-11 : Comparaison de la composition sociale de deux quartiers de Brossard

La figure précédente présente deux secteurs localisés géographiquement très près l'un de l'autre, étant d'ailleurs situés dans le même SM. Pour la plupart des attributs sociaux, les niveaux statiques, donc le niveau lors de la nuit, sont similaires, à l'exception du revenu. Toutefois, la composition précise de ces secteurs est très différente : Brossard 1 est principalement composé de commerces et entreprises, étant un lieu de magasinage, de loisir et de travail, alors que Brossard 2 est composé de résidences. Ce faisant, l'évaluation dynamique permet non seulement de voir que le secteur commercial entraîne une plus grande variation des variables du revenu et de l'appartenance à une minorité visible, mais également que ces secteurs, même s'ils sont localisés à proximité, ont des fluctuations différentes. Les niveaux de mixité de l'âge et du statut diminuent durant le jour dans le secteur commercial, alors qu'ils augmentent dans le secteur résidentiel. Cette constatation appuie donc la pertinence de réaliser une analyse non seulement dynamique, mais également plus fine géographiquement.

4.2.1.3 Analyse de secteurs clés

Pour montrer la présence de secteurs dynamiques, il est tout d'abord possible d'illustrer une carte de la région montréalaise pour chaque heure du jour pour tous les facteurs sociaux montrant la variation de l'index d'interaction pour les SM. Cette illustration est disponible en annexe 2. Même si elle est moins précise en raison de l'utilisation de grands secteurs, elle permet d'appuyer le constat relevé dans la littérature montrant que le profil de la population évolue au cours d'une journée grâce aux déplacements.

Certains secteurs sont néanmoins étudiés plus spécifiquement afin de montrer des portraits de secteurs clés ou des comportements qui sont répétés dans d'autres secteurs similaires par leur localisation, leur fonction ou la composition de leur population résidente. La présente section présente donc ces secteurs en montrant leur localisation et l'évolution horaire de l'indice d'interaction.

4.2.1.3.1 Centre- ville

Le centre-ville est évidemment un secteur important en raison non seulement de son importance économique pour la région montréalaise, mais surtout puisqu'il est un important générateur de déplacements, principalement à motif travail.

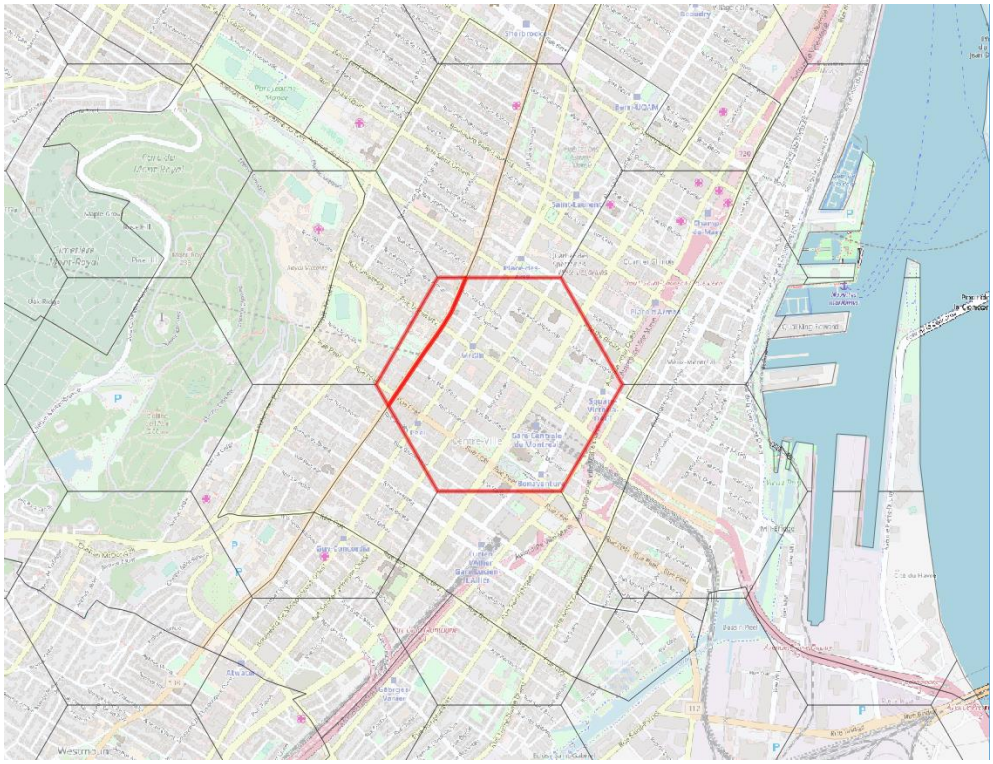


Figure 4-12 : Localisation du secteur centre-ville

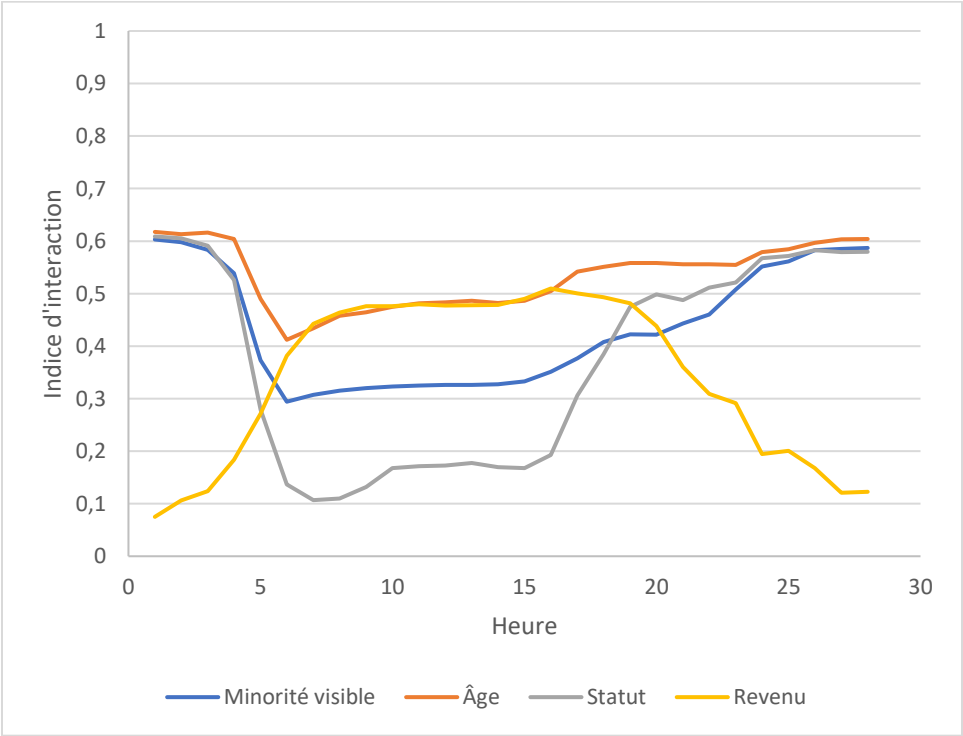


Figure 4-13 : Variation de la composition sociale du centre-ville

Plusieurs phénomènes sont intéressants dans ce secteur. Tout d'abord, pour l'âge et le statut, le niveau de mixité de la population résidente est relativement élevé, alors qu'il diminue pendant la journée. Il s'agit d'un phénomène attendu, particulièrement pour le statut, puisque le centre-ville attire une très grande quantité de travailleurs pendant la journée. Conséquemment, la proportion des individus ayant ce statut devient alors très élevée, comparativement aux autres statuts. Ce phénomène pourrait également expliquer la diminution de diversité en termes de minorités visibles, puisque les individus qui sont attirés vers le centre-ville sont d'une proportion importante n'appartenant pas à une minorité visible. Ceci fait donc diminuer l'indice d'interaction. Pour le revenu, le phénomène contraire se produit. Les résidents du centre-ville appartiennent à une faible diversité de catégories de revenu; résider au centre-ville n'étant accessible financièrement que pour une faible proportion de groupes de revenus, il est normal d'effectuer cette observation. Néanmoins, les individus qui s'y dirigent durant la journée proviennent de milieux très différents et les secteurs d'emplois présents au centre-ville offrent des rémunérations variables et appartenant à différents groupes de salaires, entrainant une diversité dans la population présente.

On observe également un plateau dans le début de la soirée (entre 18h et 24h environ), pour ce qui est du statut plus particulièrement. Le centre-ville étant également un lieu de magasinage et de loisir important, les individus appartenant à des groupes déjà représentés dans la population sont présents en début de soirée pour y réaliser des activités et diminuent le niveau de mixité, par une surreprésentation de certains groupes.

4.2.1.3.2 Quartier résidentiel, Laval

À l'inverse du centre-ville, la banlieue est intéressante à observer en raison de la diminution de ses activités et du départ massif d'individus durant la journée. Dans le cas présent, un secteur de Sainte-Rose (Laval) est étudié.

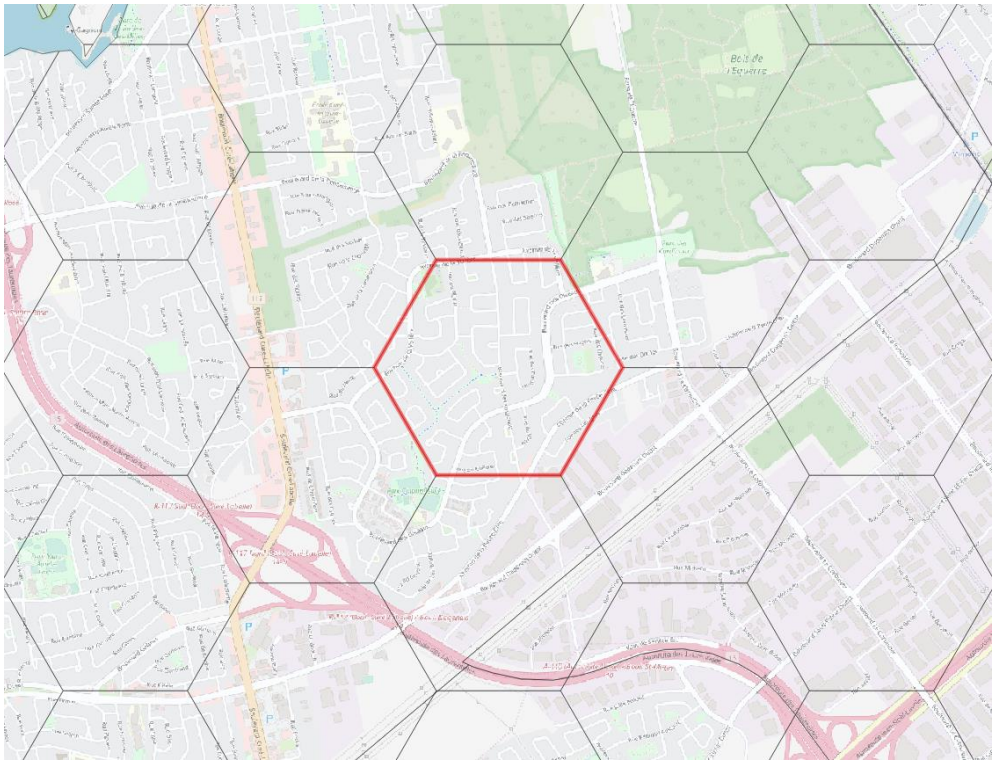


Figure 4-14 : Localisation du secteur de Sainte-Rose, Laval

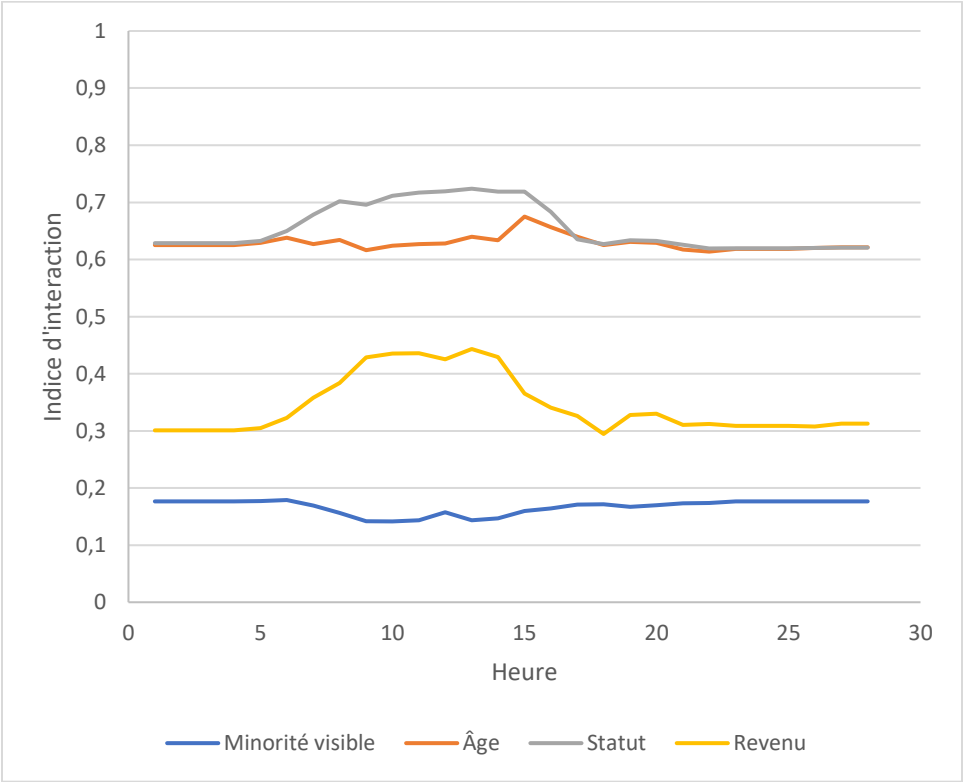


Figure 4-15 : Variation de la composition sociale du secteur de Sainte-Rose, Laval

Ce quartier montre un comportement récurrent des courbes d'évolution temporelle des caractéristiques sociales de la population. Bien que l'ensemble d'entre elles demeure très peu variable, une petite variation est observée durant la journée pour le revenu, l'âge et le statut. Pour les deux premiers, ils sont liés à la présence d'une population demeurant à la maison, mais pouvant appartenir tout de même à des groupes différents, comme des retraités et des travailleurs à domicile ou en congé. Pour ce qui est du revenu, la hausse de diversité peut être attribuable au départ des personnes appartenant plus particulièrement à un groupe, alors que la population vivant dans le secteur demeure diversifiée.

4.2.1.3.3 Cégep André Laurendeau

Le secteur entourant le cégep André-Laurendeau dans le quartier de LaSalle est également porteur de phénomènes de déplacement intéressants.

Figure 4-16 : Localisation du secteur entourant le cégep André-Laurendeau

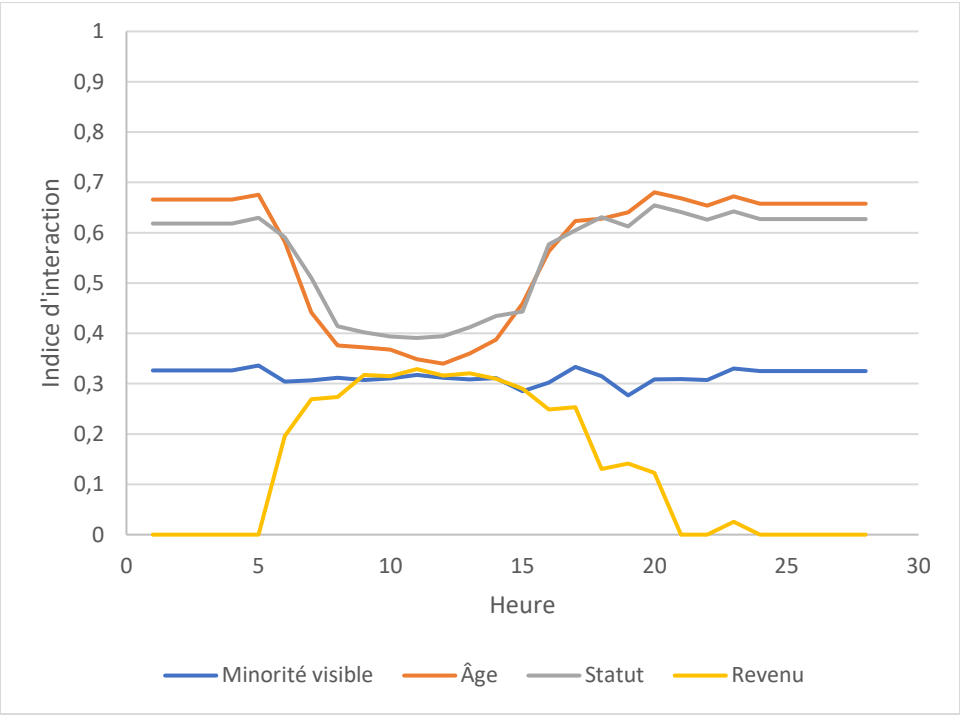


Figure 4-17 : Variation de la composition sociale du secteur entourant le cégep André-Laurendeau

Ce Cégep est un grand générateur de déplacements pour ce secteur, touchant également une partie du quartier résidentiel environnant et le parc Angrignon. De façon statique, le secteur offre un milieu purement homogène en termes de revenus. Durant la journée, avec la venue d'une grande quantité d'étudiants, la diversité des individus augmente. Pour l'âge et le statut, le cas contraire se produit en raison du profil similaire (jeunes et étudiants pour la grande majorité) de ces individus. La stabilité de la diversité des minorités visibles ne montre pas l'absence de diversité dans la population se dirigeant vers le secteur ou le quittant, mais plutôt un niveau de diversité semblable dans la population en mouvement à la population résidante. Il est également à noter que cette diversité n'est pas nécessairement liée à des individus appartenant aux mêmes groupes; un autre groupe pouvant être représenté davantage, mais il sera en équilibre avec la diminution de la proportion d'un autre groupe.

4.2.1.3.4 Montréal-Nord, près du cégep Marie-Victorin

Un autre cégep est également intéressant à observer en raison de sa localisation dans un secteur davantage mixte en termes de présence de minorités visibles. C'est pourquoi on s'intéresse au secteur entourant une portion du Cégep Marie-Victorin, au sein de l'arrondissement Montréal-Nord.

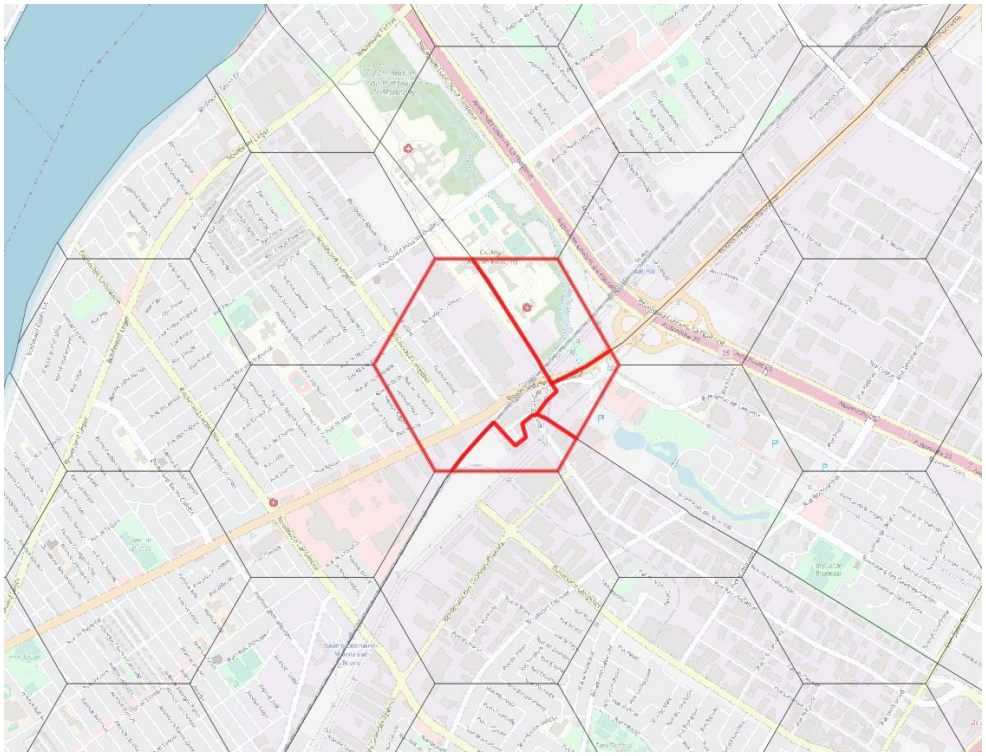


Figure 4-18 : Localisation du secteur de Montréal-Nord

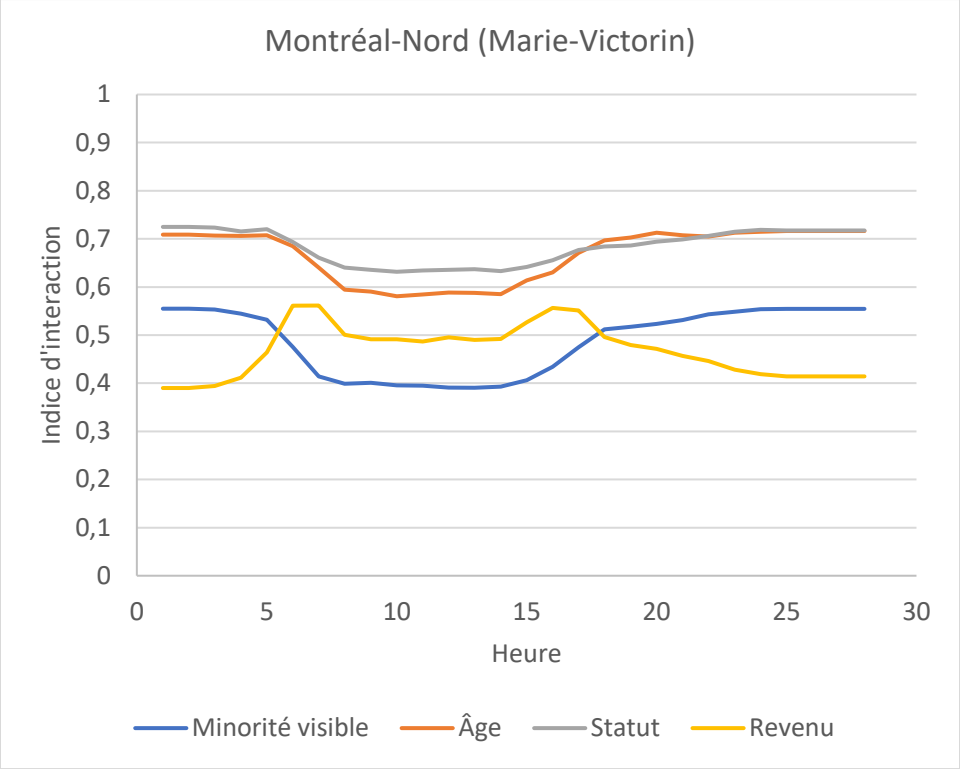


Figure 4-19 : Variation de la composition sociale du secteur de Montréal-Nord

Les mêmes phénomènes liés à la présence de l'établissement scolaire d'ordre postsecondaire dans le secteur sont observés, mais dans le cas présent, il y a une diminution de diversité relative aux minorités visibles. En effet, la population résidente de ce secteur détient un seuil relativement élevé lié à la diversité. Cependant, il semblerait que la population se destinant au secteur soit surtout associée au groupe n'appartenant pas à une minorité visible, ce qui a pour effet d'augmenter la proportion de ce groupe et ainsi diminuer l'indice d'interaction.

4.2.2 Variation de la composition des secteurs

Pour comprendre les phénomènes de variation de la composition sociale dans les secteurs, il est pertinent de faire état de ces variations locales à l'échelle globale et non en regardant uniquement des secteur-clés.

4.2.2.1 Comparaison des secteurs

Une comparaison des secteurs est donc réalisée par l'entremise d'un graphique illustrant le nombre de secteurs correspondant à chaque valeur du coefficient de variation, pour chaque variable sociale.

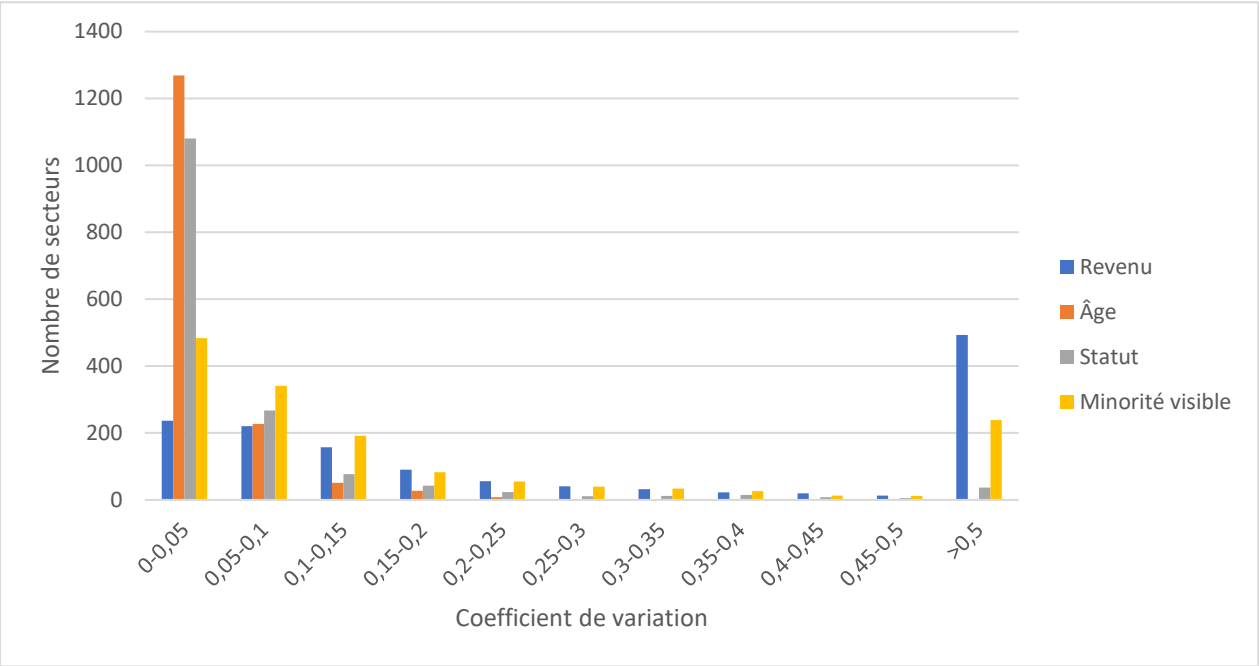


Figure 4-20 : Distribution des coefficients de variation des caractéristiques sociales pour l'ensemble des secteurs

À première vue, il est évident que l'âge est une variable qui demeure relativement stable au sein de tous les secteurs, avec près de 1300 secteurs sur tous les secteurs qui ont un coefficient de variation entre 0 et 0,05. Les déplacements des individus laissent une composition diversifiée des groupes d'âge dans l'ensemble des secteurs, puisqu'il a été montré plus tôt que la composition statique des secteurs est relativement élevée sur l'ensemble du territoire. En d'autres mots, les variations observables ne sont pas assez substantielles pour modifier considérablement la valeur initiale de l'indice d'interaction. Les groupes se déplacent donc de façon mixte, sans surreprésentation de certains d'entre eux. Le statut observe également une distribution semblable, avec une très grande proportion des secteurs localisés dans l'intervalle de valeurs entre 0 et 0,05. Ceci peut être expliqué par le fait que, comme mentionné précédemment, les groupes de statut et d'âge sont intimement liés par définition. Néanmoins, les secteurs sont distribués sur un plus grand éventail d'intervalles, certains secteurs ayant des valeurs de coefficient de variation supérieures à 0,5.

En ce qui concerne les minorités visibles, la variation est bien distribuée sur les différentes valeurs de coefficient de variation, avec même près de 10% des secteurs ayant un coefficient de variation

supérieur à 1. Ceux-ci sont néanmoins des secteurs ayant un niveau du coefficient d'interaction statique faible, donc il s'agit de manière absolue d'une faible variation.

Enfin, le revenu est la variable dans la distribution la plus étendue, avec environ 27% des secteurs ayant un coefficient de variation supérieur à 1 et 33% avec un coefficient entre 0 et 0,1. Il s'agit donc de plus de la moitié des secteurs se retrouvant aux extrémités des valeurs possibles. Ces résultats sont d'ailleurs intéressants, puisque cela signifie que la mixité des secteurs est souvent soit très peu variable, soit grandement variable. L'occupation de l'espace ainsi que les valeurs statiques du coefficient de variation peuvent jouer un rôle important dans ces résultats aux antipodes. Effectivement, puisque le coefficient de variation est basé sur la valeur moyenne du secteur, un faible écart-type peut avoir un effet important sur un secteur dont la moyenne est faible, alors qu'il n'a pratiquement aucun impact sur les secteurs où la moyenne est élevée, comme il est possible de voir avec le graphique suivant.

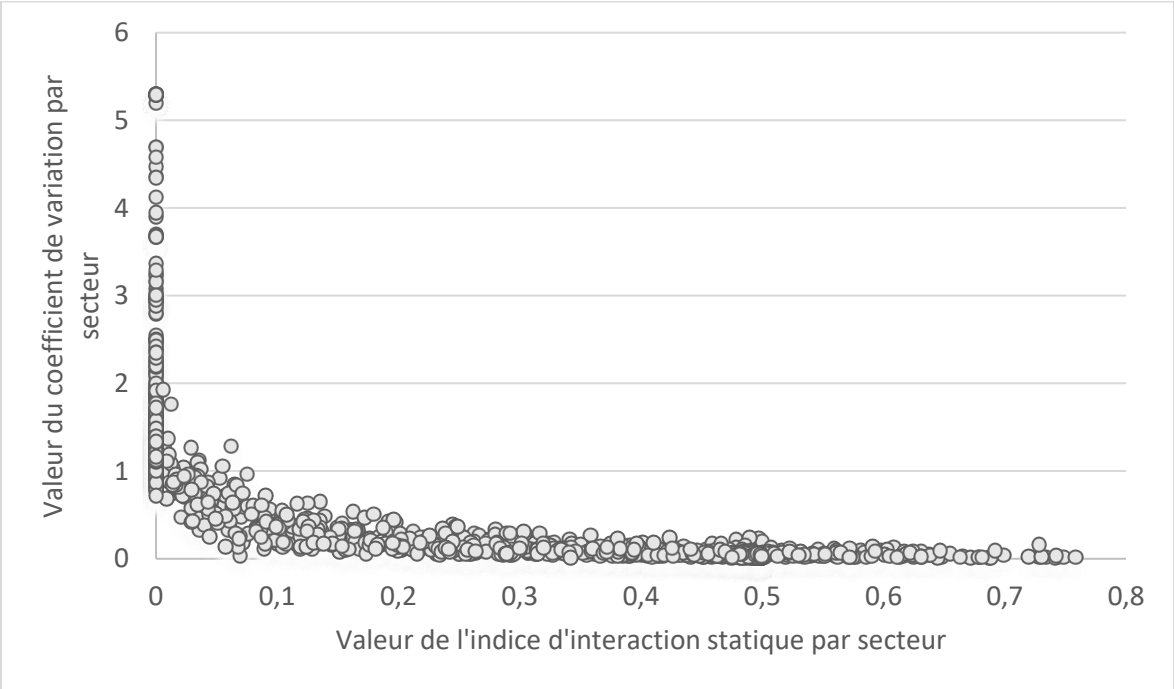


Figure 4-21 : Relation entre l'indice d'interaction statique et le coefficient de variation pour chaque secteur, en fonction du revenu

Ce graphique présente la relation entre la valeur statique de l'indice d'interaction et la valeur du coefficient de variation pour chaque secteur, selon l'analyse du revenu moyen. On peut, avec ce graphique, confirmé l'hypothèse avancée précédemment, que les coefficients de variation les plus

élevés se retrouvent dans les secteurs ayant un niveau statique plus faible, donc une plus faible variation a plus d'impact sur ceux-ci. Le même phénomène est observé l'analyse des trois autres composantes sociales, même si elles ne sont pas montrées ici sous forme de graphique.

4.2.2.2 Variation spatiale

Pour comprendre plus en profondeur les facteurs influençant la valeur attribuée au coefficient de variation des secteurs, il est à propos de s'intéresser à la distribution spatiale des secteurs en fonction de la valeur de leur coefficient de variation. Ceci permet également de brosser un portrait global et régional de la situation, sans qualifier chaque secteur individuellement, puisque plusieurs secteurs ont des comportements de variation de l'indice d'interaction semblables.

4.2.2.2.1 Basée sur le revenu

La première variation spatiale étudiée est celle liée au revenu, présentée à la figure suivante.

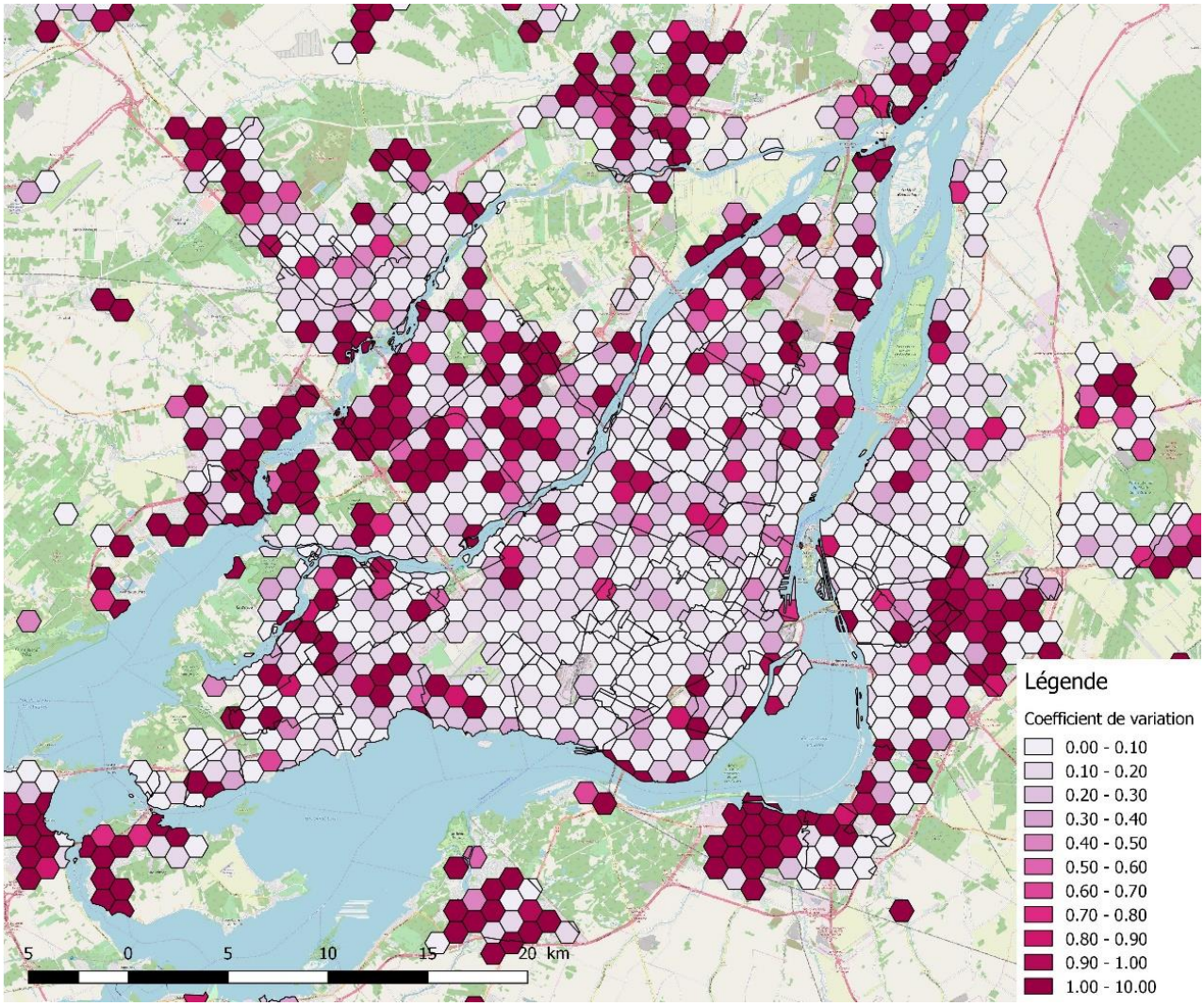


Figure 4-22 : Distribution spatiale des coefficients de variation liés au revenu

Plusieurs phénomènes se produisent avec cette variable sociale. Tout d'abord, les secteurs où la variation du revenu au cours d'une journée est la plus grande sont situés dans des secteurs caractérisés par une zone résidentielle prenant la forme de banlieue ainsi qu'une portion de zone commerciales, dont certaines villes de la Rive-Sud, comme Brossard ou Vaudreuil, certains quartiers de la Rive-Nord, comme certaines sections de Repentigny, ainsi que certains quartiers de Laval. Ces grandes variations sont également attribuées à certaines zones industrielles, sans que ce soit nécessairement le cas pour toutes. Ces quartiers ont la particularité d'avoir un faible niveau de mixité pour leur population résidente; une proportion importante de celle-ci quitte le secteur durant la journée, alors que la population présente durant la journée, venant aux différents lieux commerciaux ou d'emplois, est davantage diversifiée.

Néanmoins, cette caractéristique sociale a la particularité d'être considérablement variable d'un secteur à l'autre, même lorsqu'ils sont adjacents. Elle est donc très sensible aux faibles modifications de la composition sociale, dues aux activités offertes dans les secteurs et à la présence d'importants générateurs

4.2.2.2.2 Basée sur l'âge

L'analyse est également portée sur la distribution spatiale de l'âge.

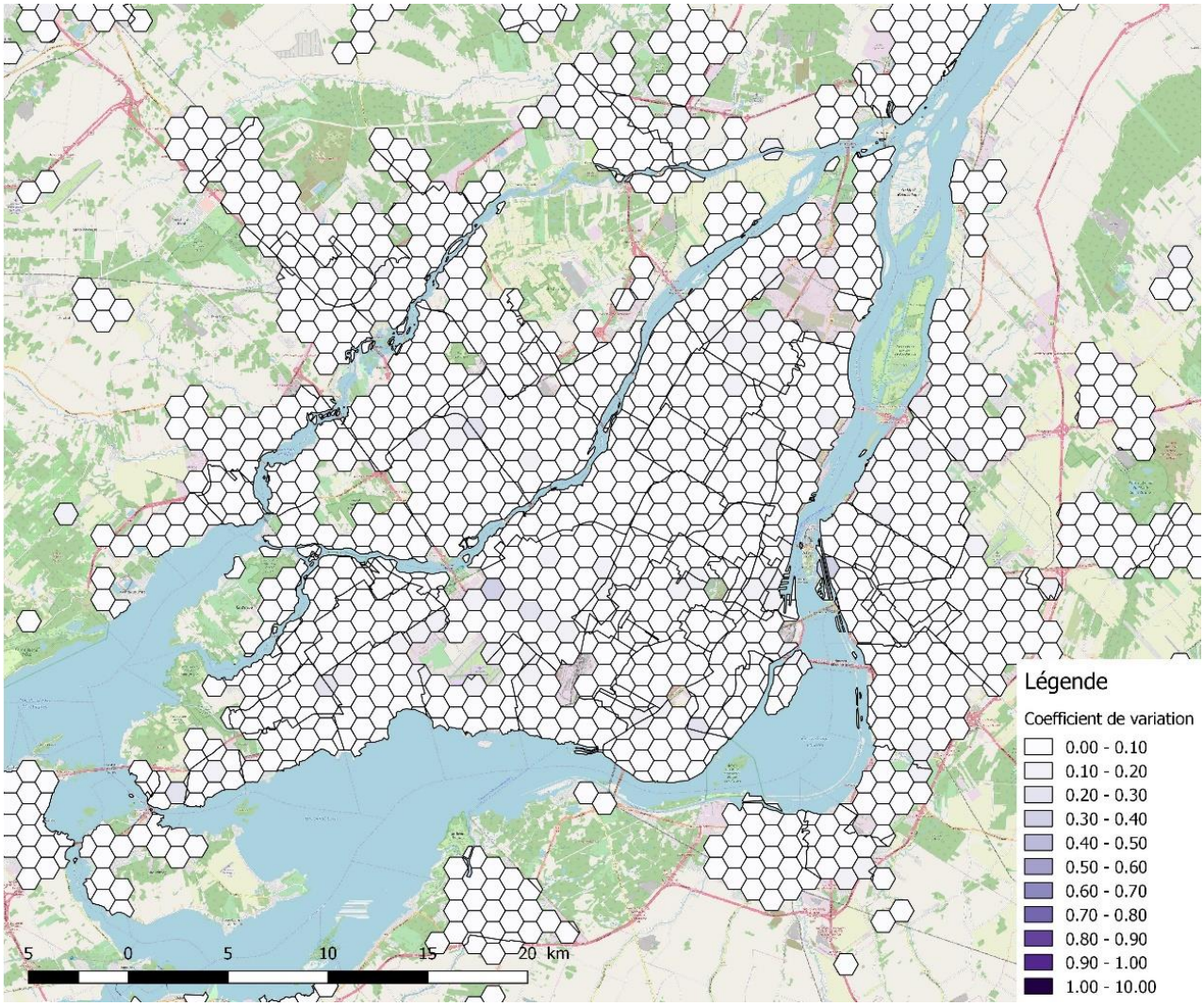


Figure 4-23 : Distribution spatiale des coefficients de variation liés à l'âge

Avec la figure précédente, il est possible de confirmer l'observation faite précédemment, soit qu'il existe peu de variation de l'indice d'interaction et ce, pour l'ensemble des secteurs. Si l'on se concentre sur les secteurs où le coefficient de variation est légèrement supérieur, il est possible de

s'apercevoir que cela coïncide avec la localisation de générateurs de déplacements concentrés pour certaines tranches de la population. Par exemple, le secteur où se trouve le cégep André-Laurendeau détient un coefficient de variation supérieur à la région puisqu'il attire une quantité importante de jeunes durant la journée, ce qui diminue considérablement l'indice d'interaction. Spatialement, la variation la plus grande se déroule donc dans des secteurs ayant ce type d'établissement, mais dont la population ne réside pas dans le même secteur, comme il est le cas pour les secteurs entourant des universités. Par exemple, l'Université de Montréal, présente une concentration importante de gens appartenant au même groupe d'âge durant la journée, mais la population vivant près de l'institution appartient également à ce groupe, alors la variation est faible durant la journée.

4.2.2.2.3 Basée sur le statut

Pour la variable du revenu, la variation spatiale présente des phénomènes clairement identifiables, tel que le montre la figue suivante.

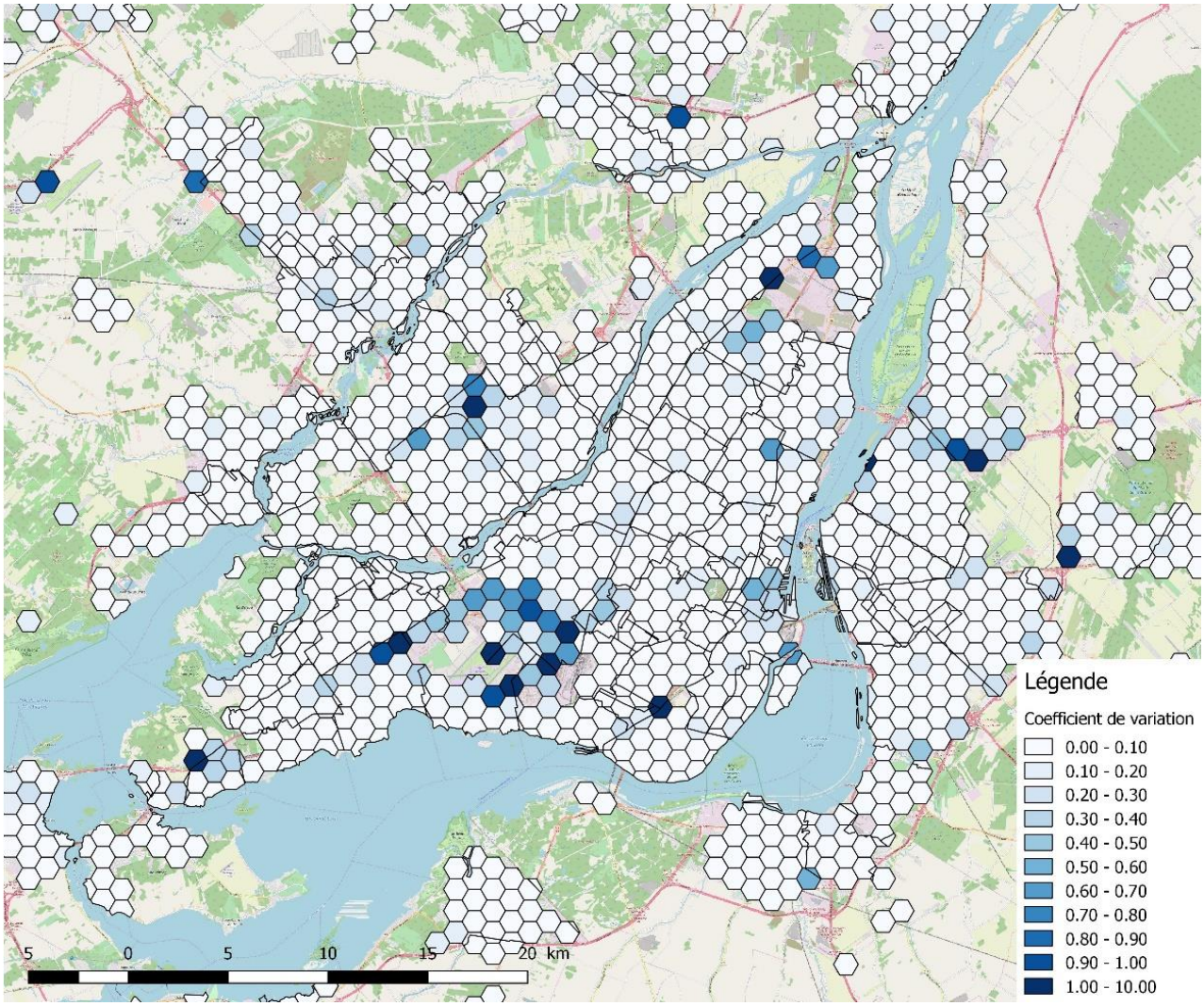


Figure 4-24 : Distribution spatiale des coefficients de variation liés au statut

Comme la variable de l'âge, le statut est généralement peu variable. Néanmoins, il est possible de voir que pour certains secteurs, la valeur du coefficient de variation est très élevée, dépassant même la valeur de 1. Ces secteurs sont localisés pour la plupart dans des quartiers industriels, notamment autour de l'aéroport, dans l'est de l'île de Montréal et près de l'autoroute 25 à Boucherville. Ces secteurs ont une faible densité de population résidente, ayant une diversité plus ou moins élevée. Durant la journée, la densité de population est considérablement plus élevée et cette population arrivante est composée presque exclusivement par des travailleurs, soit le groupe le plus représenté dans la population. Ainsi, la variation est directement liée à la concentration importante de travailleurs durant la journée.

Il est également intéressant de comparer la répartition de la variation dynamique au niveau statique, puisque ce dernier est relativement constant et élevé dans l'ensemble de la région, tout comme il l'est pour l'âge. Alors que l'âge détient un coefficient de variation relativement faible pour l'ensemble de la région, le statut présente plusieurs secteurs avec une variation majeure. Ce constat est possible grâce à l'analyse dynamique, combinée à une comparaison avec l'état statique.

4.2.2.2.4 Basée sur l'appartenance à une minorité visible

Le coefficient de variation touchant l'appartenance à une minorité visible est exposé à la figure ci-dessous.

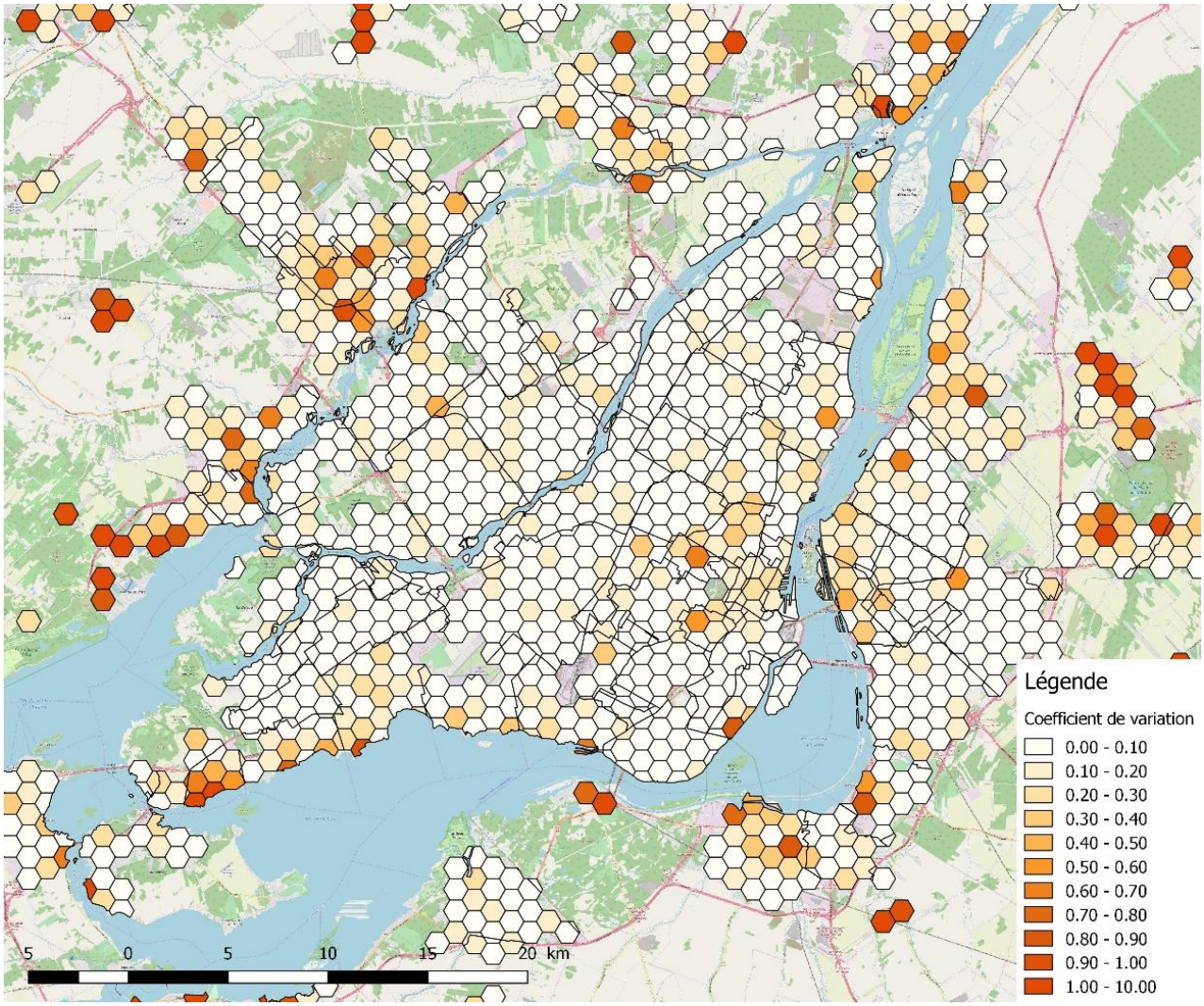


Figure 4-25 : Distribution spatiale des coefficients de variation liés à l'appartenance à une minorité visible

La carte présente de prime abord une variation plus faible dans le centre de la région et plus grand dans les secteurs plus éloignés du centre. Il s'agit en fait du contraire du comportement du niveau de l'indice d'interaction lors de l'analyse statique, où les secteurs avec une plus grande diversité se trouvent plus au centre de la région. Exception faite, les secteurs localisés au Plateau-Mont-Royal montraient dans l'analyse statique un plus faible niveau de diversité que les secteurs l'entourant et il en est de même avec le coefficient de variation : ces secteurs détiennent un coefficient de variation supérieur aux autres secteurs des quartiers centraux de Montréal.

Pour les secteurs en périphérie des îles de Montréal et Laval, soient les secteurs où la variation est la plus notable, ils correspondent également au niveau de diversité statique le plus faible. L'écart-type est donc relativement faible, mais en raison du faible niveau de diversité moyen, la variation est considérable. Ces secteurs sont également caractérisés par des zones résidentielles, sous la forme de banlieues. Les mouvements de population montrent donc que le départ de personnes appartenant au groupe principal du secteur à un moment de la journée, soit les individus n'appartenant pas à une minorité visible, entraîne une augmentation de la diversité de ces secteurs. Dans les quartiers attirant les employés, notamment le centre-ville, une diminution de la diversité est observée, sans nécessairement atteindre des valeurs de coefficient de variation tendant vers 1. Dans les secteurs plus ruraux, dont Mirabel est un exemple assez clair, la variation au sein de la journée est assez marquée, avec un coefficient de variation élevé, mais où le niveau statique est assez faible.

4.2.3 Gain d'exposition avec les déplacements

Avec ces résultats, on peut observer que les déplacements permettent d'être exposé à des populations différentes. En observant les déplacements directement, c'est-à-dire en visualisant si un individu se dirige vers un milieu avec une hétérogénéité différente du lieu d'origine, il devient alors possible d'obtenir un indice sur l'impact du déplacement sur la possibilité de s'exposer à des populations différentes. Pour le calculer, on utilise une différence absolue entre le lieu de départ du déplacement ainsi que le lieu d'arrivée.

Pour cette section, ainsi que pour la prochaine, la méthode est appliquée sur la caractéristique sociale du revenu puisque, comme il a été décrit précédemment, il s'agit de la caractéristique ayant une plus grande étendue de variation possible dans les secteurs. Néanmoins, la méthodologie

s'appliquerait également aux autres caractéristiques sociales, afin d'offrir un portrait plus complet des possibilités d'exposition aux groupes sociaux différents.

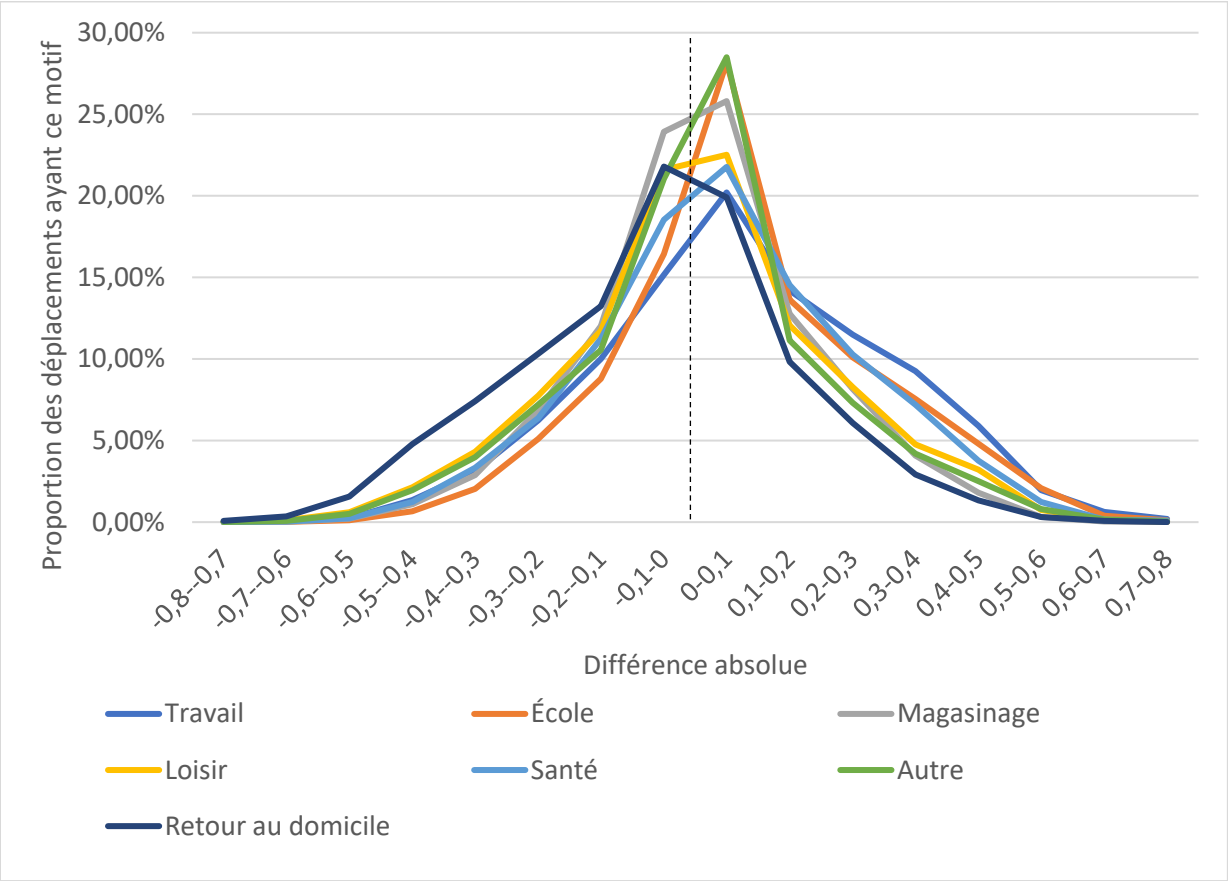


Figure 4-26 : Différence absolue de l'indice d'interaction avant et après un déplacement en fonction du motif

Le graphique précédent présente une distribution des différences absolues des milieux rencontrés avant et après les déplacements en fonction du motif de déplacement. On peut donc voir que le motif de déplacement du retour au domicile se démarque des autres motifs par le fait que la différence tend davantage vers des valeurs négatives. Ceci porte donc à croire que les individus, lorsqu'ils retournent dans leur quartier de résidence, observent une diminution dans leur exposition à une hétérogénéité sociale. Pour se rendre au travail, le phénomène contraire est observé, où l'on retrouve une augmentation de l'hétérogénéité. Ces résultats concordent avec les cartes précédemment présentées, où les lieux d'emplois présentent une forte diversité.

Il est également possible d'observer ces déplacements en fonction du mode de déplacement, tel que présenté à la figure suivante.

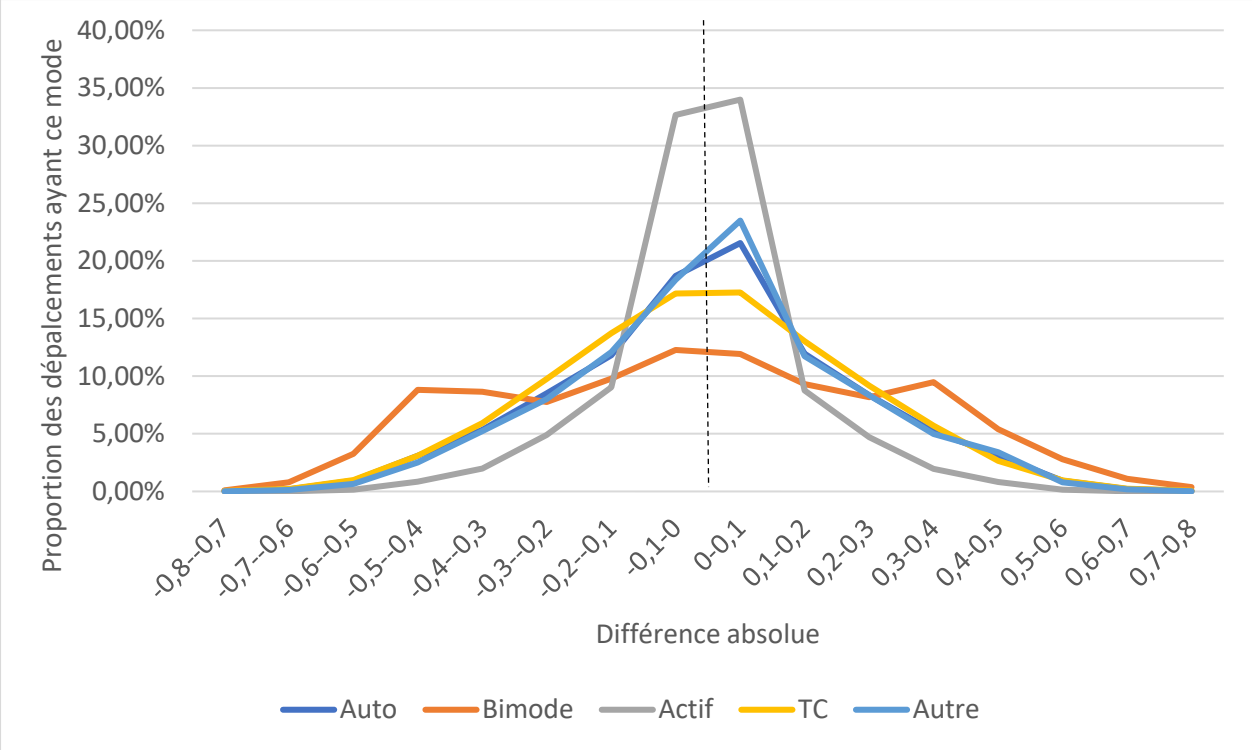


Figure 4-27 : Différence absolue de l'indice d'interaction avant et après un déplacement en fonction du mode

L'élément le plus évident de ce graphique réside dans la forte concentration près de zéro des déplacements réalisés par des modes actifs, soit la marche et le vélo. Ces modes sont utilisés pour réaliser des déplacements de courte distance, ainsi la différence entre les secteurs adjacents est faible. Des déplacements sont également réalisés au sein même du secteur. Pour les déplacements bimodaux, la tendance contraire est observée; ce type de déplacement est d'ailleurs réalisé sur de plus longues distances que pour plusieurs autres modes. La faible variabilité de l'indice d'interaction tient donc davantage de la distance à parcourir que de l'utilisation du mode.

Pour le transport en commun, soit le mode d'intérêt dans le cas présent, on observe une courbe équilibrée et aussi bien répartie entre les différences absolues positives et négatives. L'utilisation de ce mode n'apporte pas de changement significatif quant à la différence entre les indices d'interaction avant et après un déplacement, comparativement aux autres modes.

4.2.4 Opportunités d'exposition grâce aux déplacements

Cette section permet de pousser l'analyse plus loin en comparant la population mobile et la population non-mobile. En effet, la population non-mobile, donc celle qui demeure au lieu de domicile pour l'ensemble de la journée, peut être tout de même exposée à une population différente des résidents, en raison, justement, de la composition dynamique de la population et des populations changeantes aux endroits où les individus non-mobiles se situent.

Le tableau suivant présente une comparaison des moyennes atteintes par chacun des groupes. Ils sont également comparés à la moyenne de l'indice d'interaction du lieu de résidence de la population à l'échelle montréalaise. On chiffre donc cette moyenne montréalaise à 0,24 pour l'indice d'interaction rencontré au domicile. Cette valeur est posée comme étant le seuil à franchir au sein d'une journée standard pour un individu afin de considérer qu'il a été exposé à une population plus hétérogène que la moyenne.

Tableau 4-1 : Comparaison de l'exposition sociale de la population mobile et non-mobile

Population	Mobile	Non-Mobile
Maximum moyen atteint	0,41	0,32
Différence moyenne entre le maximum atteint et le lieu de résidence	0,20	0,09
Proportion dépassant le niveau moyen montréalais au domicile	47,42 %	47,78%
Proportion dépassant le niveau moyen montréalais avec le niveau maximal atteint durant la journée	85,81 %	65,15%
Proportion des individus vivant dans un milieu sous la moyenne montréalaise et la dépassant durant la journée	74,51%	33,52%

Avec ce tableau, il est possible de statuer que la population mobile peut atteindre des niveaux d'exposition sociale différents grâce aux déplacements. Tout d'abord, seulement en observant le niveau d'hétérogénéité maximum atteint au sein d'une journée, il est possible de voir que la valeur est plus élevée pour les individus effectuant des déplacements que pour les individus demeurant au domicile. Il en va de même pour la différence moyenne entre le niveau au domicile et le maximum atteint au cours d'une journée.

La figure suivante permet de tracer la distribution des deux types d'individus en fonction du niveau maximum atteint quotidiennement ainsi que le minimum, afin de mettre en lumière ces valeurs moyennes.

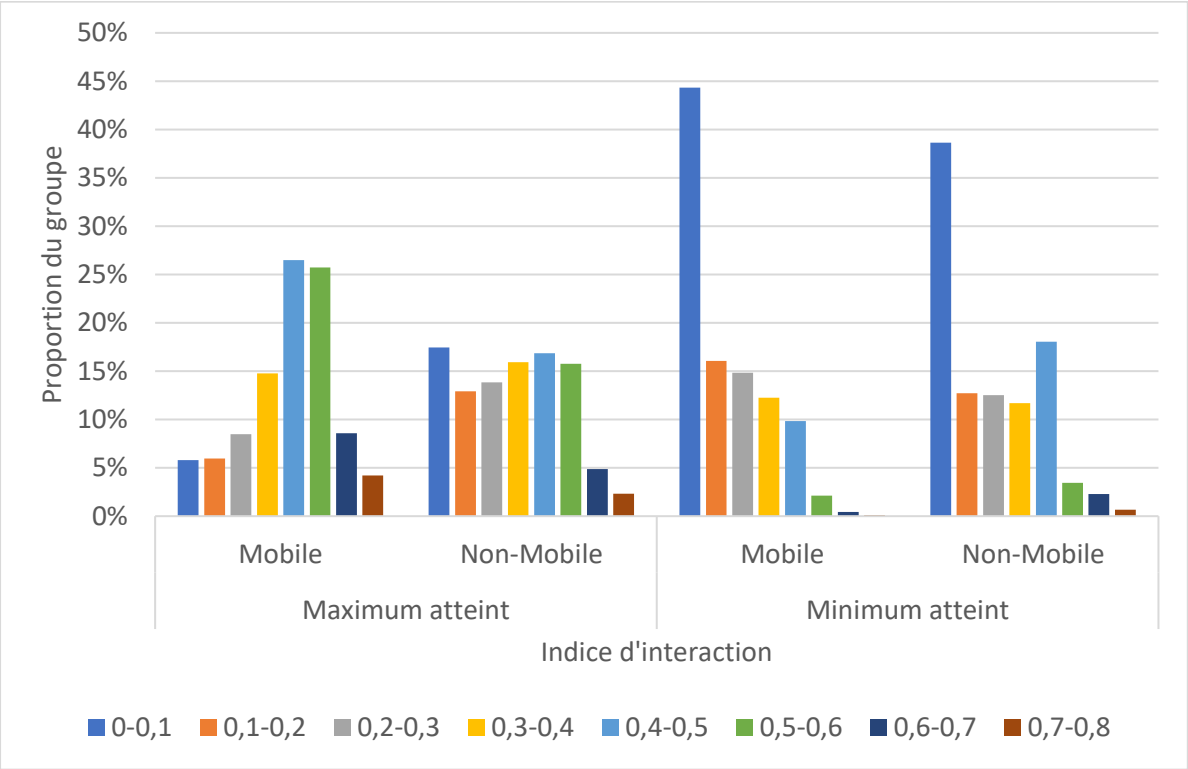


Figure 4-28 : Indice d'interaction maximum et minimum atteint au cours d'une journée pour les personnes mobiles ou non-mobiles

Il devient alors possible de comprendre que la population mobile atteint des valeurs maximales se localisant principalement entre 0,4 et 0,6, soit environ le double de la valeur moyenne rencontrée au domicile. Pour la population mobile, ce maximum est réparti presque uniformément entre 0 et 0,6. Pour ce qui est du minimum, bien que plusieurs individus se retrouvent à un moment de la journée dans une population complètement homogène à 0 ou près de 0, la constance entre le maximum et le minimum est davantage observée pour la population non-mobile, ce qui est normal parce que le contexte social change rarement du tout au tout lorsqu'aucun déplacement n'est effectué.

Il est également possible d'effectuer une comparaison entre le niveau au domicile et le niveau maximal atteint, tel que montré au dernier tableau de cette section et détaillé à la figure suivante.

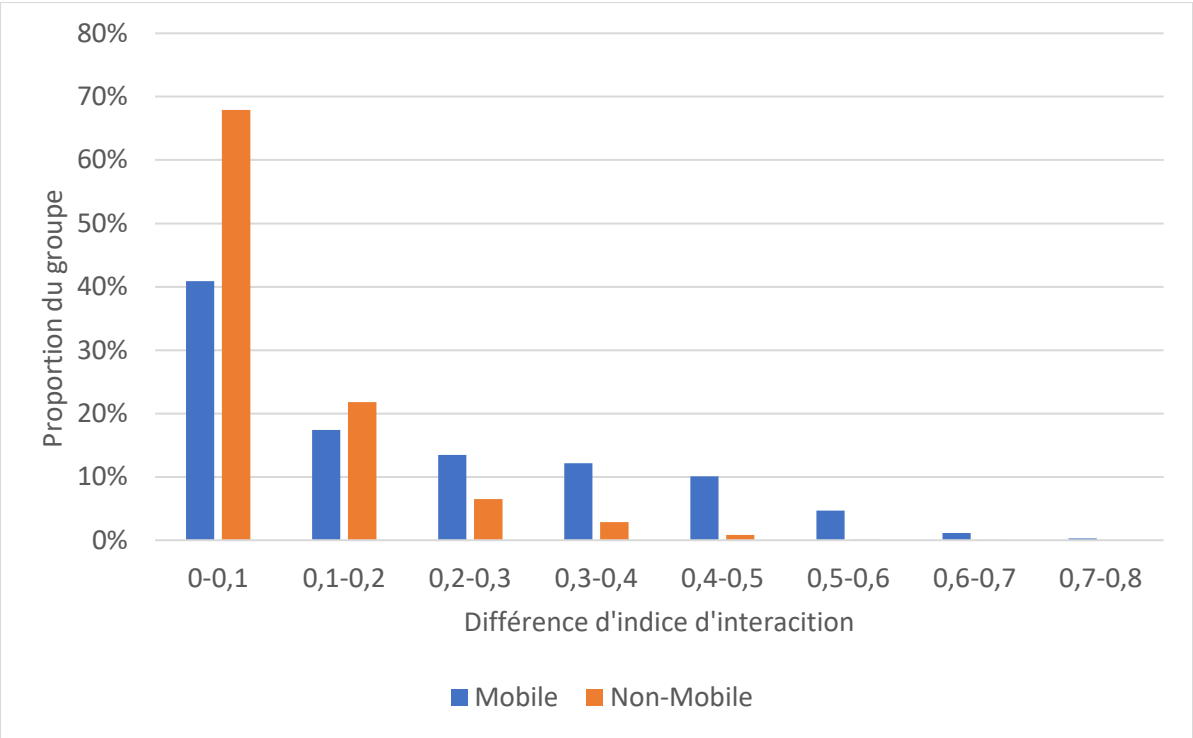


Figure 4-29 : Différence d'indice d'interaction du lieu de résidence et maximum atteint au cours d'une journée pour les personnes mobiles ou non-mobiles

La différence d'indice d'interaction entre le domicile et le maximum de la journée est davantage variable pour la population mobile, alors que pour la population non-mobile, cet indice est davantage constant, avec près de 65% des valeurs de différence se longeant entre 0 et 0,1.

La comparaison avec le niveau moyen de la région montréalaise permet également d'établir des constats intéressants. Ces résultats sont montrés au tableau 3-1. Le premier constat porte sur le niveau moyen au domicile qui est sensiblement le même pour les deux types d'individus puisque les deux groupes sont bien répartis dans l'ensemble de la région. Effectivement, il aurait été possible de croire que les individus mobiles sont situés dans des localités plus éloignées avec une composition plus uniforme, mais ceux-ci sont bien distribués dans des milieux avec des niveaux de mixité différents, tel que montré à la figure 4-29 avec le niveau maximum atteint pour la population non-mobile. Un deuxième constat marquant peut être effectué en se penchant sur les individus dépassant le niveau moyen de la région, avec une proportion de 85,81% d'individus mobiles dépassant ce seuil à un moment de la journée, contrairement à 65,15% pour les individus non-mobiles, soit une différence notable de 20% de chaque groupe.

Un troisième et dernier constat peut être fait en considérant spécifiquement les individus mobiles ou non-mobiles qui résident dans un milieu ayant une diversité sous le seuil de 0.24, en vérifiant la proportion d'eux qui atteignent un niveau supérieur durant la journée. La différence est considérable entre les individus mobiles et non-mobiles, avec respectivement 74,51% contre seulement 33,52%. Il s'agit donc seulement du tiers des individus non-mobiles qui, grâce à la mobilité des individus autour d'eux, sont en contact avec un milieu hétérogène. Les individus mobiles ont quant à eux une exposition largement facilitée grâce à leurs propres déplacements. Ceci confirme finalement que la mobilité permet d'améliorer le potentiel d'exposition sociale.

4.3 Perspectives

Cette section détaille les méthodes d'application possibles de cette étude à des scénarios de transport collectif en plus d'explorer les améliorations possibles à la représentativité de l'étude.

4.3.1 Application à des scénarios de développement du transport collectif

L'étude permet d'obtenir un portrait du potentiel d'exposition sociale des résidents de la région de Montréal. Dans le contexte où l'objectif principal est de développer des indicateurs applicables à des scénarios de développement ou d'amélioration du transport en commun, il importe de traduire ces résultats en une mesure claire.

Ce faisant, la mesure proposée correspond au gain d'indice d'interaction, traduit en une différence absolue entre le lieu de domicile et le lieu de destination du déplacement nécessitant l'utilisation du scénario de développement de transport en commun. Une autre option pourrait également être de vérifier si le scénario permet de franchir un seuil minimal d'exposition sociale pour les individus utilisant le service de transport en commun en question. En utilisant cette mesure, il devient alors possible de vérifier si le projet de développement de transport collectif devient une partie prenante qui contribue à permettre aux individus, grâce aux déplacements, d'atteindre des contextes sociaux non seulement différents, mais qui ont une mixité supérieure à celle de leur domicile.

4.3.2 Développements possibles

Certains développements sont importants à réaliser pour améliorer la qualité de l'étude. En premier lieu, le fait que l'étude portant sur l'exposition sociale liée à l'utilisation du transport en commun ne tient compte que des contextes avant et après les déplacements, sans tenir compte du temps

passé dans les véhicules. Tel que discuté dans la revue de littérature, il a été montré que certains modes, dont le transport en commun, permettent une exposition sociale supérieure. Ce faisant, la considération de ce moment du déplacement est cruciale. Pour y arriver, il serait possible avec la plateforme Transition d'établir le profil social des utilisateurs de lignes de transport en commun, à certains moments de la journée et d'ainsi tracer un profil de la composition sociale en utilisant un indicateur comme l'indice d'interaction.

En second lieu, la combinaison des caractéristiques sociales, afin de réaliser une étude combinée, serait considérablement plus précise. Effectivement, dans le cas présent, les caractéristiques sociales ont toutes été considérées séparément les unes des autres. Néanmoins, les individus portent toutes ces caractéristiques à la fois. Pour combiner les caractéristiques, il serait possible d'établir des personas, représentant des tranches de la société ayant des caractéristiques données. Par exemple, il serait possible comparer l'exposition d'individus n'appartenant pas à une minorité visible, d'âge avancé et ayant un revenu dans la tranche supérieure à d'autres groupes appartenant à une minorité visible et ayant un revenu faible.

En dernier lieu, il serait pertinent de poursuivre les recherches afin d'établir quel serait le réel seuil minimal d'exposition auquel un individu devrait être confronté au cours d'une journée. En combinant cette perspective ainsi que la précédente, le portrait d'exposition sociale s'en verrait amélioré considérablement.

CHAPITRE 5 MESURER L'ACTIVITÉ PHYSIQUE LIÉE À L'UTILISATION DU TRANSPORT EN COMMUN

Au cours de ce chapitre, l'indicateur traitant de l'activité physique réalisée à l'aide du transport en commun est développé. Tout d'abord, la méthodologie est expliquée. Par la suite, on décrit le niveau d'activité physique réalisé par les utilisateurs du transport en commun de la région de Montréal, suivi par une exploration du potentiel de réalisation d'activité physique par les non-utilisateurs du transport. Enfin, une mise en application est exposée sur un transfert actif.

5.1 Méthodologie

La présente section comporte une description exhaustive de la méthodologie employée pour effectuer l'analyse du niveau d'activité physique des déplacements liés à l'utilisation du transport en commun.

5.1.1 Niveaux d'application

Pour comprendre l'influence de chaque facteur mentionné dans la littérature ayant un impact sur l'intensité de l'activité physique, on explore 12 niveaux de précision différents, en considérant à chaque fois une combinaison de facteurs d'influence sur l'intensité. On y considère les facteurs suivants : temps de marche de plus de 10 minutes, présence d'une pente, port d'une charge, dépense énergétique durant la portion du trajet en véhicule, distance de marche pour les transferts et distance dans les stations. L'objectif de ces 12 niveaux est d'explorer quel serait le meilleur compromis entre la représentativité de l'activité physique réellement effectuée et la précision de l'évaluation. Il est à noter que les niveaux ne sont pas linéairement plus précis; ils sont numérotés pour des fins d'organisation, mais un niveau supérieur n'inclut pas nécessairement une amélioration de la précision. Le tableau suivant présente ces différents niveaux.

Niveau	Considération d'un temps de marche de plus de 10 min	Considération de la pente	Considération d'un port de charge	Considération de la dépense durant le déplacement en véhicule	Considération des distances dans les stations de métro et de train	Considération des distances pour les transferts
1	Non	Non	Non	Non	Non	Non
2	Non	Oui	Non	Non	Non	Non
3	Oui	Non	Non	Non	Non	Non
4	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non
5	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non
6	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Non
7	Non	Oui	Non	Non	Non	Oui
8	Oui	Oui	Non	Non	Non	Oui
9	Non	Oui	Non	Non	Oui	Non
10	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Non
11	Non	Oui	Non	Non	Oui	Oui
12	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui

Tableau 5-1 : Description des niveaux d'analyse du niveau d'activité physique

Parmi ces niveaux, seul le facteur de la dépense énergétique de la portion du déplacement en véhicule ne peut être compris dans le bilan quotidien d'activité physique puisque le niveau d'intensité durant cette portion du trajet est trop faible. En effet, selon le Compendium, le nombre de METs horaire associé au fait d'être passager d'un véhicule de transport en commun est de 1,3 (code d'activité 16016), soit très près de la valeur au repos et inférieure à 3,0 METs qui est la valeur minimale pour une activité modérée pouvant être considérée dans le bilan quotidien d'activité physique. Le calcul a tout de même été effectué pour comprendre l'impact sur le bilan d'activité physique d'une considération d'activité de plus faible intensité que celle recommandée, mais les résultats ne sont pas considérés dans la suite de l'analyse, puisqu'ils augmentent de façon démesurée et à tort le niveau d'activité physique.

Le port d'une charge est également considéré pour seulement l'un des niveaux d'analyse. La forte incertitude des données des déplacements de l'Enquête Origine-Destination quant à la possibilité d'un port d'une charge durant un déplacement pourrait nuire à la validité des résultats en considérant le port d'une charge pour tous les déplacements ayant ces motifs. C'est pourquoi ils ne sont considérés que pour un niveau d'analyse.

Tel qu'il sera exposé plus loin, le niveau ayant les résultats les plus intéressants et comportant le moins d'incertitude est le niveau 10, qui inclut les déplacements ayant une durée de plus de 10 minutes, une considération de la pente à franchir ainsi que les déplacements en station, sans les transferts.

5.1.2 Description des données

Différents ensembles de données ont été utilisés pour la réalisation de cette étude. Parmi celles-ci, on retrouve l'Enquête Origine-Destination 2013 de Montréal, détaillé dans la section portant sur le potentiel de contact social, les résultats d'une simulation réalisée dans la plateforme Transition, les données GTFS de l'ensemble des sociétés de transport de la région de Montréal (STM, STL, RTL, EXO et les CITs), les élévations géographiques du Gouvernement du Canada ainsi que le *Compendium of Physical Activities*, détaillé plus tôt.

5.1.2.1 Transition

Transition est une plateforme de simulation des déplacements tirés de l'Enquête Origine-Destination. Dans le cas présent, on utilise l'Enquête Origine-Destination de Montréal 2013. Tous les déplacements, même ceux se réalisant avec un autre mode que le transport en commun, sont simulés afin d'obtenir un itinéraire possible de transport collectif. Les critères du chemin le plus court et une distance de marche d'un maximum de 20 minutes en distance réseau sont établis. Ceci permet d'obtenir un total de 345 451 déplacements simulés.

5.1.2.2 Données GTFS

Ces données GTFS permettent d'obtenir la localisation des arrêts pour l'ensemble des lignes des réseaux de transport collectif des différentes organisations présentes sur le territoire de la région montréalaise. On utilise les données sur le service dans la plateforme transition afin d'attribuer les déplacements sur les différents services possibles.

5.1.2.3 Élévations géographiques

Les élévations sont obtenues par l'entremise du Ministère des Ressources naturelles du Canada. À l'aide d'un API et d'un script Python, l'élévation des éléments suivants est obtenue dans le but de mesurer la pente à franchir pour chaque déplacement :

- Origine des déplacements de l'Enquête OD;
- Destination des déplacements de l'Enquête OD;
- Arrêts et stations des agences de transport collectif.

Le calcul de la pente est détaillé à la section suivante.

5.1.3 Calcul du niveau d'activité physique

Le calcul du niveau d'activité physique est réalisé dans le logiciel R pour établir une base de données comprenant la quantité de METs par déplacement en fonction des différents facteurs mentionnés. On débute par établir un calcul de base du niveau d'activité physique réalisé durant un déplacement, puis on le modifie en fonction des facteurs d'influence de l'intensité de l'activité physique du niveau étudié.

Le calcul de base s'établit grâce au temps de marche pour atteindre l'arrêt d'embarquement du transport en commun à partir de l'origine et au temps de marche pour atteindre la destination à partir de l'arrêt de sortie du transport en commun. Ce temps est fourni avec les résultats de la modélisation sur Transition. Il peut donc être calculé pour l'ensemble des déplacements simulés et non seulement ceux qui sont réellement effectués en transport en commun dans l'Enquête Origine-Destination.

L'équation suivante est donc appliquée pour chacune des segments de marche (accès au transport en commun et accès à la destination) :

$$N = \sum_{i}^{n} \frac{t_i * AP_m}{3600}$$

Où N est le niveau d'activité physique pour le déplacement; i le segment de marche dans le déplacement; n, le nombre de segments de marche dans le déplacement; t, le temps de marche en secondes et AP, l'intensité de l'activité physique en MET par heure, tel que fourni par le

Compendium. Il est également possible d'obtenir le bilan quotidien de l'activité physique d'un individu en sommant l'ensemble de ses déplacements.

Cette équation est adaptée afin d'inclure les différents facteurs d'influence de l'intensité de l'activité physique, selon le niveau de précision étudié (tableau 5-1). Ces modifications possibles sont détaillées dans les sous-sections suivantes, selon le facteur d'influence à considérer.

5.1.3.1 Temps minimal de marche

Le temps minimal est considéré en effectuant simplement une boucle qui permet directement d'attribuer une valeur de niveau d'activité physique à 0 MET lorsque le temps de marche du segment est de moins de 600 secondes, soit le temps minimal de 10 minutes recommandé par les institutions de santé. Le calcul du niveau s'effectue donc lorsque le temps est de 600 secondes et plus. Il est à noter que le temps considéré est séparé (accès au transport en commun ou accès à la destination), puisque le temps minimal mentionné par l'OMS (2009) est de 10 minutes consécutives. Ainsi, le temps passé en attente ou en véhicule est considéré comme un arrêt de l'activité physique. L'équation suivante présente l'adaptation du calcul de base du niveau d'activité physique :

$$\begin{cases} t_i \geq 600 \;\Rightarrow\; N_i \;= \dfrac{t_i * AP_m}{3600} \\ t_i < 600 \;\Rightarrow\; N_i \;= 0 \end{cases}$$

$$N \;= \sum_{i}^{n} N_i$$

Où N est le niveau d'activité physique pour le déplacement; i le segment de marche dans le déplacement; n, le nombre de segments de marche dans le déplacement; t, le temps de marche en secondes et AP, l'intensité de l'activité physique en MET par heure, tel que fourni par le Compendium.

5.1.3.2 Pente

La pente est calculée pour chaque section de marche du déplacement en fonction des élévations établies avec les données du Ministère des Ressources naturelles du Canada. Puisque le dénivelé exact du parcours de marche n'est pas disponible, on pose l'hypothèse d'une pente constante entre

le point de départ et le point d'arrivée du segment. La longueur du tracé est établie avec le temps de marche fourni par Transition en considérant une vitesse constante de 5 km/h (1,39 m/s). La pente est donc établie de la façon suivante :

$$Pente = \frac{\text{Élévation}_{destination} - \text{Élévation}_{origine}}{Longueur\ du\ tracé}$$

Selon la valeur de pente obtenue, on utilise un facteur multiplicatif pour atteindre la valeur d'intensité associée à la pente. Ce facteur est calculé en utilisant les valeurs à une vitesse constante présentée à la section 4.2.3.2. L'équation suivante est appliquée pour établir le facteur.

$$Facteur\ d'influence\ = \frac{Intensité\ sur\ une\ pente}{Intensité\ sur\ un\ parcours\ plat}$$

Le tableau suivant présente les unités utilisées.

Tableau 5-2 : Méthode d'évalution de l'influence de la pente

Pente	Nombre de METs pour une marche à 5 km/h	Nombre de METs pour une marche à 4 km/h	**Facteur d'influence de la pente**
Moins de -1 %	-	3.3	**1.1**
Entre -1% et 1%	3.5	3.0	**1**
Entre 1% et 5%	5.3	-	**1.514**
Plus de 5%	8.0	-	**2.286**

On utilise un facteur multiplicatif et non les valeurs directes afin de nous permettre de modifier la valeur d'intensité de marche sur un parcours plat avec des influences externes, telle que le port d'une charge.

Ce faisant, l'équation du niveau d'activité physique est alors :

$$N\ = \sum_{i}^{n} \frac{t_i * AP_m * \boldsymbol{f_{ip}}}{3600}$$

Où N est le niveau d'activité physique pour le déplacement; i le segment de marche dans le déplacement; n, le nombre de segments de marche dans le déplacement; t, le temps de marche en secondes et AP_m, l'intensité de l'activité physique en MET par heure, tel que fourni par le Compendium et f_{ip} représente le facteur d'intensité de la pente.

5.1.3.3 Port d'une charge

Le port d'une charge est considéré dans les calculs en additionnant au niveau d'intensité de la marche normale le nombre de METs indiqué à la section 1.3.3.3. détaillant l'ajout d'intensité d'activité physique associée au port de différentes charges. L'équation devient donc :

$$N = \sum_{i}^{n} \frac{t_i * (AP_m + \boldsymbol{c})}{3600}$$

Où N est le niveau d'activité physique pour le déplacement; i le segment de marche dans le déplacement; n, le nombre de segments de marche dans le déplacement; t, le temps de marche en secondes et AP, l'intensité de l'activité physique en MET par heure, tel que fourni par le Compendium et c est le nombre de METs pour le transport d'une charge pour les motifs indiqués. Cette équation est évidemment appliquée pour les motifs détaillés à la section 1.3.3.3.

5.1.3.4 Temps en véhicule

L'intensité de l'activité physique pour le temps en véhicule est établie selon la même équation, mais la valeur de AP devient alors 1.3 METs par heure et le temps de déplacement devient le temps en véhicule fourni par Transition. L'équation pour ce déplacement est alors :

$$N = \sum_{i}^{n} \left(\frac{t_i * AP_m}{3600}\right) + \frac{\boldsymbol{t_v * AP_v}}{\boldsymbol{3600}}$$

Où N est le niveau d'activité physique pour le déplacement; i le segment de marche dans le déplacement; n, le nombre de segments de marche dans le déplacement; t, le temps de marche en secondes et AP_m, l'intensité de l'activité physique en MET par heure, tel que fourni par le Compendium, t_v est le temps en véhicule et AP_v est 1.3 METs par heure. Évidemment, le facteur d'influence de la pente et le port d'une charge peuvent être ajoutés au calcul, le cas échéant.

5.1.3.5 Distances de marche en station

Les distances de marche en station sont évaluées grâce aux plans de quartier de la STM fournis sur le site web. Ces plans montrent la coquille des stations de métro ainsi que la localisation des sorties. Ces plans sont par la suite placés et mis à l'échelle sur le logiciel QGIS avec l'extension MMGIS. Une couche est ensuite créée pour tracer les distances de marche entre les éléments suivants dans les stations :

- Distance entre le centre du quai et chacune des sorties;
- Distance entre le centre des différents quais, dans les stations ayant des transferts de lignes possibles.

Pour les stations avec plusieurs sorties, on effectue une moyenne de la distance de marche entre le centre du quai et les sorties puisqu'il n'est pas possible de connaître la sortie utilisée par un individu. La figure suivante montre un exemple extrait de QGIS de l'analyse des distances pour la station Beaubien.

Figure 5-1 : Exemple de la mise à l'échelle d'un plan de quartier de la station Beaubien

La profondeur des stations est également utilisée pour estimer la distance de marche montée ou descendue. Encore une fois, comme il n'est pas possible de savoir quel type d'escalier est employé (mécanique ou régulier), on ne considère pas la montée ou la descente de marche avec une intensité d'activité physique supplémentaire qui serait liée à l'utilisation d'escaliers. On considère que cette distance à parcourir liée à la profondeur est marchée.

La distance totale de marche par station est donc estimée de façon uniforme pour tous les déplacements empruntant la station en accès au transport en commun ou en accès à la destination par la sommation des éléments suivants :

- Moyenne des distances entre le centre du quai et les sorties;
- Moitié de la longueur du quai;
    - Longueur standard de 152,4 m/2 = 76,2 m pour le métro;
    - Longueur standard de 260 m/2 = 130 m pour le train;
- Profondeur de la station.

Ces distances sont transformées en temps de déplacement, avec une vitesse de marche encore à 5 km/h, puis ajoutée au calcul du niveau d'activité physique de la façon suivante :

$$N = \sum_{i}^{n} \frac{(t_i + \frac{\boldsymbol{d_s}}{\boldsymbol{v_m}}) * AP_m}{3600}$$

Où N est le niveau d'activité physique pour le déplacement; i le segment de marche dans le déplacement; n, le nombre de segments de marche dans le déplacement; t, le temps de marche en secondes et AP_m, l'intensité de l'activité physique en MET par heure, tel que fourni par le Compendium, d_s est la distance de marche en station (m) et v_m, la vitesse de marche (m/s).

Les temps de transferts sont étudiés de la même façon, en considérant les distances de marche de centre de quai de la ligne d'origine à centre de quai de la ligne de destination.

Cependant, aucune distance de marche à l'intérieur de la station Beaudry n'a été considérée. Puisque celle-ci est actuellement en rénovation, le plan de quartier associé à cette station n'est pas disponible, mais elle était ouverte lors de l'Enquête Origine-Destination de 2013, donc des déplacements sont tout de même associés à la station. On considère donc une distance de marche nulle à l'intérieur de celle-ci.

5.2 Comparaison des niveaux d'analyse

Plusieurs niveaux d'analyse ont été explorés pour brosser le portrait de l'activité physique des utilisateurs du transport en commun. Ces niveaux, décrits dans les sections précédentes, touchent

une quantité variable de déplacements, selon la définition des caractéristiques de précision. Par exemple, l'utilisation d'une station de métro ou de train entraîne une intensité d'activité physique supplémentaire, mais ce ne sont pas tous les déplacements qui comprennent l'utilisation de ces modes. Le tableau suivant présente le nombre de déplacements concernés par chacune des caractéristiques de précision utilisée dans l'analyse. Ce tableau peut être intéressant pour donner une vision globale de la situation, mais n'est pas utilisé à des fins discriminantes pour choisir le niveau de précision de l'évaluation finale.

Tableau 5-3 : Nombre de déplacements possédant les différentes caractéristiques

Caractéristique de précision	Nombre de déplacements concernés
Déplacement de minimum 10 minutes (accès au TC ou accès à la destination)	122 907
Déplacement en pente	345 451
Déplacement comportant une charge	133 871
Déplacement utilisant une station de métro ou de train	51 433
Déplacement ayant un transfert	126 177

Dans le tableau qui suit, les nombres de déplacements touchés par ces caractéristiques sont agrégés de sorte à présenter le nombre de déplacements où le niveau d'activité physique et non nul. Les résultats ne sont pas pondérés afin de montrer l'effet direct du niveau de précision sur le niveau moyen d'un déplacement, sans tenir compte de la représentativité à l'échelle de la région. Il s'agit donc simplement d'une illustration de l'effet de la méthode.

Tableau 5-4 : Nombre de déplacements et niveau d'activité physique par déplacement pour les différents niveaux d'analyse

Niveau	Niveau moyen d'activité physique par déplacement (non pondéré) (MET)	Nombre de déplacements ayant un niveau d'activité physique non nul
1	0,7188	345 451
2	0,9027	345 451
3	0,3283	122 907
4	0,3973	122 907
5	0,4548	122 906
6	0,8117	344 076
7	0,9703	345 451
8	0,9090	345 451
9	0,9469	345 451
10	0,4395	133 871
11	0,9693	345 451
12	0,4618	153 398

Dans ce tableau, il est possible de voir que certains niveaux vont permettre d'avoir une valeur du niveau d'activité physique non nulle pour l'ensemble des déplacements. Cette valeur entraîne des résultats déformant les recommandations pour la santé, puisque toutes les durées de déplacement ont un niveau d'activité physique considéré, alors que seulement les activités de plus de 10 minutes devraient être considérés. Ces niveaux ne peuvent donc pas être sélectionnés pour produire l'analyse détaillée et pour faire partie de l'indicateur final.

5.2.1 **Niveau d'analyse sélectionné**

Les résultats sont présentés pour le niveau d'analyse le plus adéquat, en fonction des calculs et des hypothèses détaillés ci-dessus, soit le niveau 10. Ce niveau comprend donc un temps minimal de marche de 10 minutes par segment, une considération de la pente et du temps de marche en station. L'équation est donc :

$$\begin{cases} \left(t_i + \frac{d_s}{v_m}\right) \geq 600 \Rightarrow N_i = \frac{\left(t_i + \frac{d_s}{v_m}\right) * AP_m * f_{ip}}{3600} \\ \left(t_i + \frac{d_s}{v_m}\right) < 600 \Rightarrow N_i = 0 \end{cases}$$

$$N = \sum_{i}^{n} N_i$$

Il représente un équilibre idéal dans le compromis entre précision du calcul et représentativité des résultats. Comme mentionné précédemment, certaines variables ajoutées à l'équation présentent des hypothèses nuisant à la précision des résultats. Celles-ci ont donc été ignorées du niveau d'analyse sélectionné, même si elles représentaient un élément ayant dans la réalité un impact notable sur la quantité d'énergie dépensée pour se déplacer. Ce niveau est donc celui sur lequel pourra se baser l'indicateur lié à la réalisation d'activité physique.

5.3 Résultats et analyse

La section présente les différents résultats obtenus avec cette étude de l'activité physique. Celle-ci se compose en trois principales sous-sections : la comparaison des niveaux d'analyse proposés, le portrait des utilisateurs actuels du transport collectif, le potentiel de réalisation d'activité physique pour les utilisateurs actuels de modes motorisés, pour terminer avec une proposition d'évaluation de trajets alternatifs. L'objectif de produire l'analyse régionale est de tester la représentativité du niveau d'analyse sélectionné pour produire l'indicateur.

5.3.1 Portrait des utilisateurs du transport en commun

La première grande analyse porte sur les utilisateurs actuels du transport en commun. Les présents résultats tentent de tracer un portrait du niveau d'activité physique qu'il est possible de réaliser par la simple utilisation du transport en commun. Évidemment, on considère des individus moyens, sans tenir compte de leurs caractéristiques personnelles, telles que des limitations physiques nuisant à leur mobilité, car ces données ne sont malheureusement pas disponibles avec l'Enquête OD 2013 de Montréal.

5.3.1.1 Niveau moyen par déplacement

Le premier grand résultat à établir est le niveau moyen d'activité physique qu'un individu peut réaliser par déplacement. En effectuant une moyenne globale pour tous les utilisateurs du transport en commun, un déplacement est établi à une valeur de 0,4 MET. Ce résultat comprend tout déplacement, peu importe le motif, le lieu ou les caractéristiques de l'individu le réalisant.

Cette moyenne est néanmoins désagrégée en fonction des caractéristiques du déplacement dans lequel il est réalisé dans la section. Celles-ci ont été étudiées dans la littérature par Morency et al.

(2011). Ainsi, les résultats obtenus ici sont comparés principalement avec cette étude, en raison de la ressemblance importante des types de données, permettant ainsi la comparaison.

5.3.1.1.1 Par motif

La distribution par motif est présentée plus ci-bas. L'ensemble des motifs sont représentés pour fin d'explication, mais certains motifs sont davantage représentés chez les répondants, notamment le travail et l'école. Le retour au domicile est également largement présent, puisqu'il est typiquement le dernier déplacement réalisé pour tout individu dans une journée.

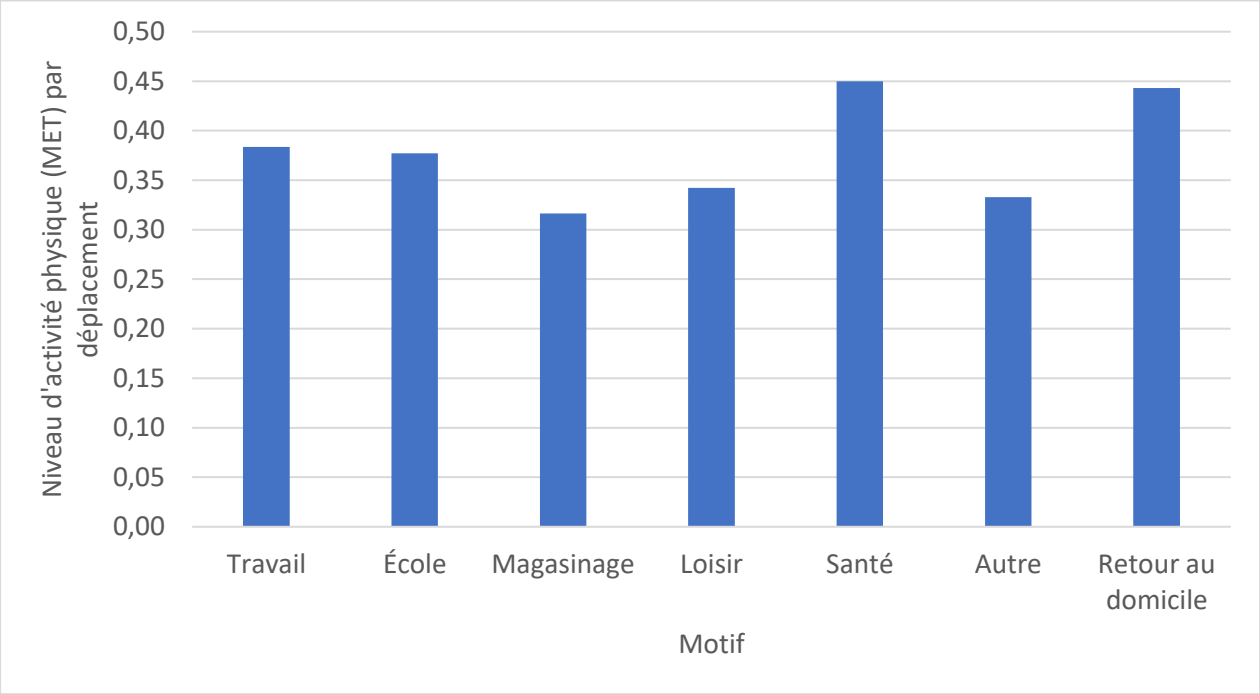


Figure 5-2 : Niveau d'activité physique moyen par déplacement selon le motif

Avec cette perspective, il est possible de voir que le motif peut influencer le niveau d'activité physique. Pour les motifs travail et école, le niveau d'activité physique est légèrement inférieur à la moyenne des déplacements, même si ces motifs sont grandement représentés dans la population. En effet, le motif du retour au domicile joue un rôle important puisqu'il est plus élevé que la moyenne générale des déplacements. Les individus ne sont pas nécessairement au travail ou à l'école avant de revenir au domicile et peuvent également se retrouver dans des lieux tiers rendant les déplacements plus complexes. Ce faisant, le retour peut représenter une distance de marche supérieure et ainsi augmenter le niveau d'activité physique pour ces déplacements.

Pour le magasinage et les loisirs, les utilisateurs du transport en commun ont tendance à réaliser légèrement moins d'activité physique, en choisissant des lieux d'activité plus facilement accessibles en transport en commun, nécessitant ainsi moins de marche. Les commerces de proximité ou localisés près du transport en commun aident ainsi à diminuer la valeur moyenne d'activité physique par déplacement.

Ces résultats concordent avec les résultats précédemment établis où le travail et l'école sont des déplacements nécessitant une activité physique supérieure aux déplacements de loisir ou de magasinage (Morency et al., 2011).

5.3.1.1.2 Par âge

L'analyse en fonction de l'âge, présentée dans le graphique suivant, permet également d'établir des constats intéressants.

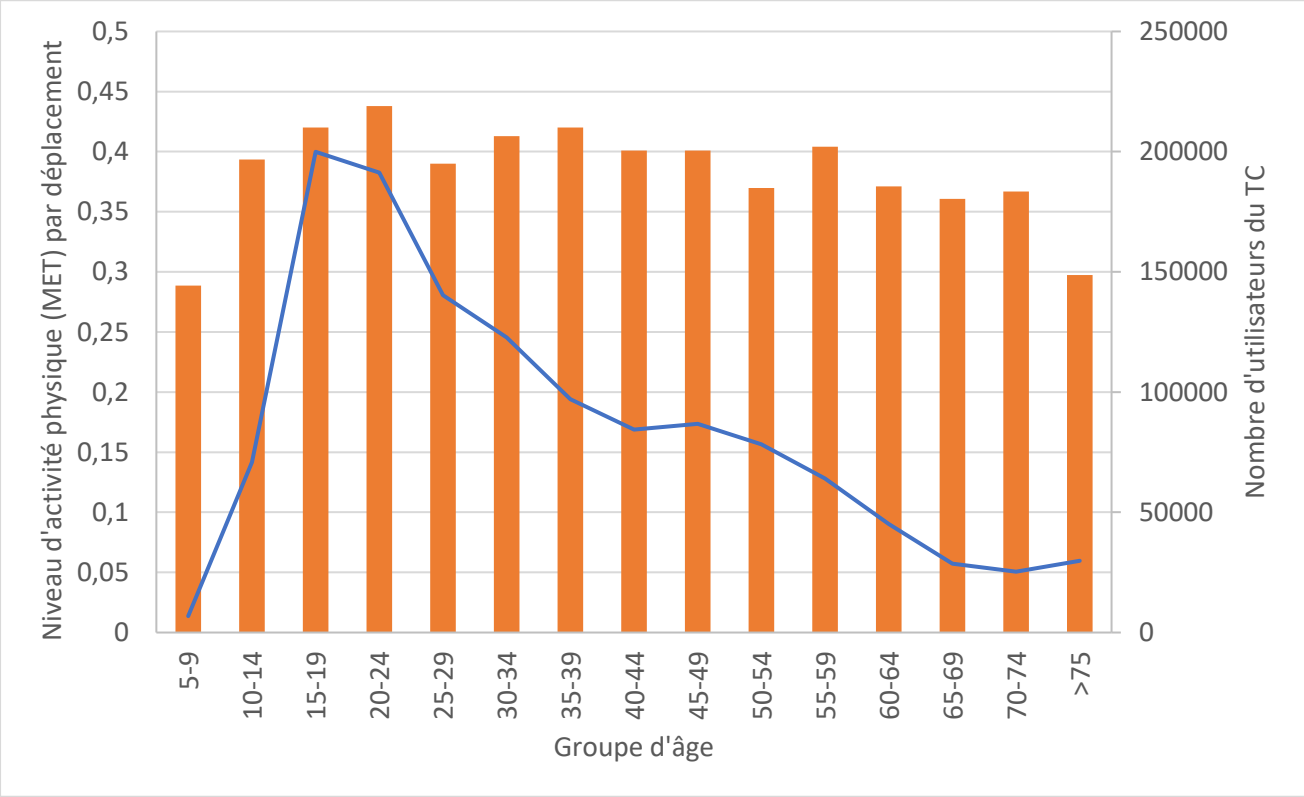


Figure 5-3: Niveau d'activité physique moyen par déplacement selon l'âge de l'individu se déplaçant

Les utilisateurs du transport en commun se retrouvant dans les tranches d'âge les plus jeunes, soit entre 15 et 29 ans, représentent les groupes comportant le plus grand nombre d'utilisateurs du transport commun. Néanmoins, les groupes de 15 à 24 ans effectuent tout de même une plus grande quantité d'activité physique pour leurs déplacements. Ces groupes peuvent néanmoins être captifs du transport collectif en raison de leurs conditions financières, notamment, ou l'absence de possession d'un permis de conduire. Ceci pourrait expliquer la localisation de leurs activités entraînant des plus grandes distances de marche.

Cette tendance se stabilise durant les tranches d'âges liées à la vie d'adulte avec une moyenne avoisinant la moyenne générale régionale, avant de diminuer pour les tranches d'âge avancées. Puisque ce sont les utilisateurs actuels du transport en commun, il est facile de comprendre que les tranches d'âge les plus élevées n'ayant pas un accès facile et à courte distance au transport en commun ne fassent pas partie des utilisateurs.

Enfin, malgré le fait que les enfants nécessitent un niveau supérieur d'activité physique (USHHS, 2008), les résultats présentent un niveau d'activité physique inférieur pour ces groupes d'âge pour les déplacements. Des enjeux de sécurité et la proximité des services, notamment la localisation des écoles primaires de quartier, font en sorte que les distances de marche sont plus courtes pour ces groupes. Cette tendance est néanmoins différente de celle observée par l'étude de référence portant sur les déplacements de 2003 (Morency et al., 2011), les enfants de 5-9 ans réalisent une portion plus importante d'activité physique selon cette étude. Cette différence peut être expliquée par la tendance à la baisse de l'utilisation des modes collectifs ou actifs par les enfants, remplacés par les modes motorisés (Control & Prevention, 2005), ce qui a un impact négatif sur la santé des enfants (Faulkner, Buliung, Flora, & Fusco, 2009). Ce changement de mode chez les enfants est dû à différents facteurs, notamment l'accès au transport scolaire ou l'accès à une voiture et, principalement, le sentiment de sécurité pour utiliser un mode actif (Rodriguez & Vogt, 2009).

5.3.1.1.3 Par genre

La question du genre est également intéressante et est présentée ci-dessous.

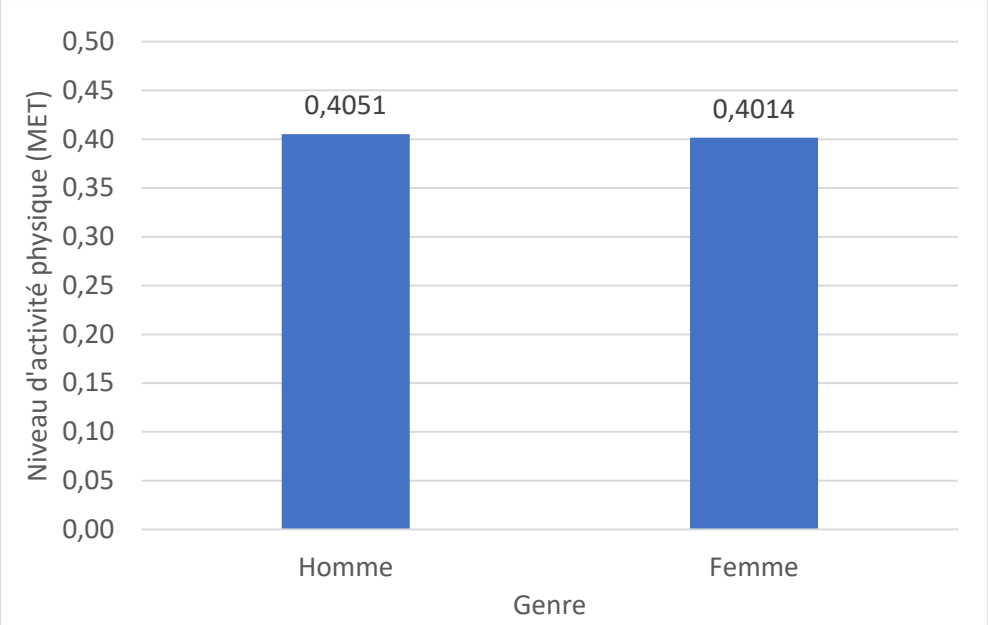


Figure 5-4 : Niveau d'activité physique moyen par déplacement selon le genre de l'individu se déplaçant

Les deux genres représentent un niveau très similaire d'activité physique. Malgré le fait qu'il est reconnu que les femmes ont tendance à effectuer davantage de déplacements quotidiennement, avec des chaînes plus complexes (Hanson, 2010), il est intéressant de voir que le niveau d'activité physique par déplacement est similaire à celui des hommes. Un test statistique (test de Student) permet de confirmer également que les moyennes sont identiques.

5.3.1.1.4 Par lieu d'origine

Le lieu d'origine de chaque déplacement est également étudié puisqu'il peut avoir un impact notable sur l'accès au transport en commun et les composantes des itinéraires. Les résultats sont représentés par un niveau moyen d'activité physique par déplacement par SM d'origine.

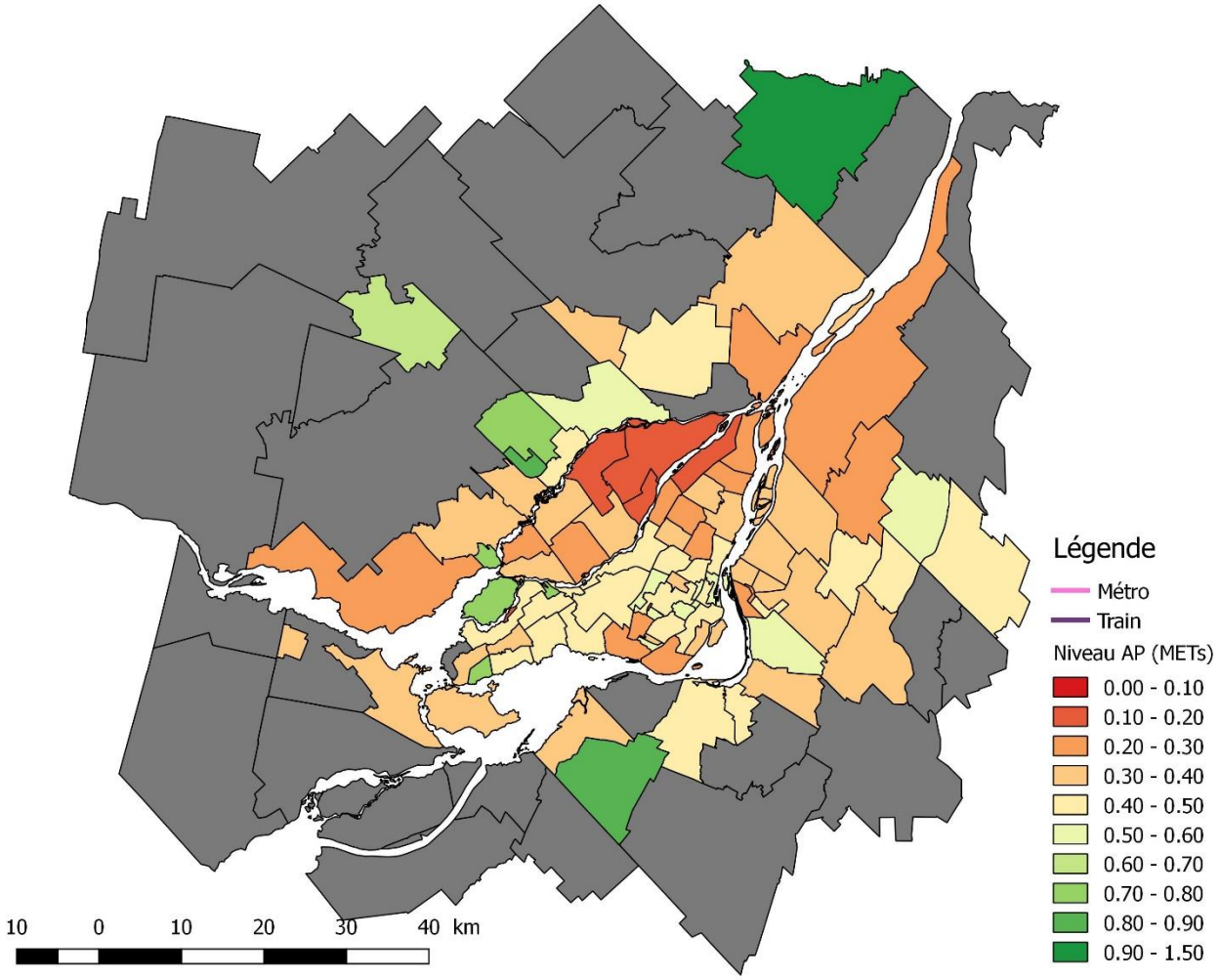


Figure 5-5 : Niveau d'activité physique moyen par déplacement en fonction de l'origine du déplacement

Le premier constat à tirer de l'analyse de cette carte est l'influence de la proximité des modes de transport lourds : plus facilement un accès au transport collectif est possible, moins le niveau d'activité physique est élevé. Les services des modes lourds et les lignes de rabattement offrent un accès de proximité qui limite, jusqu'à un certain degré, les distances de marche à réaliser et ainsi le niveau d'activité physique. Ce fait est tout le contraire des secteurs comme Joliette où l'accès au transport en commun est plus limité, ce qui augmente le niveau d'activité physique.

Les secteurs à l'est de Montréal et de Laval sont des secteurs où le niveau d'activité physique est considérablement plus faible. Pour l'est de Laval, ceci est explicable entre autres par le faible nombre de déplacements en transport en commun uniquement et le fait que les utilisateurs sont localisés près des services. De faibles distances sont alors à parcourir. Pour ce qui est de l'est de

Montréal, malgré l'absence d'un service lourd ou fréquent, un service d'autobus détient des arrêts à proximité des lieux d'activités ou des résidences des individus. L'accès est donc plus court, même si le service n'est pas nécessairement fréquent.

Pour des secteurs le long de la ligne de train vers Saint-Jérôme, le phénomène contraire est observé, où le niveau d'activité physique est élevé, malgré l'accès facilité au train. En effet, la qualité du service de rabattement peut influencer ce résultat : si les autobus peuvent difficilement amener les individus des lieux d'activités au train, la distance entre ces deux endroits doit être effectuée à la marche sur une distance considérable. De plus, la distance de marche au sein même des gares est considérable en raison de la longueur des quais, marquant encore plus la différence de marche pour les utilisateurs de l'autobus. Ceci entraîne un niveau d'activité physique moyen élevé.

5.3.1.1.5 Par lieu de destination

La perspective dépendant du lieu de destination est également intéressante; elle est montrée plus bas. Bien qu'elle soit semblable à la carte montrant le niveau selon le lieu d'origine, le lieu de destination entraîne quelques nuances. Effectivement, les déplacements peuvent avoir une distance plus grande de marche avant ou après l'utilisation du transport en commun, alors la perspective en fonction du lieu de destination permet de comprendre l'influence de sa position dans le niveau d'activité physique.

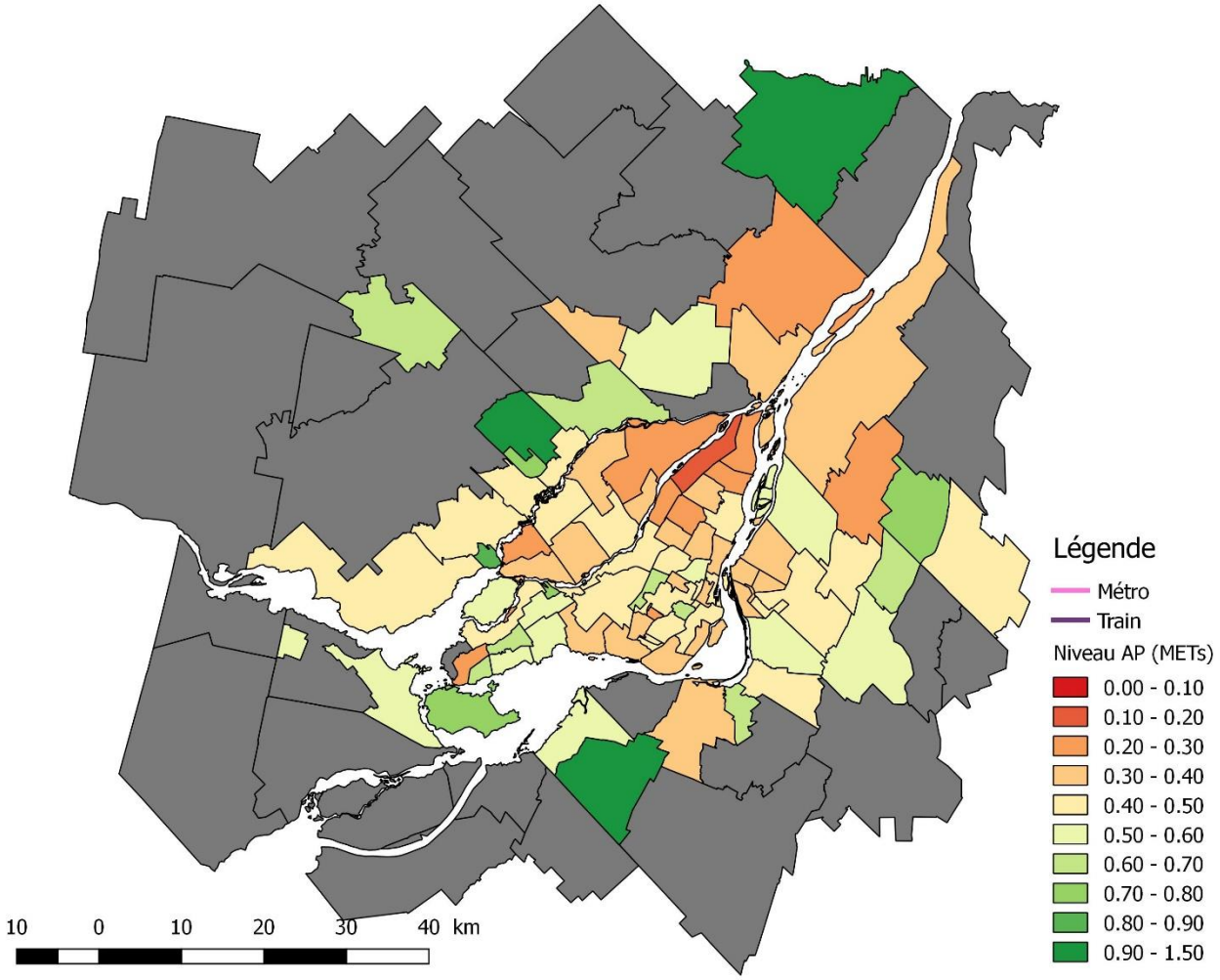


Figure 5-6 : Niveau d'activité physique moyen par déplacement en fonction de la destination du déplacement

De façon générale, le niveau semble demeurer constant ou augmenter légèrement dans la plupart des secteurs. Certains secteurs, comme celui de l'Île Perrot, qui dans l'étude du niveau en fonction de l'origine ne semblait pas se démarquer des secteurs voisins, car il était relativement faible, est devenu un secteur où le niveau d'activité physique moyen est parmi les plus importants. Cette perspective permet donc de voir que ce secteur entraîne des distances de marche importante entre les lieux d'activités et des modes comme le train, présent dans ce secteur. Un autre secteur marquant une diminution quant à lui du niveau d'activité physique est le secteur l'Île Bizard ou l'accès à la destination dans ce secteur entraine un niveau d'activité physique plus faible que les déplacements y ayant leur origine.

De façon générale, le portrait de la région est sensiblement le même, où le niveau d'activité physique dépend directement de la facilité d'accès direct à un mode de transport en commun, et de la qualité du service de rabattement pour les modes lourds en secteur périphérique de la région.

5.3.1.2 Bilan quotidien

L'étude des déplacements individuels permet d'établir un constat sur les facteurs influençant le niveau d'activité physique pour chaque déplacement. Toutefois, l'intérêt général ici est de vérifier le niveau global d'activité physique des individus atteint grâce à la portion active des déplacements en transport en commun. Ce faisant, les déplacements sont agrégés par individu afin de brosser un portrait du bilan quotidien de l'activité physique pour chaque individu. Dans cette section, le bilan quotidien est étudié de façon générale, puis en fonction des caractéristiques des individus effectuant ces déplacements. Enfin, une comparaison avec le seuil minimal est également effectuée.

5.3.1.2.1 Bilan quotidien moyen

De façon générale, pour l'ensemble des utilisateurs du transport en commun et toujours pour le niveau d'analyse 10, soit celui comprenant un temps minimal de marche de 10 minutes, les distances de marche en station ainsi que l'inclinaison des pentes à franchir, le niveau moyen d'activité physique atteint quotidiennement par un individu est de 0,81 MET, soit 54% de l'activité physique recommandée. De ces individus, 23% atteignent le niveau minimal seulement en effectuant leurs déplacements en transport en commun. Il s'agit d'un résultat similaire au résultat obtenu par Morency et al. (2011), où les résidents de l'Île de Montréal effectuaient 25% du niveau d'activité physique recommandé quotidiennement avec les déplacements en transport en commun. La présente étude tient également compte des résidents hors Île de Montréal, alors un niveau supérieur à 25% aurait pu être attendu en raison des distances de marche plus importantes dans ces secteurs. Néanmoins, le niveau de précision et la méthodologie n'étant pas les mêmes, ceci peut expliquer les différences dans les résultats.

5.3.1.2.2 Bilan quotidien par âge

Les résultats sont illustrés en fonction de l'âge de l'utilisateur du transport en commun dans la figure qui suit.

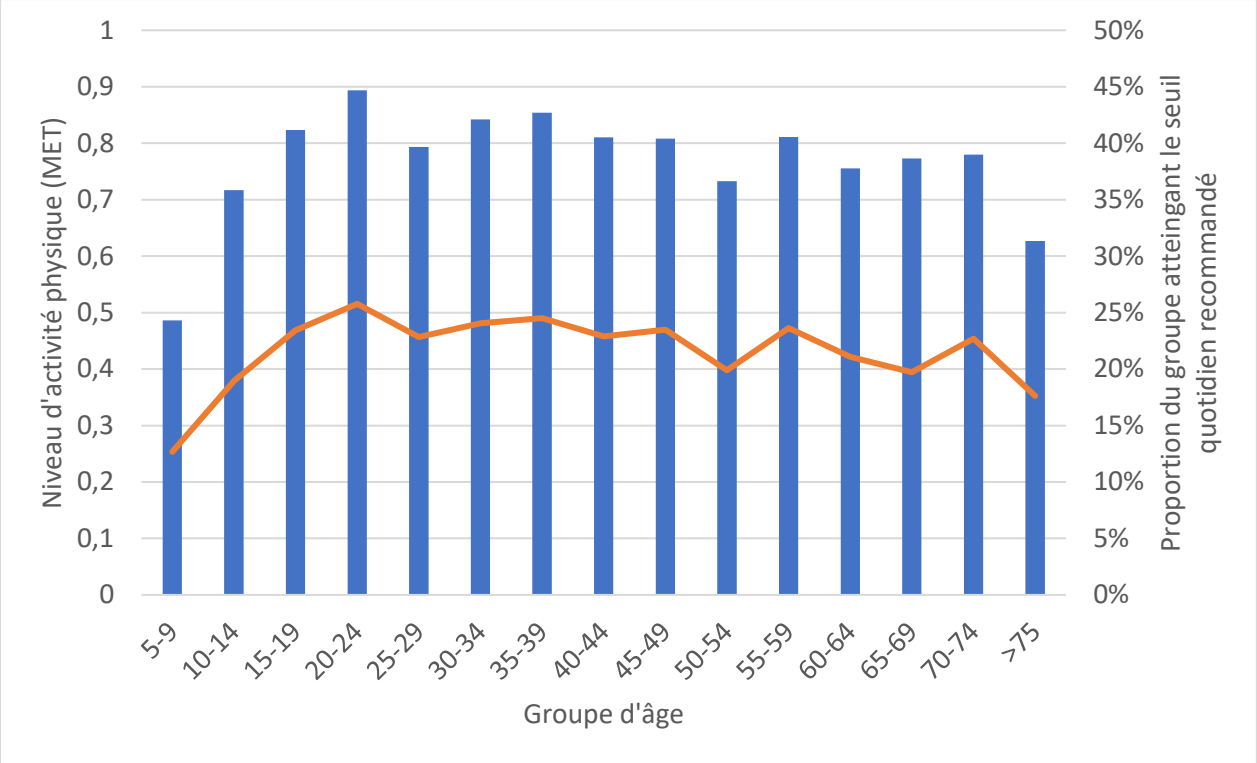


Figure 5-7 : Niveau d'activité physique moyen quotidien selon l'âge de l'individu se déplaçant

Le bilan d'activité physique quotidien est similaire à la tendance observée par déplacement, où les jeunes réalisent une plus forte proportion de l'activité physique recommandée avec leurs déplacements, comparativement aux jeunes enfants et aux personnes âgées. Ce qui est également intéressant à observer est que, pour les enfants entre 5 et 9 ans, la proportion de ceux-ci atteignant le niveau recommandé est encore plus faible que les personnes âgées, alors que les enfants doivent effectuer une grande quantité d'activité physique pour être en santé. D'ailleurs, cette proportion semble suivre une tendance à la baisse à partir de la tranche entre 20 et 24 ans. L'activité physique chez les personnes âgées est tout aussi importante que pour les adultes puisqu'elle leur permet de conserver leurs capacités physiques et leur indépendance. La marche serait d'ailleurs une activité de mise pour cette tranche de la population, car il s'agit d'une activité à intensité modérée qui est accessible et sécuritaire.

La diminution du niveau d'activité physique entre 35 et 54 ans est également intéressante, car elle peut être liée à des modifications de lieu de domicile ou aux habitudes de vie des utilisateurs du transport en commun qui diminuent leur distance de marche pour leurs déplacements. Le nombre

de déplacements total peut également être un facteur puisqu'un nombre plus important de déplacements entraîne typiquement un niveau d'activité physique accentué.

5.3.1.2.3 Bilan quotidien selon le lieu de résidence

La localisation du domicile est un facteur important influençant la facilité d'accès au transport en commun. La carte présente donc le niveau moyen d'activité physique réalisé dans le bilan quotidien des individus.

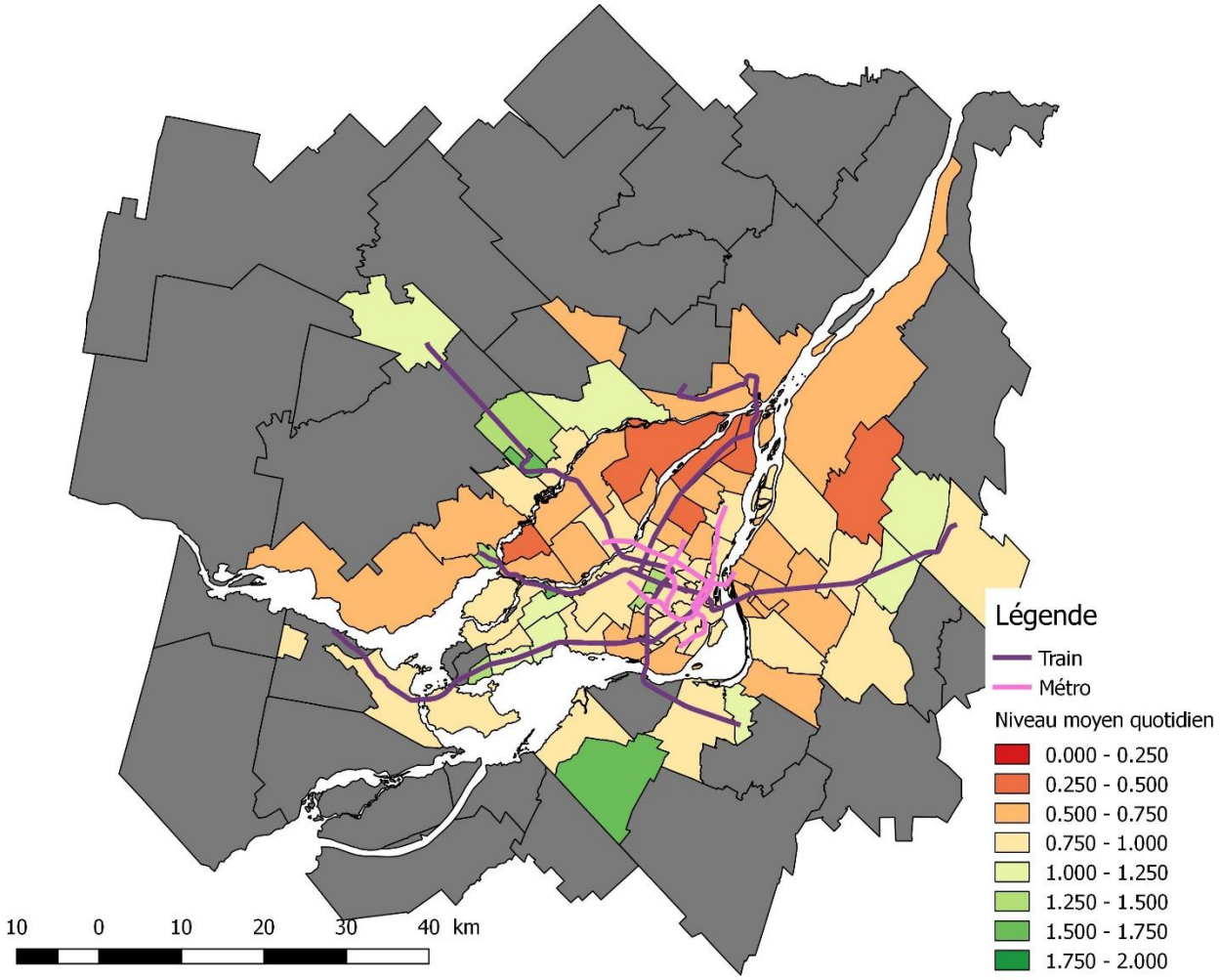


Figure 5-8 : Niveau d'activité physique moyen quotidien selon le lieu de résidence des utilisateurs du transport en commun.

Suivant la logique des déplacements individuels, les utilisateurs résidant dans les secteurs éloignés du centre de la région montréalaise, mais à proximité de stations de train, comme la ligne de Saint-Jérôme, ont un niveau d'activité physique supérieur aux autres utilisateurs, puisque les utilisateurs

marchent entre la station et la résidence en plus d'avoir une distance de marche non négligeable au sein même de la gare. Ce phénomène est également présent le long de la ligne de train allant vers l'ouest de l'île. Dans l'est de l'île et dans le centre de la région de Montréal, le niveau d'activité physique est plus bas, puisque l'accès au transport collectif est facilité.

Au centre de l'île de Montréal, un secteur se distingue des autres par son haut niveau d'activité physique dans le bilan quotidien des utilisateurs du transport en commun. Il s'agit de Ville Mont-Royal qui, par sa formation urbaine distincte des autres quartiers avoisinants, s'apparente davantage à un quartier de banlieue, comme ceux présents dans l'ouest de l'île. Ce faisant, les résidents choisissent également de se rendre à la marche vers les stations de transport collectif comme le train ou le métro.

La figure suivante présente quant à elle la proportion des individus atteignant le seuil minimal recommandé quotidiennement avec leur bilan de déplacements.

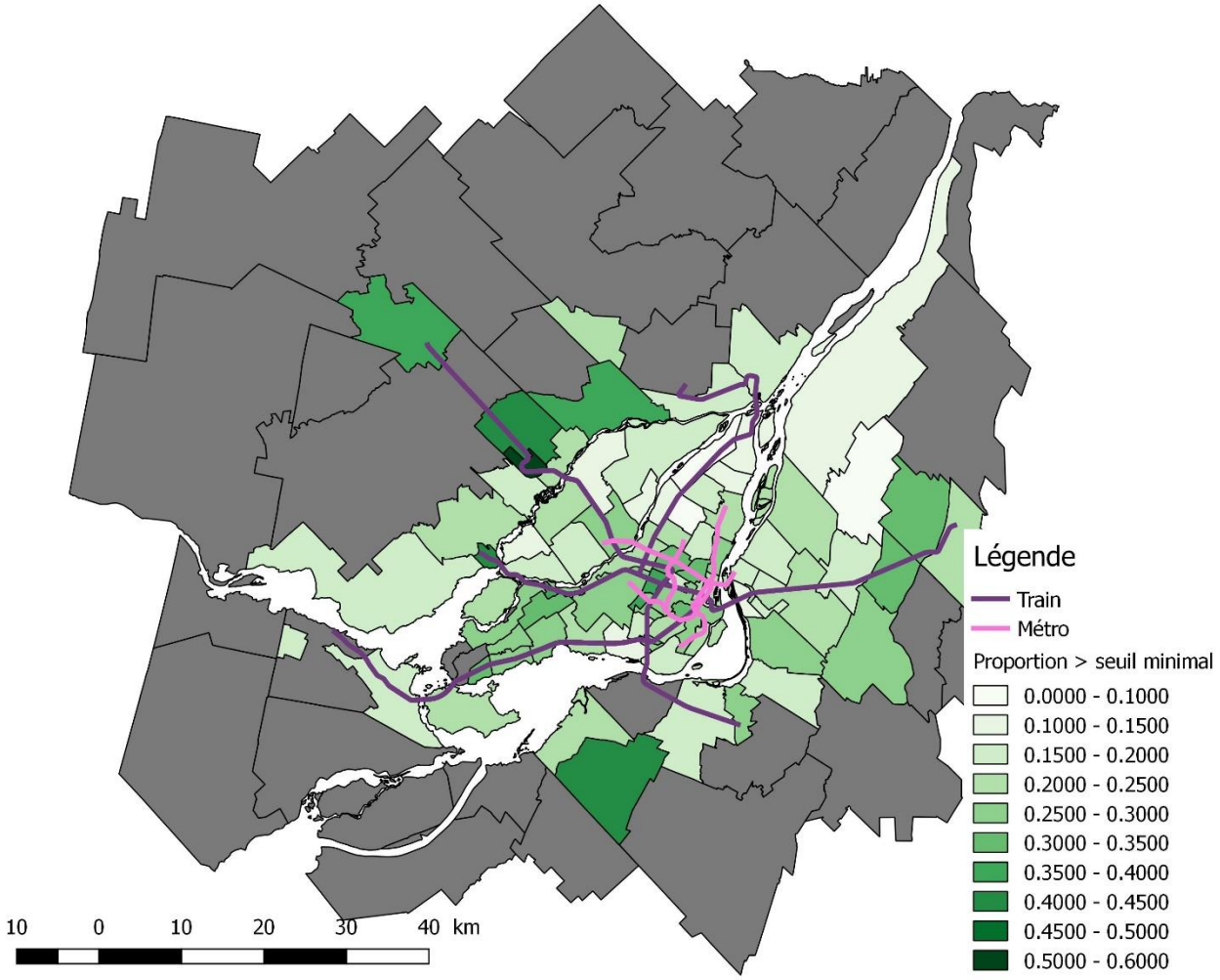


Figure 5-9 : Proportion des individus atteignant le seuil minimal recommandé avec leurs déplacements en transport en commun

Tout d'abord, le constat le plus évident est que la proportion des individus atteignant le seuil minimal recommandé semble être intimement liée au niveau moyen d'activité physique quotidien : plus la moyenne est élevée, plus la proportion des individus ayant un niveau d'activité physique supérieur au seuil est élevé.

Néanmoins, les secteurs localisés près du centre-ville échappent légèrement à la règle puisqu'ils ont un niveau relativement élevé (plus de 0,75 MET en moyenne), mais ils ont une proportion très faible de gens franchissant le seuil. La moyenne est donc élevée en raison d'une portion de résidents effectuant de longues distances de marche pour atteindre le transport en commun dans leurs déplacements, sans représenter l'ensemble des usagers du transport en commun.

5.3.2 Niveau d'activité physique potentiel des utilisateurs de modes motorisés

La présente section porte sur les personnes qui n'utilisent pas actuellement, c'est-à-dire lors de la réalisation de l'Enquête OD, le transport en commun. En simulant leurs déplacements sur la plateforme Transition, il est possible d'établir une alternative en transport en commun. Cependant, aucune hypothèse liée au transfert modal, surtout quant aux dispositions physiques de l'individu lui permettant d'utiliser le transport en commun, à l'exception du temps de marche maximal de 20 minutes pour l'accès au transport en commun ou l'accès à la destination, n'est utilisée. Ainsi, on parle d'usager « potentiel » ou de niveau « potentiel » puisque plusieurs autres facteurs seraient à considérer pour évaluer la probabilité, pour ces individus, d'effectuer un transfert modal.

Cette analyse est pertinente puisqu'elle porte un regard sur le potentiel de réalisation d'activité physique chez les utilisateurs de modes motorisés en particulier. Cette section est donc organisée sous la même structure que la précédente en étudiant tout d'abord les déplacements, puis le bilan quotidien pour les individus.

5.3.2.1 Niveau potentiel par déplacement

La présente section analyse le gain potentiel d'activité physique pour les déplacements qui ne sont pas réalisés en transport en commun actuellement, dans l'optique où ils le seraient. On s'intéresse donc aux déplacements de façon individuelle.

5.3.2.1.1 Par mode

Le mode est intéressant à analyser puisqu'il permet de distinguer quel mode permet le potentiel d'accomplissement d'activité physique le plus élevé et vérifier si ce potentiel est différent de celui des utilisateurs actuels du transport en commun.

À noter que les modes utilisés dans le graphique sont :

- AC : Auto-conducteur
- AJ : Autre mode
- AP : Auto-passager
- BS : Autobus scolaire
- KR : Kiss-and-ride (combinaison auto-passager et transport en commun)
- MV : Mode actif
- PR : Park-and-ride (combinaison auto-conducteur et transport en commun).

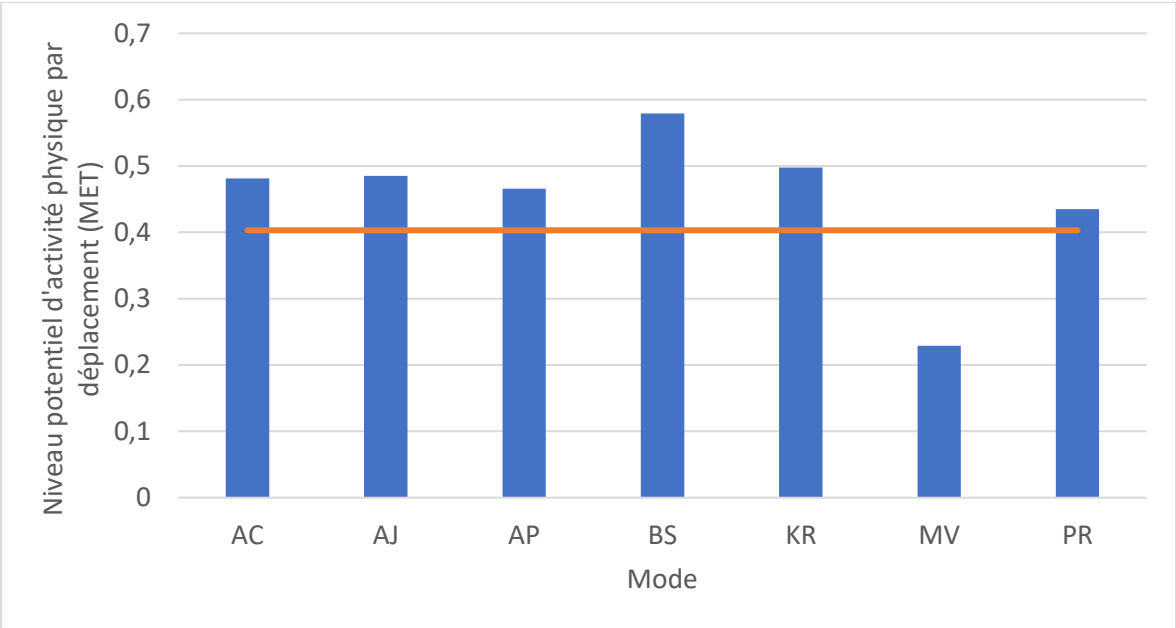


Figure 5-10 : Niveau potentiel d'activité physique selon le mode réellement utilisé pour le déplacement.

Tout d'abord, à l'exception des modes actifs, les modes ont tous un niveau potentiel moyen supérieur au niveau lié aux utilisateurs réels du transport en commun, soit 0,4. Ils ne sont toutefois pas largement différents, demeurant entre 0,4 et 0,5, et moins de 0,6 pour l'autobus scolaire. Les types de modes peuvent donc être analysés sous trois catégories : les modes actifs (MV), l'autobus scolaire (BS) et les modes motorisés (AC, AP, KR, PR).

Pour le transport actif, les déplacements ont un niveau d'activité physique potentiel faible puisque ces déplacements sont normalement déjà très courts, alors ils sont rendus encore plus courts avec l'utilisation du transport en commun, puisqu'une partie de ce qui est réellement actif devient alors réalisé dans un véhicule de transport en commun. Il est donc tout à fait normal d'observer un niveau d'activité physique très faible. Ce type de transfert semble donc peu pertinent d'un point de vue de santé publique liée à la réalisation d'activité physique. Toutefois, la santé publique tient compte également de l'exposition aux polluants par les utilisateurs de modes actifs, en raison du fort volume de véhicules circulant sur les routes, ce qui n'est pas considéré ici.

Quant aux déplacements réalisés en autobus scolaire, ils sont déjà des déplacements réalisés sous une forme de transport collectif. Néanmoins, l'utilisation des systèmes de transport collectifs vient

augmenter la distance de marche, donc le niveau d'activité physique, puisque les services actuels de transport d'écoliers sont de nature porte à porte.

Ces deux modes, en plus des modes considérés dans le type « autre mode », ne sont pas considérés dans la suite de l'analyse puisqu'ils ne permettent pas de tirer des informations pertinentes sur le potentiel de réalisation d'activité physique. Seuls les modes comprenant une portion motorisée sont conservés, puisque le mode motorisé n'entraîne aucune dépense énergétique pouvant être comptabilisée dans le bilan quotidien de réalisation d'activité physique.

Ainsi, pour tous les modes motorisés le niveau potentiel est supérieur au niveau moyen du transport en commun. Alors que le niveau de l'auto-conducteur et l'auto-passager sont similaires avec un niveau potentiel de 0,48 MET, le *kiss-and-ride* détient un niveau potentiel plus élevé avec 0,5 MET et le *park-and-ride* moins élevé avec une valeur de 0,43. Ces deux derniers comportent déjà une portion en transport en commun, alors la portion motorisée pourrait être transformée en portion active pour ainsi obtenir un gain notable d'activité physique, puisque le niveau actuel de ces déplacements est nul pour les déplacements en mode motorisé uniquement et très faible pour les bimodaux, puisqu'il n'y que l'accès à la destination ou au transport en commun, et non les deux, qui peuvent être susceptibles d'avoir un niveau d'activité physique non-nul.

Pour les deux modes complètement composés d'un mode motorisé, l'augmentation de la valeur du niveau potentiel comparativement au niveau moyen du transport en commun est liée principalement à une augmentation des distances. Il se peut également que la raison d'utilisation de ces modes motorisés soit influencée par ces dites grandes distances de marche ou une diminution de l'offre de transport en commun dans certains cas. Néanmoins, il est intéressant de voir que la différence n'est pas substantiellement différente. En effet, certains des déplacements actuellement réalisés en transport motorisé détiennent un niveau potentiel relativement faible.

5.3.2.2 Niveau potentiel quotidien

Au sein de la présente section, le bilan quotidien des déplacements est effectué pour comprendre le gain possible de niveau d'activité physique chez les utilisateurs de modes motorisés. Il est à noter que si ces individus réalisent réellement, au cours de leur journée, des déplacements en transport en commun uniquement, ces déplacements sont comptabilisés dans le bilan quotidien potentiel présenté dans cette section. De façon générale, le niveau potentiel quotidien se situe à une moyenne de 1,27 METs, soit près de 85% de la valeur recommandée quotidiennement.

5.3.2.2.1 En fonction de l'âge

Dans le graphique suivant, la distribution du niveau potentiel d'activité physique quotidien selon le groupe d'âge est présentée. Des courbes ont été également ajoutées afin de montrer la proportion de chacun des groupes pouvant atteindre le seuil minimal d'activité physique seulement avec leurs déplacements ainsi que ceux dont le niveau potentiel demeure nul. En effet, certains déplacements, s'ils étaient réalisés en transport en commun plutôt que par un mode motorisé, n'engendreraient aucune activité physique comptabilisable puisque les distances d'accès, donc les temps de marche, au transport en commun ou à la destination sont trop faibles.

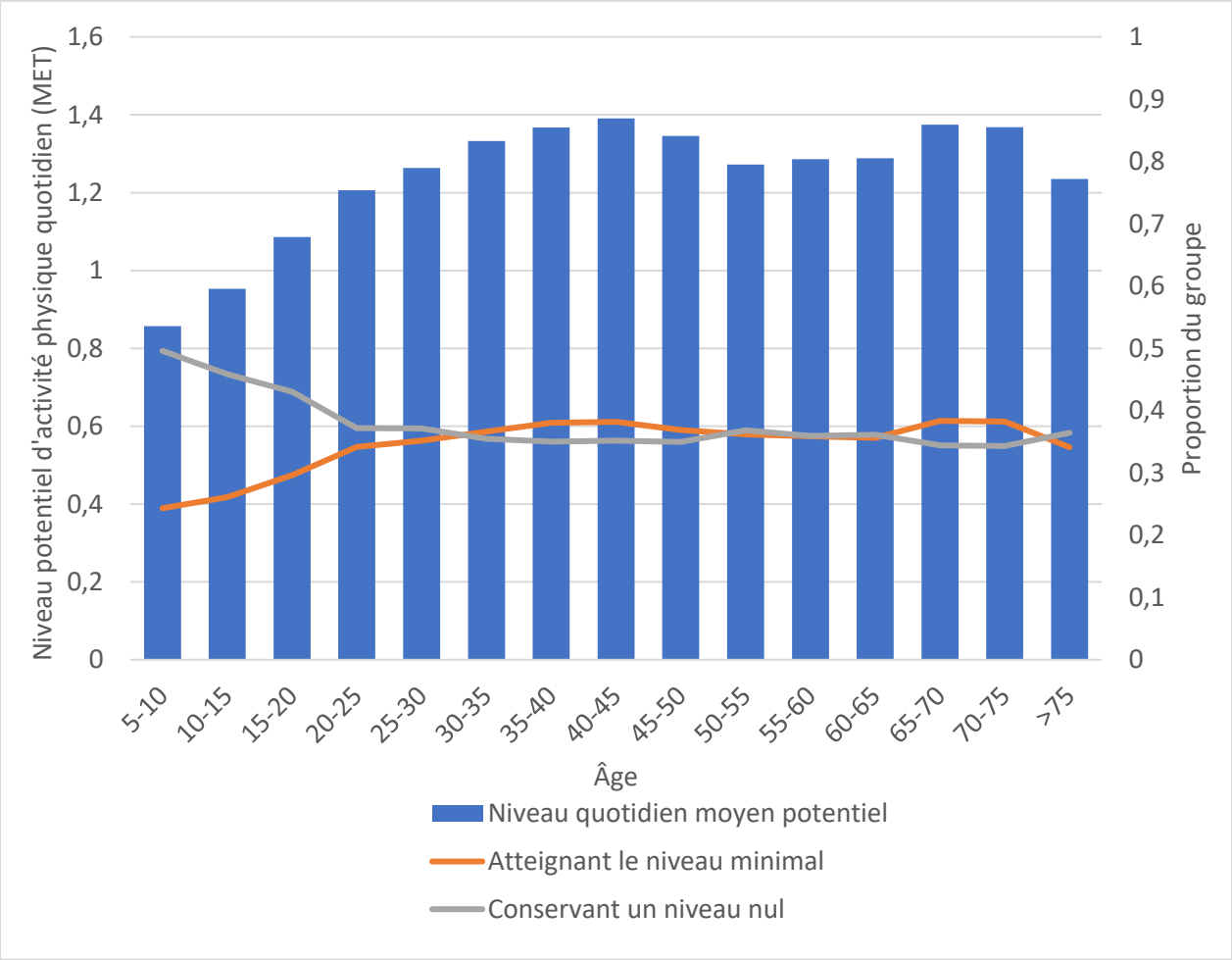


Figure 5-11 Niveau potentiel d'activité physique quotidien selon le groupe d'âge pour les utilisateurs actuels de modes motorisés

En comparant ce graphique à celui obtenu pour les utilisateurs actuels du transport en commun, plusieurs différences ressortent. Les niveaux potentiels les plus élevés sont attribués à des groupes d'âge plus élevés que pour les utilisateurs actuels du transport en commun. Effectivement, dans le cas présent, les usagers potentiels ayant entre 35 et 55 ans ainsi que ceux de 65 à 75 ans pourraient considérablement bénéficier de l'utilisation du transport en commun en accomplissant presque l'entièreté du niveau à atteindre en moyenne. Une observation similaire avait été notée dans la littérature (Morency et al., 2011)

De plus, pour presque l'ensemble des groupes, à l'exception des plus jeunes enfants, la proportion de personnes pouvant dépasser le seuil avoisine les 40%. Il s'agit donc d'une quantité importante d'individus qui actuellement n'atteignent pas le seuil par leurs déplacements en raison du choix du mode de transport, mais qui pourraient l'atteindre en effectuant un changement vers l'utilisation du transport en commun.

Il faut toutefois être prudent avec ce constat, puisqu'il est évident que certaines tranches de la population peuvent difficilement effectuer un transfert vers le transport en commun en raison de limitations physiques, notamment les personnes plus âgées. Cependant, les recommandations sont claires, tel que mentionné précédemment, sur le fait que ces individus doivent eux aussi réaliser le seuil minimal d'activité physique.

Enfin, une portion presque tout aussi importante de chaque groupe obtient un niveau potentiel d'activité physique nul pour leurs déplacements réalisés en transport en commun. Ce constat permet de se questionner sur les motivations d'utiliser un mode motorisé considérant que la dépense énergétique liée à l'utilisation du transport en commun ne serait pas nécessairement un fardeau. Évidemment, il existe une panoplie de motivations diverses pour justifier un choix modal, notamment des temps de déplacements qui peuvent être considérables ou des transferts nombreux, mais il est tout de même intéressant de possiblement invalider le fait que l'effort soit trop important.

5.3.2.2.2 Par secteur de résidence

Le bilan quotidien du niveau potentiel d'accomplissement d'activité physique est également réalisé en agrégeant les données selon le secteur de résidence des individus. Ce bilan est présenté dans la figure suivante.

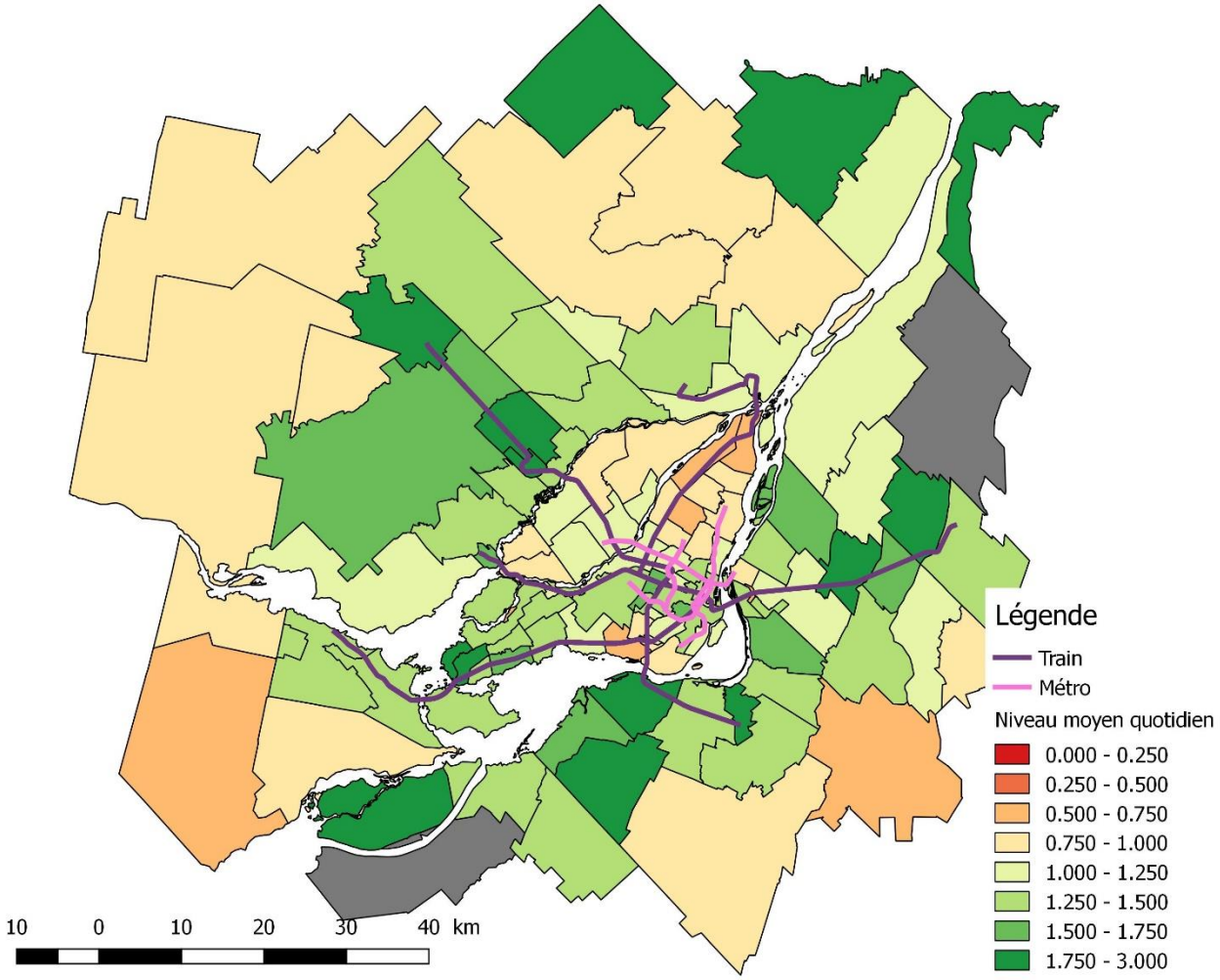


Figure 5-12 : Niveau potentiel d'activité physique quotidien selon le lieu de résidence pour les utilisateurs actuels de modes motorisés

Somme toute, le niveau potentiel est évidemment plus élevé lorsque comparé au niveau des utilisateurs actuels du transport en commun, ce qui est un résultat qui concorde avec ceux précédemment établis dans la littérature.

Néanmoins, les secteurs localisés plus au centre de la région près du transport en commun offrent des niveaux d'activité physique particulièrement élevés considérant leur proximité avec des modes de transport collectifs plus lourds comme le train et le métro. Ceci est explicable par le fait que ces déplacements ne sont pas nécessairement facilement transférables au transport en commun, même s'ils sont proches géographiquement des services. En effet, les déplacements n'ont pas nécessairement lieu à partir ou à destination du domicile et peuvent toucher des secteurs où le transport en commun est moins efficace ou disponible, entrainant des distances importantes de

marche et sans doute des temps totaux de déplacement longs. Il est également possible que des individus résidant dans ces secteurs effectuent plusieurs déplacements ce qui augmente le bilan quotidien de l'activité physique. Ces raisons sont d'ailleurs peut-être la raison pour laquelle un mode motorisé est utilisé.

Finalement, les secteurs localisés en périphérie sont également des secteurs ayant un faible niveau d'activité physique. En fait, ces secteurs comportent peu d'individus ayant des déplacements possiblement réalisables en transport en commun. Ce faisant, les déplacements considérés sont seulement ceux correspondant aux critères de modélisation, soit un temps de marche relativement court pour des secteurs aussi peu denses. Les déplacements ne concordant pas aux critères n'ont pas été considérés puisqu'aucune alternative de transport en commun est possible pour eux. La moyenne de ce secteur n'est donc pas pour l'ensemble des résidents, mais seulement pour ceux pouvant atteindre un service de transport en commun en 20 minutes de marche. Ainsi, il est normal d'observer un niveau d'activité physique relativement bas puisqu'il ne s'agit pas de la totalité des résidents de ces secteurs qui ont un accès au transport en commun dans la durée utilisée.

Dans la figure suivante, la proportion de la population résidant dans chaque secteur pouvant atteindre ou dépasser le niveau d'activité physique minimal recommandé est représentée

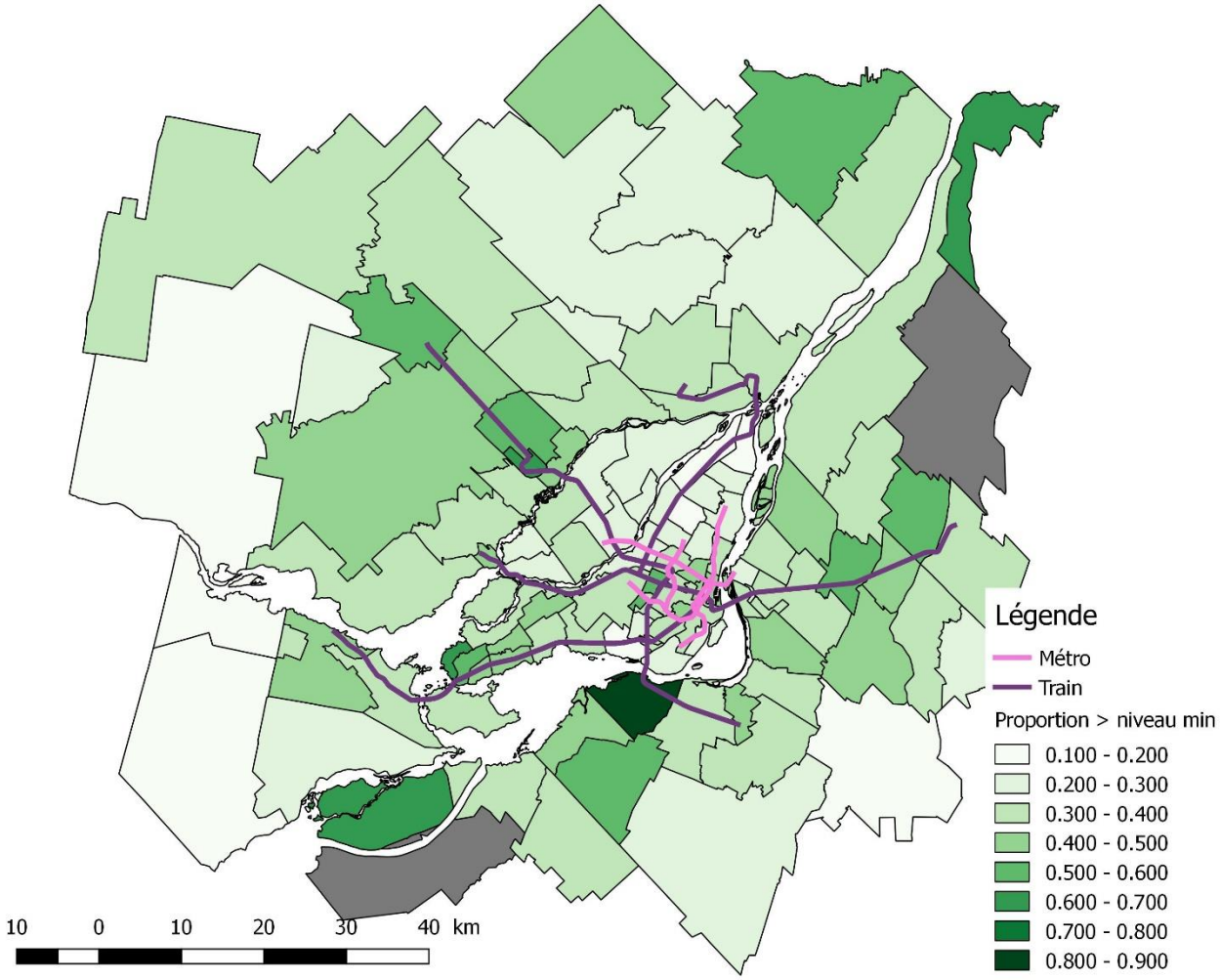


Figure 5-13 : Proportion des utilisateurs actuels de modes motorisés pouvant atteindre le niveau potentiel d'activité physique quotidien recommandé selon le lieu de résidence

Dans cette figure, on peut voir que les secteurs où la proportion des individus atteignent le seuil minimum sont davantage localisés en périphérie de l'île, tout comme pour les utilisateurs du transport en commun, à la différence que les niveaux sont, de façon générale, plus élevés.

5.3.3 Application à l'étude de scénarios de transport en commun

La présente étude permet d'étudier le niveau d'activité physique potentiellement réalisable par les usagers dans le cadre de scénarios de développement du transport en commun. La section illustre deux possibilités d'application.

5.3.3.1 Suggestion de trajets actifs

La méthode permet d'effectuer des scénarios de trajets alternatifs incluant des portions supplémentaires actives dans les déplacements et d'ainsi atteindre les cibles d'activité physique par le biais de l'utilisation du transport en commun. Par exemple, la fermeture temporaire de la station de métro Côte-Vertu pour des fins de rénovations entraînera une modification au réseau actuel de transport en commun. En effet, des mesures sont prises pour déplacer les gens à partir de la station précédente, soit la station Du Collège, à l'aide d'autobus.

Néanmoins, il est possible d'utiliser les présentes observations afin de proposer un trajet différent entre les stations, soit un transfert actif qui aura un impact notable sur la santé des individus effectuant ce transfert.

La carte suivante présente la situation géographique du transfert utilisé en exemple.

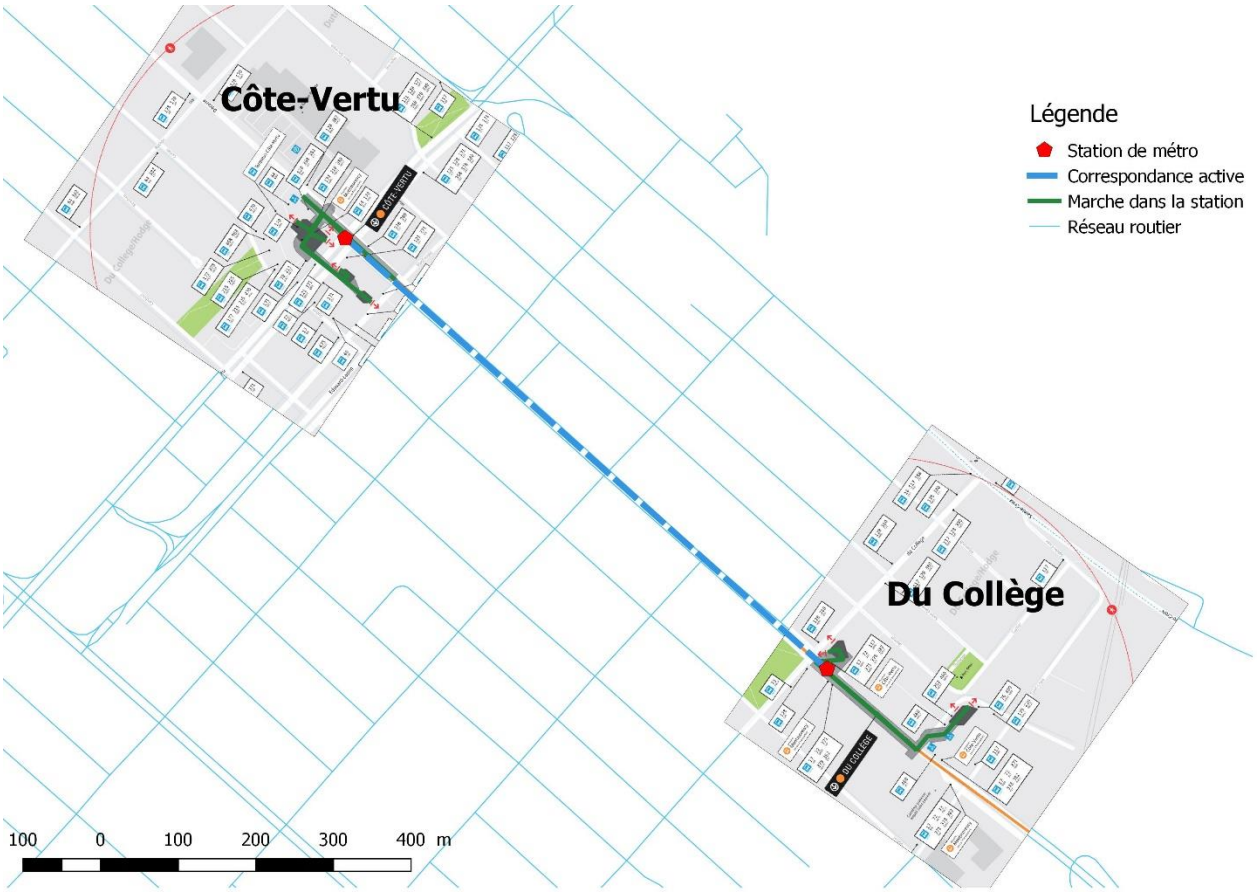


Figure 5-14 : Représentation géographique du transfert actif possible.

Ce faisant, avec le niveau d'analyse 10, c'est-à-dire celui utilisé pour l'ensemble de l'étude, il est possible de calculer le niveau d'activité physique pour un transfert actif, plutôt qu'un transfert en autobus.

Tableau 5-5 : Détails du calcul du transfert actif proposé

Paramètre de marche du transfert	**Distance considérée pour le transfert en autobus (m)**	**Distance considérée pour un transfert actif (m)**
Entre les stations	0	854
Demi-longueur du quai	76,2	76,2
Entre le quai et la sortie	167,7	167,7
Profondeur du quai	17,7	17,7
Total	261,6	1115,6
Niveau d'activité physique associé	**0 MET**	**0,73 MET**

Le présent calcul montre donc qu'en effectuant ce transfert de façon active, il est possible de cumuler 0,73 MET, alors que le niveau pour un transfert en autobus serait de 0 MET, puisque le temps de marche de ce scénario est de moins de 10 minutes.

5.3.3.2 Scénarios de développement du réseau

De façon plus générale, la méthode permet d'évaluer des scénarios de modification au réseau de transport en commun. En connaissant la localisation des arrêts, il est possible de simuler les individus utilisant ce tracé et de vérifier les distances de marche, les pentes impliquées dans le parcours et donc le niveau d'activité physique du déplacement. Un niveau moyen de l'activité physique des utilisateurs de cette ligne peut donc être établi.

Il en va de même pour un choix de localisation d'arrêt. Par exemple, sa localisation géographique entraînera des quantités plus ou moins grandes de marche pour l'atteindre ou même sa localisation influencera son élévation et donc la pente à franchir pour l'atteindre.

5.3.4 Perspectives

La méthodologie d'évaluation du niveau d'activité physique pourrait évidemment être précisée sous divers aspects. Tout d'abord, actuellement les temps de transferts ne sont pas inclus dans l'évaluation, en raison du format de données dans lequel les résultats de la simulation de Transition ont été fournis. Néanmoins, même si la grande majorité des transferts ne durait pas plus de 10 minutes, il serait pertinent d'inclure ces portions de déplacement liées aux transferts. Dans le même ordre d'idée, l'estimation des temps de marche dans les stations de métro et de train pourrait être

peaufinée. En raison de la non-disponibilité des données désagrégées et détaillées des distances de marche exactes entre les véhicules de transport en commun, voire même chacune des portes de sortie, et les différentes sorties, il n'est actuellement possible de connaître les distances réelles de marche réalisées dans les stations. Toutefois, par un raffinement des détails des stations et du positionnement des différents éléments comme les escaliers ou les portes des véhicules, il serait possible de préciser les distances. Un indice de tortuosité des stations pourrait être développé, puisque certaines quantités de pas non productifs sont réalisées au sein de celles-ci.

L'amélioration pourrait également passer par une bonification de la disponibilité des données relatives au transport de matériel par les individus durant leurs déplacements. En effet, il est impossible de connaitre la charge exacte transportée par les individus, mais en réalisant une étude sur les individus, le type de charge et le poids de celle-ci, dans un contexte montréalais, il serait possible d'appliquer les constats tirés à l'ensemble des résultats.

Enfin, spécifiquement pour la portion d'évaluation du potentiel de réalisation d'activité physique, il serait plus pertinent d'utiliser des critères de transfert modal pour filtrer les individus qui pourraient potentiellement réellement effectuer ce transfert. Certains individus ont des limitations physiques empêchant ou limitant la réalisation de la marche, alors ceux-ci ne pourraient pas réaliser un transfert modal pour augmenter les distances de marche. Ceci devrait être pris en considérant dans l'étude. De plus, il serait intéressant d'intégrer une représentation de la non-volonté de marcher des individus, qui pourrait prendre la forme d'un point d'équilibre entre le niveau d'activité physique réalisable et la volonté d'un individu d'effectuer une portion de marche dans son déplacement. De cette façon, la représentativité de l'étude serait améliorée.

CHAPITRE 6 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Chacune des trois sections centrales de ce mémoire propose une analyse en soi, c'est-à-dire une contribution méthodologique de l'évaluation de la durabilité du transport collectif, l'analyse du potentiel de contact social par l'exposition sociale dynamique ainsi que l'établissement d'une mesure de l'activité physique induite par l'utilisation du transport en commun.

Ce mémoire propose des contributions pour l'établissement d'un système d'indicateurs de durabilité pour l'évaluation de scénarios de transport en commun. Premièrement, une compréhension des enjeux de l'évaluation dans le contexte du transport collectif a permis d'établir à la fois l'objectif et un système d'indicateurs de durabilité sur lequel est basé le développement des indicateurs spécifiques au transport collectif. Elle a également permis d'effectuer des propositions quant au développement méthodologique de certains des indicateurs, mais également de tendre vers une meilleure compréhension des enjeux entourant d'autres indicateurs spécifiques. Le domaine de la durabilité étant vaste, puisqu'il touche à trois piliers conceptuels, environnement, société et économie, il n'a pas été possible de réaliser le développement complet d'une méthodologie adéquate, basée sur une revue de littérature exhaustive pour chacune des orientations d'indicateurs proposés par Sioui (2014). Il est cependant recommandé de continuer le développement de ces indicateurs, afin de transformer les propositions en indicateurs applicables dans un contexte de prise de décision pour le développement de scénarios de transport collectif.

Deuxièmement, l'étude de l'exposition sociale a permis de montrer son caractère dynamique au sein des secteurs, avec une variation spatio-temporelle importante. Les déplacements permettent donc aux individus d'être exposés à des conditions sociales différentes de leur lieu de domicile, où l'exposition sociale statique est normalement étudiée, et même d'atteindre des niveaux de mixité largement supérieurs, comparativement aux individus demeurés au lieu de domicile. Ces observations ont permis l'établissement d'un indicateur permettant de mesurer la contribution d'une composante du réseau de transport collectif à l'atteinte de contextes sociaux diversifiés.

Troisièmement et finalement, le niveau d'activité physique atteint par l'utilisation du transport en commun est étudié. Tel qu'il a déjà été montré dans la littérature, le transport en commun permet d'atteindre une proportion importante du niveau d'activité physique recommandé quotidiennement. Le niveau des non-utilisateurs du transport en commun est également étudié afin de montrer le bénéfice qu'il serait possible de tirer en utilisant le transport collectif. Cette analyse

est importante dans un contexte d'évaluation de la durabilité en raison de la relation forte qui existe entre réalisation d'activité physique et bénéfices pour la santé personnelle et publique. Une mise en application à un exemple de transfert actif est enfin réalisée afin de montrer le potentiel d'application à divers autres scénarios de transport en commun en développement, ou des modifications mineures au réseau actuel.

6.1 Principales contributions

Le mémoire présente des contributions à différents niveaux. Tout d'abord, il permet d'établir en cadre conceptuel pour développer un système d'indicateurs de durabilité spécifique au transport en commun. Grâce à l'équilibre de concepts proposés par l'étude Sioui (2014), il est adéquat de l'employer dans le contexte montréalais pour le transport commun. De ce cadre conceptuel, deux indicateurs ont également été développés.

Le premier, le potentiel d'exposition social grâce aux déplacements, représente une contribution par le fait qu'il apporte une vision dynamique de la composition sociale. Alors que les analyses de composition sociale sont normalement réalisées de façon statique, c'est-à-dire au lieu de domicile, cette nouvelle méthode propose de prendre en considération les mouvements spatio-temporels de la population afin de considérer leur exposition sociale aux lieux d'activité. Cette perspective permet également de comprendre la contribution du transport à l'atteinte de milieu différents, en montrant que les individus réalisant des déplacements sont enclins à être exposés à des milieux davantage mixtes que les individus non-mobiles.

Le second, la réalisation d'activité physique grâce à l'utilisation du transport en commun, permet d'offrir une nouvelle perspective à la portion active des déplacements réalisés en transport collectif. En effet, il était déjà connu que les déplacements en transport en commun permettent d'atteindre des cibles favorables pour la santé, mais l'utilisation d'une unité de mesure comme le MET contribue à développer les liens entre santé et transport. Elle permet de comprendre de façon plus large les éléments influençant le niveau d'activité physique. De plus, l'étude contribue à la compréhension de l'enjeu de l'activité physique pour la santé en brossant un portrait de la population montréalaise quant à l'atteinte des cibles de réalisation d'activité physique grâce aux déplacements quotidiens. Elle permet également de développer une estimation des individus

n'utilisant pas le transport collectif, mais qui pourraient potentiellement réaliser une part importante d'activité physique quotidienne en utilisant seulement le transport en commun.

6.2 Principales limitations

Plusieurs limitations sont présentes dans le mémoire. De façon générale, le fait que les indicateurs n'aient pas été tous développés empêche la confirmation hors de tout doute que les indicateurs vont conserver leur équilibre qui avait été avancé par Sioui. En effet, un effort avait été posé afin de vérifier les liens de causalité entre les indicateurs ainsi qu'avec les grands thèmes de la mobilité durable. Il est primordial de conserver ces liens qui font la force du système d'indicateurs. Le développement des indicateurs doit se fait en ce sens, mais ils ne sont pas tous complètement déterminés, alors la confirmation n'est pas possible. De plus, l'échelle d'application des indicateurs n'est pas choisie définitivement. En effet, des propositions sont effectuées pour appliquer à différentes échelles, mais aucun indicateur n'est arrêté sur une seule échelle. Ceci limite la mise en application à des scénarios réels. Davantage d'efforts devraient être mis sur cet aspect dans d'éventuelles études afin de connaître l'échelle la plus adéquate pour appliquer le système d'indicateurs.

Pour ce qui est de l'exposition sociale, la principale limitation se retrouve dans le fait que le potentiel d'exposition sociale se retrouve aux lieux d'activité et non durant les déplacements. Le transport en commun, encore plus que les autres modes, est reconnu pour être un lieu d'exposition important, alors il serait important de le considérer pour offrir un portrait complet de l'exposition sociale. De plus, les zones d'étude ont une aire de 1 km^2 ce qui fait en sorte qu'il s'agit de vastes zones où les individus peuvent être dispersés et limiter ainsi le potentiel de contact par l'exposition. Il serait encore plus précis d'utiliser des zones à proximité des individus, mais la précision des données disponibles ne permet pas de désagréger l'information à ce niveau. Enfin, les caractéristiques sociales sont considérées de façon individuelle, mais il est évident qu'un individu porte plus d'une caractéristique sociale. Il s'agit donc d'une limitation conceptuelle que de ne considérer qu'une caractéristique à la fois, ce qui limite la représentativité du portrait général de l'exposition.

L'analyse de l'activité physique liée à l'utilisation du transport en commun comporte également certaines limitations. Tout d'abord, on considère une vitesse de marche constante pour l'ensemble

de la population, donc une dépense énergétique semblable pour l'ensemble des individus. Il est évident que le style de marche peut changer d'un individu à l'autre, mais également d'un moment à l'autre de la journée, entre autres en raison du motif de déplacement. Ces éléments ne sont toutefois pas pris en considération dans l'analyse, ce qui représente une limite importante. L'intégration des facteurs d'influence de l'intensité de l'activité physique est également limitée en raison de la disponibilité des données, malgré leur importance sur l'activité physique réellement réalisée. Dans la portion d'étude du gain potentiel d'activité physique, on retrouve une autre limite considérable. En effet, peu de critères de possibilité de transfert modal sont utilisés, ce qui fait en sorte qu'on ne considère pas les dispositions physiques de la population pouvant réaliser un changement vers le transport collectif.

6.3 Perspectives de recherche

Le présent mémoire présente une quantité importante de perspectives de recherche. Pour ce qui est des deux indicateurs développés, leurs perspectives ont été présentées dans leur chapitre respectif. Pour l'exposition sociale, on propose notamment de développer l'étude de l'exposition durant le temps de déplacement en transport collectif, en plus de développer des personas combinant l'ensemble des caractéristiques sociales analysées. Il serait également intéressant d'inclure davantage de caractéristiques décrivant les individus, notamment le niveau de scolarité.

Quant à l'étude de l'activité physique, l'étude des stations de métro est une perspective importante afin de préciser le niveau d'activité physique réalisé à l'intérieur de celles-ci, par le développement des distances entre les points d'entrée et d'accès aux véhicules ainsi que les chemins empruntés par les usagers. Il serait également intéressant de développer une étude sur le poids du matériel transporté par les usagers. Le poids transporté par les écoliers est détaillé dans la littérature, mais on ne peut pas en dire autant des travailleurs, des individus effectuant du magasinage ou l'épicerie, pour ne nommer que ceux-ci.

Néanmoins, les plus grandes perspectives de recherche se logent dans le développement d'indicateurs de durabilité pour le transport en commun. Deux indicateurs ont été développés et des propositions de développement ont été effectuées pour les autres orientations, mais davantage de travail de recherche est nécessaire afin de les développer convenablement et peaufiner leur applicabilité. Un travail de grande envergure serait donc nécessaire pour chaque orientation afin de

développer chacun d'entre eux. Par la suite, un travail d'agrégation pourrait être effectué. Cette étape est cruciale puisque c'est celle-ci qui permettrait d'offrir un niveau global de durabilité aux scénarios de transport en commun. Il s'agit toutefois d'une question complexe qui nécessiterait une étude particulière. L'échelle d'application pourrait également être développée davantage afin d'assurer que l'ensemble des indicateurs puissent s'appliquer au même niveau.

RÉFÉRENCES

Ainsworth, B., Haskell, W., Herrmann, S., Meckes, N., Bassett Jr, D., Tudor-Locke, C., . . . Leon, A. (2011). The Compendium of Physical Activities Tracking Guide. Retrieved from https://sites.google.com/site/compendiumofphysicalactivities/

Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Bassett Jr, D. R., Tudor-Locke, C., . . . Leon, A. S. (2011). 2011 Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Medicine & science in sports & exercise, 43*(8), 1575-1581.

Alaily-Mattar, N. (2008). Beyond gated communities? Detachment and concentration in networked nodes of affluence in the city of Beirut. *Urban Design International, 13*(4), 263-271.

Anderson, E. (2011). *The cosmopolitan canopy: Race and civility in everyday life*: WW Norton & Company.

Argonne. (2018). *Summary of Expansion and Updates in GREET 2018*. Retrieved from Chicago, USA:

Askins, K., & Pain, R. (2011). and the messiness of interaction. Environment and Planning D: Society and Space, 29 (5). pp. 803-821. ISSN 0263-7758 Copyright© 2011 Pion.

Atkinson, R. (2006). Padding the bunker: strategies of middle-class disaffiliation and colonisation in the city. *Urban Studies, 43*(4), 819-832.

Atkinson, R., & Flint, J. (2004). Fortress UK? Gated communities, the spatial revolt of the elites and time–space trajectories of segregation. *Housing studies, 19*(6), 875-892.

Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy, 15*(2), 73-80.

Barcelo, M. (1999). *Des indicateurs de la qualité environnementale urbaine.* Paper presented at the INRS-Urbanisation (éd.), Les indicateurs de positionnement Benchmarking des métropoles: besoins et potentialités en contexte montréalais, Actes du colloque.

Bauer, K., Bosker, T., Dirks, K. N., & Behrens, P. (2018). The impact of seating location on black carbon exposure in public transit buses: Implications for vulnerable groups. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 62*, 577-583.

Beaudet, G., Demers, M., Lamalice, C., Morency, C., & Wolff, P. (2008). *La contribution du transport collectif au développement durable des villes du Québec*. Retrieved from

Blokland, T., & Van Eijk, G. (2010). Do people who like diversity practice diversity in neighbourhood life? Neighbourhood use and the social networks of ‘diversity-seekers’ in a mixed neighbourhood in the Netherlands. *Journal of Ethnic and Migration Studies, 36*(2), 313-332.

Boterman, W. R., & Musterd, S. (2016). Cocooning urban life: Exposure to diversity in neighbourhoods, workplaces and transport. *Cities, 59*, 139-147.

Bouchard, C., Blair, S. N., & Haskell, W. L. (2018). *Physical activity and health*: Human Kinetics.

Bouni, C. (1998). L’enjeu des indicateurs du développement durable. Mobiliser des besoins pour concrétiser des principes. *Natures sciences sociétés, 6*(3), 18-26.

Brundtland, G. (1987). Our common future: Report of the 1987 World Commission on Environment and Development. *United Nations, Oslo, 1*, 59.

Brundtland, G. H. (1987). Notre Avenir à Tous, rapport de la commission mondiale sur l'Environnement et le Développement. *Les Editions du Fleuve, Paris (traduction française de Our Common Future*.

Burke, A., & Miller, M. (2011). The power capability of ultracapacitors and lithium batteries for electric and hybrid vehicle applications. *Journal of Power Sources, 196*(1), 514-522.

Campbell, C., Wood, R., & Kelly, M. (1999). *Social capital and health*: Health Education Authority.

Canada, R. N. (2018). *Guide de consommation de carburant 2018*.

Canada, T. (2009). *Rapport technique - Technologie hybride*. Retrieved from

CCMM. (2010). *Le transport en commun : Au coeur du développement économique de Montréal*. Retrieved from Montréal:

Clark, B. K., Sugiyama, T., Healy, G. N., Salmon, J., Dunstan, D. W., Shaw, J. E., . . . Owen, N. (2010). Socio-demographic correlates of prolonged television viewing time in Australian men and women: the AusDiab study. *Journal of Physical Activity and Health, 7*(5), 595-601.

Control, C. f. D., & Prevention. (2005). Barriers to children walking to or from school--United States, 2004. *MMWR: Morbidity and mortality weekly report, 54*(38), 949-952.

Dames, K. D., & Smith, J. D. (2015). Effects of load carriage and footwear on spatiotemporal parameters, kinematics, and metabolic cost of walking. *Gait & posture, 42*(2), 122-126.

de Transport, A. M. (2013). L'enquête origine-destination 2013. *Mobilité des*.

Duncan, O. D., & Duncan, B. (1955). A methodological analysis of segregation indexes. *American sociological review, 20*(2), 210-217.

Dziekan, K., & Kottenhoff, K. (2007). Dynamic at-stop real-time information displays for public transport: effects on customers. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 41*(6), 489-501. doi:https://doi.org/10.1016/j.tra.2006.11.006

Edwards, R. D. (2008). Public transit, obesity, and medical costs: assessing the magnitudes. *Preventive medicine, 46*(1), 14-21.

Ellis, M., Wright, R., & Parks, V. (2004). Work together, live apart? Geographies of racial and ethnic segregation at home and at work. *Annals of the Association of American Geographers, 94*(3), 620-637.

énergétique, O. d. l. e. (2008). *Émissions de GES du transport des voyageurs par source d'énergie et mode de transport*. Retrieved from Ottawa:

Eric Oliver, J., & Wong, J. (2003). Intergroup prejudice in multiethnic settings. *American journal of political science, 47*(4), 567-582.

Ewing, R., & Cervero, R. (2001). Travel and the built environment: a synthesis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(1780), 87-114.

Farber, S., Neutens, T., Miller, H. J., & Li, X. (2013). The social interaction potential of metropolitan regions: A time-geographic measurement approach using joint accessibility. *Annals of the Association of American Geographers, 103*(3), 483-504.

Farber, S., & Páez, A. (2009). My car, my friends, and me: a preliminary analysis of automobility and social activity participation. *Journal of Transport Geography, 17*(3), 216-225.

Faulkner, G. E., Buliung, R. N., Flora, P. K., & Fusco, C. (2009). Active school transport, physical activity levels and body weight of children and youth: a systematic review. *Preventive medicine, 48*(1), 3-8.

Feng, J., Glass, T. A., Curriero, F. C., Stewart, W. F., & Schwartz, B. S. (2010). The built environment and obesity: a systematic review of the epidemiologic evidence. *Health & place, 16*(2), 175-190.

Ferris, B., Watkins, K., & Borning, A. (2010). *OneBusAway: results from providing real-time arrival information for public transit.* Paper presented at the Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems.

Gallivan, F., & Hoffman, J. (2018). *Tools for a Sustainable Transit Agency*.

Gendron, C., & Revéret, J.-P. (2000). Le développement durable. *Économies et sociétés, 37*(91), 111-124.

Gidlöf-Gunnarsson, A., Ögren, M., Jerson, T., & Öhrström, E. (2012). Railway noise annoyance and the importance of number of trains, ground vibration, and building situational factors. *Noise and Health, 14*(59), 190.

Gilbert, R., Irwin, N., Hollingworth, B., & Blais, P. (2003). Sustainable transportation performance indicators (STPI). *Transportation Research Board (TRB), CD ROM*.

Gudmundsson, H. (2003). Donner du sens aux concepts. La mobilité durable et les systèmes d'indicateurs dans le domaine de la politique des transports. *Revue internationale des sciences sociales, 176*(2), 221-242. doi:10.3917

Haghshenas, H., & Vaziri, M. (2012). Urban sustainable transportation indicators for global comparison. *Ecological Indicators, 15*(1), 115-121. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.09.010

Handy, S., Cao, X., & Mokhtarian, P. (2005). Correlation or causality between the built environment and travel behavior? Evidence from Northern California. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 10*(6), 427-444.

Hanson, S. (2010). Gender and mobility: new approaches for informing sustainability. *Gender, Place & Culture, 17*(1), 5-23.

Harvey, A. S., & Taylor, M. E. (2000). Activity settings and travel behaviour: A social contact perspective. *Transportation, 27*(1), 53-73.

Haskell, W. L., Lee, I.-M., Pate, R. R., Powell, K. E., Blair, S. N., Franklin, B. A., . . . Bauman, A. (2007). Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation, 116*(9), 1081.

Helmrich, S. P., Ragland, D. R., Leung, R. W., & Paffenbarger Jr, R. S. (1991). Physical activity and reduced occurrence of non-insulin-dependent diabetes mellitus. *New England journal of medicine, 325*(3), 147-152.

Holmberg, K., Andersson, P., Nylund, N.-O., Mäkelä, K., & Erdemir, A. (2014). Global energy consumption due to friction in trucks and buses. *Tribology International, 78*, 94-114.

Jain, D., & Tiwari, G. (2017). Sustainable mobility indicators for Indian cities: Selection methodology and application. *Ecological Indicators, 79*, 310-322. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.03.059

James, P., Troped, P. J., Hart, J. E., Joshu, C. E., Colditz, G. A., Brownson, R. C., . . . Laden, F. (2013). Urban sprawl, physical activity, and body mass index: Nurses' Health Study and Nurses' Health Study II. *American journal of public health, 103*(2), 369-375.

Joumard, R., Gudmundsson, H., & Folkeson, L. (2011). Framework for assessing indicators of environmental impacts in the transport sector. *Transportation Research Record, 2242*(1), 55-63.

Kawamura, K., Tokuhiro, A., & Takechi, H. (1991). Gait analysis of slope walking: a study on step length, stride width, time factors and deviation in the center of pressure. *Acta Medica Okayama, 45*(3), 179-184.

Keseru, I., & Macharis, C. (2018). Travel-based multitasking: review of the empirical evidence. *Transport Reviews, 38*(2), 162-183.

Kwan, M.-P. (2013). Beyond space (as we knew it): Toward temporally integrated geographies of segregation, health, and accessibility: Space–time integration in geography and GIScience. *Annals of the Association of American Geographers, 103*(5), 1078-1086.

Lajunen, A. (2014). Energy consumption and cost-benefit analysis of hybrid and electric city buses. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 38*, 1-15.

Langlois, M., Wasfi, R. A., Ross, N. A., & El-Geneidy, A. M. (2016). Can transit-oriented developments help achieve the recommended weekly level of physical activity? *Journal of Transport & Health, 3*(2), 181-190.

Laval, V. d. (2013). *Plan de mobilité active de Laval*. Retrieved from Laval, Québec:

Lee, I.-M. (2003). Physical activity and cancer prevention--data from epidemiologic studies. *Medicine and science in sports and exercise, 35*(11), 1823-1827.

Lee, J. Y., & Kwan, M. P. (2011). Visualisation of socio-spatial isolation based on human activity patterns and social networks in space-time. *Tijdschrift voor economische en sociale geografie, 102*(4), 468-485.

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

Leyden, K. M. (2003). Social capital and the built environment: the importance of walkable neighborhoods. *American journal of public health, 93*(9), 1546-1551.

Lieberson, S. (1969). Measuring population diversity. *American sociological review*, 850-862.

Litman, T. (2005). Well Measured: Developing indicators for comprehensive and sustainable transport planning.

Loury, G. C. (2000). *Social exclusion and ethnic groups: The challenge to economics.* Paper presented at the The annual World Bank conference on development economics.

Lyons, G., Jain, J., & Holley, D. (2007). The use of travel time by rail passengers in Great Britain. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 41*(1), 107-120.

Mahmoud, M., Garnett, R., Ferguson, M., & Kanaroglou, P. (2016). Electric buses: A review of alternative powertrains. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62*, 673-684.

Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological review, 50*(4), 370.

Matejskova, T., & Leitner, H. (2011). Urban encounters with difference: the contact hypothesis and immigrant integration projects in eastern Berlin. *Social & Cultural Geography, 12*(7), 717-741.

Meyer, M. D., & Miller, E. J. (1984). Urban transportation planning: a decision-oriented approach.

Miller, H. (2007). Place-based versus people-based geographic information science. *Geography Compass, 1*(3), 503-535.

Miller, P., de Barros, A. G., Kattan, L., & Wirasinghe, S. (2016). Public transportation and sustainability: A review. *KSCE Journal of Civil Engineering, 20*(3), 1076-1083.

Ministère du développement durable, d. l. e. e. d. l. l. c. l. c. c. (2018). *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2015 et leur évolution depuis 1990*. Retrieved from Québec: http://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/2015/Inventaire1990-2015.pdf

Moles, R., Foley, W., Morrissey, J., & O'Regan, B. (2008). Practical appraisal of sustainable development—Methodologies for sustainability measurement at settlement level. *Environmental Impact Assessment Review, 28*(2-3), 144-165.

Montréal, V. d. (2008). *Réinventer montréal : plan de transport*. Retrieved from Montréal, Québec:

Morency, C., Trépanier, M., & Demers, M. (2011). Walking to transit: an unexpected source of physical activity. *Transport Policy, 18*(6), 800-806.

Murray, C. J., Vos, T., Lozano, R., Naghavi, M., Flaxman, A. D., Michaud, C., . . . Abdalla, S. (2012). Disability-adjusted life years (DALYs) for 291 diseases and injuries in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The lancet, 380*(9859), 2197-2223.

Myers, J., Kaykha, A., George, S., Abella, J., Zaheer, N., Lear, S., . . . Froelicher, V. (2004). Fitness versus physical activity patterns in predicting mortality in men. *The American journal of medicine, 117*(12), 912-918.

Nicolas, J.-P., Pochet, P., & Poimboeuf, H. (2003). Towards sustainable mobility indicators: application to the Lyons conurbation. *Transport Policy, 10*(3), 197-208.

OMS, O. m. d. l. S. (2009). *Recommandations mondiales sur l'activité physique pour la santé*. Genève Retrieved from http://apps. who. int/iris/bitstream/10665/44436/1/9789242599978_ fre. pdf.

Owen, N., Sugiyama, T., Eakin, E. E., Gardiner, P. A., Tremblay, M. S., & Sallis, J. F. (2011). Adults' sedentary behavior: determinants and interventions. *American journal of preventive medicine, 41*(2), 189-196.

Páez, A., & Whalen, K. (2010). Enjoyment of commute: A comparison of different transportation modes. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 44*(7), 537-549.

Paravantis, J., & Georgakellos, D. (2007). Trends in energy consumption and carbon dioxide emissions of passenger cars and buses. *Technological Forecasting and Social Change, 74*(5), 682-707.

Paunović, K., Belojević, G., & Jakovljević, B. (2014). Noise annoyance is related to the presence of urban public transport. *Science of the Total Environment, 481*, 479-487.

Pope, J., Annandale, D., & Morrison-Saunders, A. (2004). Conceptualising sustainability assessment. *Environmental Impact Assessment Review, 24*(6), 595-616.

Putnam, R. D. (1993). The prosperous community. *The american prospect, 4*(13), 35-42.

Putnam, R. D. (2000). Bowling alone: America's declining social capital *Culture and politics* (pp. 223-234): Springer.

Putnam, R. D. (2007). E pluribus unum: Diversity and community in the twenty-first century the 2006 Johan Skytte Prize Lecture. *Scandinavian political studies, 30*(2), 137-174.

Québec, G. d. (2018). Politique de mobilité durable - 2030.

Québec, V. d. (2011). *Plan de mobilité durable - Pour vivre et se déplacer autrement*. Retrieved from Québec, Québec:

Rodriguez, A., & Vogt, C. A. (2009). Demographic, environmental, access, and attitude factors that influence walking to school by elementary school-aged children. *Journal of School Health, 79*(6), 255-261.

Rodríguez, D. A., & Joo, J. (2004). The relationship between non-motorized mode choice and the local physical environment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 9*(2), 151-173.

Sallis, J. F. (2009). Measuring physical activity environments: a brief history. *American journal of preventive medicine, 36*(4), S86-S92.

Salmon, J., Owen, N., Crawford, D., Bauman, A., & Sallis, J. F. (2003). Physical activity and sedentary behavior: a population-based study of barriers, enjoyment, and preference. *Health psychology, 22*(2), 178.

Sari, N. (2009). Physical inactivity and its impact on healthcare utilization. *Health Economics, 18*(8), 885-901.

Silder, A., Delp, S. L., & Besier, T. (2013). Men and women adopt similar walking mechanics and muscle activation patterns during load carriage. *Journal of biomechanics, 46*(14), 2522-2528.

Singleton, P. A., Schneider, R. J., Muhs, C., & Clifton, K. J. (2014). *The pedestrian index of the environment: Representing the walking environment in planning applications*. Retrieved from

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

Spinney, J. E., Scott, D. M., & Newbold, K. B. (2009). Transport mobility benefits and quality of life: A time-use perspective of elderly Canadians. *Transport Policy, 16*(1), 1-11.

STM. (2018). *Rapport de développement durable 2018 - Tableau complet des indicateurs de développement durable 2011-2018*. Retrieved from http://stm.info/sites/default/files/pdf/fr/indicateursdd2018.pdf

Tanguay, G. A., Rajaonson, J., Lefebvre, J.-F., & Lanoie, P. (2010). Measuring the sustainability of cities: An analysis of the use of local indicators. *Ecological Indicators, 10*(2), 407-418.

Theil, H. (1972). *Statistical decomposition analysis in the social and administrative sciences*: Center for Mathematical Studies in Business and Economics, University of Chicago.

Tremblay, M. S., Colley, R. C., Saunders, T. J., Healy, G. N., & Owen, N. (2010). Physiological and health implications of a sedentary lifestyle. *Applied physiology, nutrition, and metabolism, 35*(6), 725-740.

USHHS. (2008). 2008 Physical Activity Guidelines for Americans.

Valentine, G. (2008). Living with difference: reflections on geographies of encounter. *Progress in human geography, 32*(3), 323-337.

Walks, R. A., & Maaranen, R. (2008). Gentrification, social mix, and social polarization: Testing the linkages in large Canadian cities. *Urban Geography, 29*(4), 293-326.

Warburton, D. E., Nicol, C. W., & Bredin, S. S. (2006). Health benefits of physical activity: the evidence. *Cmaj, 174*(6), 801-809.

Wellman, B., & Potter, S. (1999). The Elements of Personal Communities. S. 49-81 in: Wellman, Barry (Hrsg.), Networks in the Global Village. Life in Contemporary Communities. Boulder: Oxford: Westview Press.

White, M. J. (1986). Segregation and diversity measures in population distribution. *Population index*, 198-221.

Wilson, H. F. (2011). Passing propinquities in the multicultural city: the everyday encounters of bus passengering. *Environment and planning A, 43*(3), 634-649.

Wong, D. W., & Shaw, S.-L. (2011). Measuring segregation: An activity space approach. *Journal of geographical systems, 13*(2), 127-145.

Yang, F., Kaul, D., Wong, K. C., Westerdahl, D., Sun, L., Ho, K.-f., . . . Ning, Z. (2015). Heterogeneity of passenger exposure to air pollutants in public transport microenvironments. *Atmospheric environment, 109*, 42-51.

Zegras, C. (2006). *Sustainable transport indicators and assessment methodologies.* Paper presented at the Biannual Conference and Exhibit of the Clean Air Initiative for Latin American Cities.

Zheng, J., Atkinson-Palombo, C., McCahill, C., O'Hara, R., & Garrick, N. W. (2011). Quantifying the economic domain of transportation sustainability. *Transportation Research Record, 2242*(1), 19-28.

Zito, P., Amato, G., Amoroso, S., & Berrittella, M. (2011). The effect of Advanced Traveller Information Systems on public transport demand and its uncertainty. *Transportmetrica, 7*(1), 31-43.

Zittoun, P. (2009). *Des indicateurs pour gouverner: boussoles ou miroirs déformants*. Retrieved from

Zuurbier, M., Hoek, G., Oldenwening, M., Lenters, V., Meliefste, K., Van Den Hazel, P., & Brunekreef, B. (2010). Commuters' exposure to particulate matter air pollution is affected

by mode of transport, fuel type, and route. *Environmental health perspectives, 118*(6), 783-789.

Annexe A Systèmes d’indicateurs présentés par Sioui (2014)

1. Système d'indicateurs du Victoria Transport Policy Institute [**VTPI**], Canada (Litman, 2010).

2. Index of Sustainable Urban Mobility [**I_SUM**], Brésil (Rodrigues da Silva et al., 2010).

3. Sustainable Transportation Performance Indicators [**STPI**] du Centre pour un transport durable, Canada (Gilbert, Irwin, Hollingworth, & Blais, 2002).

4. Planning and Research Of POlicies Land use and transport for Increasing urban Sustainability [**PROPOLIS**], financé par la Commission européenne (Lautso, 2004).

5. Un module d'indicateurs de développement durable [**SUSTAIN**] pour le modèle IMULATE intégrant les transports et l'aménagement, Canada (Maoh & Kanaroglou, 2009).
50
6.. SImuler les MoBilités pour une Agglomération Durable [**SIMBAD**], France (Verry & Nicolas, 2005).

7. Evaluative and Logical Approach to Sustainable Transport Indicator Compilation [**ELASTIC**], Angleterre (Castillo & Pitfield, 2010).

8. Système d'indicateurs du Transport and Environment Reporting Mechanism [**TERM**], impliquant diverses organisations européennes (TERM, 2000).

9. Indice basé sur le concept d'élasticité [ici surnommé **Rassafi**], Iran (Rassafi & Vaziri, 2007).

10. Cadre d'évaluation de la durabilité proposé par un chercheur de la Parsons Corporation et des collaborateurs d'universités [ici surnommé **Parsons**], États-Unis (Jeon, Amekudzi, & Guensler, 2013).

11. Système d'indicateurs du Centre d'Études Économiques et Sociales de l'Environnement [**CEESE**], Belgique (De Villers & Reniers, 2000).

12. Système d'indicateurs de Sustainable Urban TRAnsportation [**SUTRA**], projet réalisé dans le cadre d'un programme européen (Caratti, Pinelli, & Tarzia, 2001).

13. Système d'indicateurs du Mineta transportation institute [**MTI**], États-Unis (R. A. Johnston & Gao, 2009).

14. Cadre d'évaluation de projets basé sur un indice : le Localized Sustainability Score [**LSS**], États-Unis (Jones, Tefe, & Appiah-Opoku, 2013).

Annexe B Fiches d'indicateurs

La présente section présente les fiches qui ont été développées, sans nécessairement être complétées. Le travail présenté par fiche peut donc varier, en termes de profondeur ou de pistes de développement.

1. Déplacements avec peu de nuisances et favorisant l'ambiance de quartier

1.1.Revue de littérature spécifique

Comme le mentionne la thèse de Sioui (2014), l'état de la recherche sur la quantification des impacts des déplacements sur l'ambiance de quartier est peu avancée. Elle mentionne néanmoins la relation prouvée entre le mode de transport et l'aménagement d'un quartier. (Handy, Cao, & Mokhtarian, 2005; Rodríguez & Joo, 2004). La façon dont le quartier est créé va influencer le mode de transport utilisé selon ces recherches.

La relation est également étudiée sous l'angle de l'effet de la mobilité sur le capital social d'une communauté. Ce concept, largement utilisé dans les travaux de Putnam (Putnam, 1993, 2000), est détaillé comme étant l'organisation d'une communauté et les bénéfices mutuels engendrés pour ses résidents par celle-ci. Il est possible de résumer ce concept par les critères suivants : le réseau relationnel de la communauté, l'engagement social, l'identité sociale, la réciprocité et la confiance (Campbell, Wood, & Kelly, 1999). Plus un niveau de capital social est élevé, plus on observe une communauté soudée et impliquée (Leyden, 2003). On utilise donc ici ce concept de capital social pour représenter la définition de l'ambiance du quartier.

Pour mesurer ce capital social, il est possible d'utiliser le niveau de marchabilité d'un quartier. En effet, une personne vivant dans un quartier avec un réseau routier favorable à la pratique de la marche et un usage du sol mixte a un plus haut niveau de capital social, contrairement à un quartier orienté sur la voiture (Leyden, 2003). La forme urbaine est un élément clé de la pratique de mode de transport (Ewing & Cervero, 2001),sous les aspects résumés par les 5D :

- Densité d'occupation;
- Diversité des usages;
- Design du quartier;
- Distance d'accès au TC;
- Destinations accessibles (Lefebvre-Ropars, 2017).

Des méthodes d'analyse du niveau de marchabilité ont été étudiées dans la littérature et le *Pedestrian Index of Environnement* (Singleton, Schneider, Muhs, & Clifton, 2014) tient compte de 4 des 5 D décrits précédemment (Lefebvre-Ropars, 2017). Les variables prises en compte sont :

- Confort des infrastructures
- Taille des îlots
- Densité de la population et emplois
- Densité des trottoirs
- Accès au TC en pointe
- Commerces et services de proximité (Lefebvre-Ropars, 2017)

L'étude réalisée par Lefebvre-Ropars (2017) présente et compare les méthodes d'analyse de la marchabilité d'un quartier et utilise principalement cet indicateur, justement pour sa large couverture de la description de la forme urbaine permettant la pratique de la marche.

1.2.Description de l'indicateur choisi

Index de marchabilité *Pedestrian Index of the Environment* (PIE) pour la zone étudiée

Tel que mentionné précédemment, le PIE permet de quantifier la possibilité et la qualité de la pratique de la marche pour sur un territoire donné, en se basant sur la forme urbaine et l'aménagement. Cet indicateur représente l'orientation, car, premièrement, Sioui (2014) met de l'avant les déplacements non motorisés comme étant des « déplacements avec peu de nuisance », alors la marche est parfaitement adaptée pour représenter cette faible nuisance, voire aucune nuisance. Deuxième, la littérature présentée précédemment met de l'avant qu'une ville ou un quartier ayant des infrastructures adaptées à la marche voit son capital social augmenter (Leyden, 2003), ce qui définit le critère d'amélioration de l'ambiance du quartier.

1.3.Méthodologie générale

En suivant directement les travaux par Lefebvre-Ropars (2017), la méthodologie présentée au sein de ceux-ci est appliquée. Pour plus de détails, consulter directement ces travaux.

1.4.Application

PEI pour un zone couvrant une zone tampon autour de la ligne d'autobus de 80 m (40 m de chaque côté), par segment de 80 m. Voir la figure suivante pour une représentation schématique.

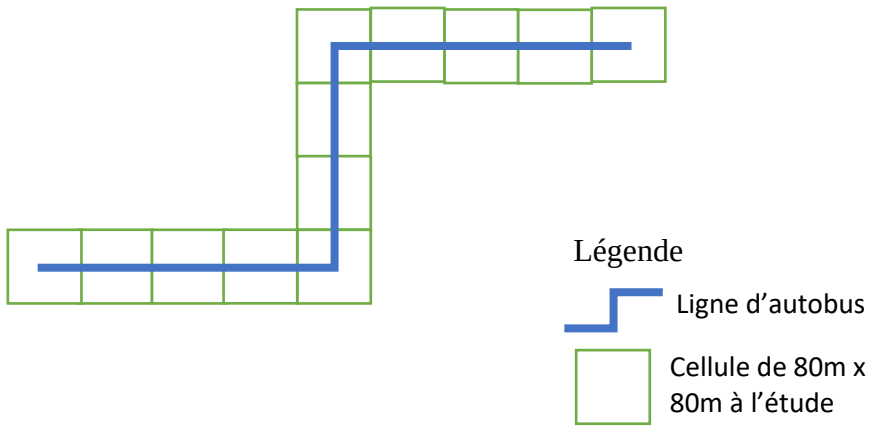


Figure 0-1 Exemple d'application de l'indicateur portant sur les déplacements avec peu de nuisances et favorisant l'ambiance de quartier

Ce découpage est également applicable autour des stations ou arrêts du service de transport collectif.

1.5.Perspectives

Cet indicateur, de la façon qu'il est formulé, recoupe d'autres indicateurs ou orientations formulées par Sioui (2014). Il serait donc intéressant d'effectuer certaines modifications à l'indicateur, dans le but de limiter la possibilité de surreprésentation de certains enjeux.

2. Indisponibilité liée aux déplacements

2.1.Revue de littérature

Tel que le mentionne Sioui (2014), la recherche est très peu avancée sur ce domaine, car l'intérêt pour le sujet semble être très récent. Néanmoins, il est possible de pousser davantage l'analyse du sujet en le décomposant en deux aspects principaux : l'impression de perte de temps et la réalisation de plusieurs tâches simultanées (traduction de « multitasking ») dans un contexte de mobilité.

2.1.1. Impression de perte de temps

L'occupation durant les trajets est parfois étudiée sous l'angle de la valeur du temps, autrement dit pour déterminer si ce temps est perçu comme une perte de temps ou un temps utile. À ce sujet, une étude se penche sur les étudiants de l'Université d'Hamilton, en étudiant si un individu choisirait d'allonger ou de réduire son temps de parcours, pour illustrer son appréciation de son trajet (Páez & Whalen, 2010). Un lien est d'ailleurs établi par cette étude entre les individus qui utilisent leur temps de transport en voiture quotidien (*commute time*) de façon productive et la durée allongée qu'ils désireraient pour leur trajet, soit de 7% plus long en termes de temps. Le comportement contraire est également observé avec les individus qui n'utilisent pas leur temps de façon productive et qui désirent voir leur temps de déplacement en voiture réduit (Páez & Whalen, 2010). Néanmoins, cette même étude soulève que les gens utilisant un mode actif ne désirent pas nécessairement réduire leur temps de déplacement.

Une autre étude compare les motifs de déplacement (Lyons, Jain, & Holley, 2007). Les déplacements réguliers pour se rendre au travail ou à l'école (*commute*) donnent plus souvent l'impression de perdre du temps que les déplacements d'affaire ou de loisir. Cette étude soulève également que la perception du temps, malgré l'occupation productive avec du travail ou des études pendant le déplacement, peut être négative, car le déplacement empêche la réalisation d'activités, parfois plus prioritaires pour l'individu, comme des tâches au domicile.

Somme toute, le temps de transport, particulièrement pour le transport en commun, est majoritairement considéré comme du temps pas entièrement perdu en raison de la réalisation d'autres tâches. Lyons et al. (2007) souligne d'ailleurs que son enquête sur les utilisateurs du train en Grande Bretagne prouve que les trois quarts considèrent ce temps pas complètement perdu.

2.1.2. « Multitasking » durant les déplacements

Une récente méta-analyse a été réalisée dans le but de comprendre l'ensemble de la problématique de la réalisation de tâches durant les déplacements (Keseru & Macharis, 2018); elle est résumée ici.

Tout d'abord, la définition du « multitasking » est variable d'une étude à l'autre, mais elle comprend de façon générale l'action de réaliser une activité, productive ou récréative, en même temps qu'un déplacement. Bien que la majorité des études se concentre sur les modes de transport en commun, quelques études abordent également le transport automobile et quelques fois les modes actifs. Les modes d'enquêtes sont également analysés dans la méta-analyse. Dans les premières recherches, la collection d'informations était davantage sous un format qualitatif, par le biais de groupes de discussion, d'observations ou d'entrevues. Les enquêtes ont par la suite évolué en enquêtes quantitatives où des sondages sont réalisés sur les activités d'occupation en temps réel, habituelles ou passées.

On y regroupe également les facteurs ayant une influence sur la probabilité de réalisations d'autres tâches. Parmi ceux-ci, on retrouve notamment les caractéristiques sociodémographiques de la personne, le genre, le mode utilisé, le motif de déplacement, le temps de parcours, le confort, les infrastructures disponibles (ex : accès au wifi).

2.2.Description de l'indicateur choisi

Potentiel de temps valorisé par la réalisation d'une activité durant le déplacement

L'indicateur choisi suit les recommandations d'amélioration de l'indicateur proposé par Sioui (2014), en intégrant différents facteurs d'influence, non seulement les différents modes, tels qu'initialement proposés. Ainsi, le potentiel de réalisation d'une activité durant le déplacement est composé d'un indicateur composite, prenant en compte quatre principaux facteurs d'influence sur la réalisation de plusieurs tâches simultanées durant le trajet. Ces facteurs décrivent le potentiel et sont multipliés au temps de parcours pour le trajet, puis soustrait au temps de parcours total, pour conserver l'essence de l'indicateur proposé. Le temps résultant représente ce qui est potentiellement perdu par déplacement, sans qu'aucune activité ne puisse être réalisée.

2.3.Source de données

2.3.1. Sur le déplacement

- Origine - Destination
- Mode de transport
- Motif de transport
- Heure de départ

2.3.2. Manipulation et calculs

- Affectation des déplacements sur le réseau
- Temps de parcours

2.4.Méthodologie générale

Après avoir effectué une affectation des déplacements sur le réseau, le temps de parcours de chaque mode est calculé. Il devient ainsi possible d'établir les valeurs attribuables aux quatre variables, selon le tableau suivant, avec un algorithme automatisé. Ces valeurs ont été attribuées en fonction du potentiel estimé que l'individu réalise une activité, en fonction des proportions effectuant une activité dans la littérature. Autrement dit, les valeurs attribuées ne reflètent pas directement la quantité de personnes qui feront ou non une activité durant le déplacement, mais plutôt une gradation entre 0 et 1 du potentiel qu'une personne réalise une activité, selon la puissance de l'influence de ce facteur. Ce faisant, plus la valeur est proche de 1, plus la probabilité que la personne réalise une activité est forte, puisque la variable est directement liée à la réalisation d'une activité. En contrepartie, si la valeur est proche de 0, la littérature soulève que très peu d'activité ou aucune activité ne peut être réalisée dans ce cas.

Les déplacements réalisés à pied ou à vélo doivent avoir un indicateur total de 1, car l'activité simultanée est l'activité physique et se déroule sur l'ensemble du déplacement (Sioui, 2014).

Tableau 0-1 : Valeurs des indicateurs pour le calcul du potentiel de temps perdu

Variable	Valeur	Description
Mode	0	Auto-conducteur, moto
	1	Auto-passager, bus, métro, train, taxi, vélo, à pied
Motif	0,5	Magasinage, loisir, visite d'ami(e)s/ parenté, santé
	0,75	Retour au domicile
	1	Travail, école, rendez-vous d'affaires, sur la route, reconduire quelqu'un, chercher quelqu'un
Temps de trajet	0,5	Temps < 15 minutes
	0,75	15 minutes ≤ temps < 30 minutes
	1	Temps ≤ 30 minutes
Confort	0,75	Durant la pointe (6h à 9h et 15h à 18h)
	1	Hors pointe

Il est à noter que les déplacements ayant des variables « autre » ou « indéterminé » ne peuvent être traités, car il n'est pas possible de connaître l'influence de ces variables sur le potentiel de réalisation d'activité.

De plus, les quatre variables choisies ne représentent pas l'ensemble des variables ayant une influence sur le potentiel de réalisation d'une activité. Elles sont choisies pour leur fort impact sur le potentiel et leur possibilité de calcul. Par exemple, les caractéristiques psychologiques d'un individu peuvent le pousser ou non à faire plusieurs tâches simultanément (Keseru & Macharis, 2018), mais cette information n'est pas disponible, alors cette variable n'a pas été considérée.

Le potentiel de temps potentiellement valorisable par la réalisation d'activité est établi avec l'équation suivante :

$$Potentiel = \left(I_{mode} * I_{motif} * I_{temps\ de\ parcours} * I_{confort}\right) * T_p$$

2.5.Application

Il est possible d'appliquer cette réflexion par la somme du temps potentiellement valorisable pour l'ensemble des déplacements réalisés sur un lien de transport en commun ou par un déplacement.

2.6.Perspectives

La proposition de méthodologie indique des valeurs d'indices multiplicatifs basées sur la probabilité de réalisation d'activité. Néanmoins, il serait pertinent d'effectuer une analyse plus complète en utilisant les probabilités telles quelles, à la suite d'un sondage réalisé dans le contexte

du système de transport collectif, afin de tenir compte des particularités, notamment en termes d’occupation et de confort, dudit système.

3. Richesse et diversité des outils d'information à l'usager

3.1.Revue de littérature

Les systèmes d'information en temps réel ont un impact sur la qualité des trajets réalisés en transport collectif, selon plusieurs études relevées dans la littérature. Parmi ces impacts, on note une réduction du sentiment de perte de temps, des conséquences psychologiques (sentiment de sécurité, réduction de l'incertitude, facilité d'usage, etc.), ainsi qu'une volonté accrue à payer pour le service (Dziekan & Kottenhoff, 2007). De façon générale, cela peut influencer les comportements de mobilité. De plus, les études montrent que le besoin pour des informations est toujours pour réduire le temps d'attente et optimiser le temps de parcours (Ferris, Watkins, & Borning, 2010). Même si l'objectif de leur présence peut demeurer flou (Zito, Amato, Amoroso, & Berrittella, 2011), elles ont un impact sur le comportement de déplacement selon leur localisation sur le trajet.

3.2.Description de l'indicateur choisi

Indice du dynamisme et de la diversité des outils d'information aux usagers du transport en commun

Pour développer l'indice, on se concentre sur les utilisateurs du transport en commun seulement. Cette restriction a pour but de se rencontrer sur une seule évaluation, puisque la littérature porte principalement sur les effets des technologies d'information aux usagers pour les déplacements faits en transport en commun. De plus, en raison de la nature trop dispersée des mesures d'affichage et d'information pour les déplacements faits en voitures et de la mesure de ceux-ci, il est préférable de ne pas se concentrer sur eux. En utilisant le transport en commun, on conserve également l'essence de l'orientation développée par Sioui (2014).

On caractérise la richesse par le dynamisme, c'est-à-dire le niveau technologique où l'information est disponible, où les technologies plus récentes permettent d'obtenir une information en temps réel. De plus, on se concentre sur le temps d'attente, soit un sujet principalement demandé par les usagers dans la littérature sur les systèmes d'information.

3.3.Méthodologie générale

Catégorisation des types d'outils d'information à l'usager

$$Indice = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}$$

x_1 : Indicateur avant le départ. Valeur possible de 0 (aucune application n'est disponible), 1 (application statique) ou 2 (application dynamique et/ou un envoi de messages existe)

x_2 : Indicateur en bord de route. Valeur possible de 0 (aucune information n'est disponible), 1 (affichage statique) ou 2 (affichage dynamique).

$$x_2 = \frac{\sum affichage_i}{\sum i}$$

i est un arrêt donné

x_3 : Indicateur durant le déplacement. Valeur possible de 0 (aucune indication n'est disponible) ou 2 (indication disponible) pour la flotte de véhicule pour une journée donnée.

$$x_3 = \frac{\sum indication_i}{\sum i}$$

i est un bus donné circulant la journée donnée.

La définition plus exhaustive des valeurs à attribuer est disponible dans le tableau suivant.

TABLEAU XX : Niveau de dynamisme des outils de communication

	Absence	Statique	Dynamique
Valeur	*0*	*1*	*2*
Avant le départ	Aucun	Application mobile ou web avec l'horaire disponible	Application mobile ou web avec le positionnement en temps réel des véhicules Envoi de messages pour notifier un retard
En bord de route	Aucun	Affichage de l'horaire statique à l'arrêt	Affichage de l'horaire en temps réel (temps d'attente avant le prochain véhicule)
À bord	Aucun		Affichage dynamique ou mention orale des arrêts à bord

3.4.Application

Pour une ligne ou un arrêt donné, il est possible d'offrir un indice du dynamisme de l'information offerte à l'usager.

3.5.Perspectives

Cet indicateur a été inclus dans le système d'indicateurs, puisque l'information peut varier non seulement d'un service de transport collectif à un autre, mais également d'une ligne à une autre. Néanmoins, l'orientation des dernières années des agences de transport en commun à désirer tendre vers un affichage dynamique en tout point de leurs services porte à croire que cet indicateur pourrait rapidement devenir désuet. Pour l'instant, il demeure encore pertinent.

Il serait également intéressant d'intégrer la notion d'équité à l'indicateur. Effectivement, l'accès à des outils dynamiques de consultation de l'information peut varier en fonction des caractéristiques sociales, financières et démographiques, dont l'âge. Ceci pourrait prendre la forme d'un indice multiplicatif à l'indice du niveau de dynamisme lors qu'étudié sur le trajet d'un individu.

4. Quantité et efficacité d'utilisation de l'énergie

4.1.Revue de littérature

La littérature spécifique sur la consommation énergétique des véhicules de transport en commun est relativement limitée, comparativement à une littérature exhaustive sur les véhicules particuliers. La littérature liée à l'évaluation de la consommation énergétique des véhicules compte également des véhicules particuliers et est ici séparée en trois catégories : les modèles d'évaluation de la consommation énergétique, la consommation des différents types de véhicules et la comparaison des sources d'énergie.

4.1.1. Modèles d'évaluation

Les modèles d'évaluation de la consommation énergétique sont généralement intimement liés à l'évaluation des émissions de GES. Ils comprennent différents degrés de précisions, pour représenter une partie ou l'ensemble de l'efficacité énergétique.

- Well-to-tank (WTT) : durant les stades de production et de distribution;
- Tank-to-wheel (TTW) : durant la phase d'utilisation;
- Well-to-wheel (WTW) : durant l'ensemble de la durée de vie du carburant (Mahmoud, Garnett, Ferguson, & Kanaroglou, 2016).

On se réfère donc à différents modèles, qui effectuent l'un ou plusieurs des niveaux d'analyse mentionnés. On compte notamment le modèle GREET (*Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation Model*) qui emploie l'analyse de cycle de vie sous les niveaux WTT, TTW et WTW (Argonne, 2018). Il permet d'obtenir la quantité d'énergie consommée en kJ/km selon le type de propulsion. Par contre, il effectue l'analyse seulement pour les véhicules individuels. Il existe aussi une version qui calcule la quantité d'énergie consommée pour les flottes de véhicules. Il a l'avantage d'effectuer les calculs avec la source d'énergie ainsi que la localisation où l'énergie est produite, mais seulement pour le territoire états-unien. Ce faisant, les émissions polluantes des sources d'électricité des États-Unis (charbon, hydroélectricité, etc.) sont prises en compte.

4.1.2. Consommation énergétique

Comme mentionné précédemment, la consommation énergétique des véhicules de transport collectif est peu discutée dans la littérature scientifique. En effet, celle-ci dépend spécifiquement

de la conception du fabricant, mais également des cycles de conduite (Lajunen, 2014). Ce faisant, la morphologie urbaine du territoire sur lequel circule un autobus peut avoir une grande influence sur la consommation, peu importe la source d'énergie. La variabilité des données est donc considérable et influencée par une grande quantité de facteurs externes (Paravantis & Georgakellos, 2007).

Pour les autobus électriques spécifiquement, certains considèrent que le plus grand défi dans l'efficacité énergétique est le stockage de l'énergie avec les batteries, celles-ci ayant une performance variable. Néanmoins, les batteries au lithium permettent une efficacité accrue (Burke & Miller, 2011).

Les véhicules hybrides ont un avantage particulier, lorsque comparés aux véhicules à combustibles fossiles, particulièrement en contexte de conduite à basse vitesse ayant de nombreux arrêts. En effet, les véhicules essuient une perte énergétique considérable lors du freinage. Les véhicules hybrides permettent de limiter cette perte en récupérant cette énergie pour recharger la batterie (Holmberg, Andersson, Nylund, Mäkelä, & Erdemir, 2014).

La consommation énergétique moyenne des autobus de la STM a toutefois été acquise lors d'une étude de comparaison des véhicules à essence aux véhicules hybrides (T. Canada, 2009). Certaines valeurs trouvées dans la littérature sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 0-2 Comparaison de type de véhicules

Source d'énergie	Type de véhicule	L/100km	kWh/km	Sources
Électricité	EEV diesel		4,3	(Lajunen, 2014)
Électricité	Parallel hybrid		3,2	(Lajunen, 2014)
Électricité	Series hybrid		3,0	(Lajunen, 2014)
Diesel	Véhicule au diesel	65L/100 km		(T. Canada, 2009)
Diesel	Véhicule hybride	45L/100km		(T. Canada, 2009)

4.1.3. Comparaison des sources d'énergie

Puisque les sources énergétiques varient, il importe de reporter les résultats sur une base commune pour être en mesure de les comparer. Ressources Naturelles Canada utilise une conversion de litres

équivalents aux 100 km pour les véhicules qui n'utilisent pas un carburant à l'essence (R. N. Canada, 2018). Néanmoins, ces données sont offertes pour les véhicules personnels et non ceux de transport collectif. Les sociétés de transport pourraient toutefois utiliser leurs propres données de consommation énergétique afin d'effectuer l'évaluation.

4.2.Description de l'indicateur choisi

Consommation d'énergie (en valeur énergétique)

L'indicateur est considérablement semblable à celui proposé préalablement par Sioui (2014). Néanmoins, on utilise une consommation en termes purement énergétique afin de refléter uniquement la consommation réalisée par les véhicules. De cette façon, la comparaison de scénarios peut exposer une demande énergétique selon la capacité et le type de véhicules comparés. La pertinence de l'indicateur sur le volet environnemental porte alors sur la réduction de la consommation d'énergie de façon absolue, sans tenir compte du potentiel de pollution du carburant. Un indicateur différent permet d'exposer les émissions polluantes produites (indicateur 10). Il s'agissait d'une limitation soulevée par la thèse, puisque celle-ci considérait la consommation en volume par type de source d'énergie. Dans le cas présent, on peut évaluer tous les types d'énergie. Ce faisant, l'unité de base est une unité d'énergie (MJ) et non un volume de carburant. Le travail est donc de convertir la consommation de carburant ou d'électricité en quantité d'énergie.

Comme il a été mentionné dans la revue de littérature, la consommation d'énergie ici considérée est seulement dans la phase PTW (« pump-to-wheel »), c'est-à-dire durant la phase d'utilisation du véhicule. Les évaluations de la consommation énergétique de la fabrication du véhicule, de son entretien et de sa fin de vie sont ignorées dans l'évaluation, malgré la quantité considérable d'énergie nécessaire pour produire les appareils.

Les différentes échelles permettent d'illustrer la consommation totale pour une ligne de transport en commun, alors que la consommation par passager-km est illustrée avec l'échelle de l'étude par déplacement.

4.3.Sources de données

1. Consommation énergétique des véhicules
2. Type de carburant
3. Taux d'occupation moyen journalier des véhicules

4.4.Méthodologie générale

1. Établir les valeurs énergétiques du carburant ou du type d'énergie utilisé

Selon le type de véhicule utilisé, l'obtention des données correspondant à sa consommation énergétique moyenne par kilomètre est réalisée, idéalement préalablement. Ces données peuvent être fournies de différentes façons :

- Fiche technique du concepteur;
- Étude réalisée par la société de transport;
- Estimation à partir de comparables;
- Etc.

2. Consommation énergétique du véhicule

À l'aide d'un outil comme GREET ou manuellement avec une table de valeur en fonction du carburant utilisé, il est possible de réaliser le calcul de la consommation énergétique en MJ par km. Cette unité est utilisée afin d'uniformiser les types de carburant.

3. Convertir la consommation en valeur énergétique par passager-km

4.5.Application

Il est possible d'appliquer cet indicateur à différents niveaux, que ce soit la consommation pour le service offert sur une ligne, ou la consommation pour une personne utilisant le service, en fonction de l'heure et de l'occupation du véhicule.

4.6.Perspectives

L'estimation de la consommation énergétique des véhicules peut être calculée directement par véhicule, mais ce type d'analyse nécessite une acquisition de données volumineuse. Une estimation peut donc également être réalisée à partir de moyennes générales, au détriment de la qualité des estimations. Une exploration plus en profondeur des différents outils d'évaluation de la consommation énergétique pourrait être pertinente.

5. Quantité, efficacité et équité de distribution des émissions de polluants

Les types de polluants décrits par Sioui (2014) touchent les univers suivants :

- Dans l'air;
- Sonore;
- Dans l'eau;
- Lumineuse;
- Visuelle.

Si chacun d'entre eux est pertinent dans l'évaluation de la durabilité, certains sont difficiles à considérer individuellement ou de façon distincte pour le transport en commun, en opposition à l'ensemble de la circulation automobile. De plus, la littérature spécifique à certains d'entre eux est trop mince pour établir un diagnostic pertinent. Ce faisant, la pollution de l'eau, lumineuse et visuelle n'ont pas été considérées pour l'établissement de l'indicateur.

5.1. Revue de littérature

5.1.1. Pollution de l'air

L'exposition aux polluants dans l'air par les utilisateurs a été documentée par quelques études. Parmi celles-ci, on compte une étude portant sur l'exposition variable en fonction du lieu d'embarquement dans un autobus, où la localisation dans un espace vert comporte une diminution de l'exposition et où la prise du transport en commun durant une pointe a un impact sur l'exposition (Bauer, Bosker, Dirks, & Behrens, 2018). Cette observation concorde également avec une étude montrant que le moment où l'exposition est la plus grande est lors de l'attente des véhicules de transport en commun, puisque les arrêts sont localisés à proximité du lieu d'émission de polluants des voitures (Yang et al., 2015).

Sous un autre angle, la contribution à l'émission de polluants par les sociétés de transport a également été détaillée (STM, 2018). La distinction des émissions de polluants par les différents types de véhicules a également été abordée dans la littérature. Une étude mentionne à ce sujet que les autobus carburant au diesel émettent 46% de suie supplémentaire, comparativement aux autobus fonctionnant à l'électricité (Bauer et al., 2018; Zuurbier et al., 2010).

5.1.1. Pollution sonore

Pour ce qui est de la pollution sonore, des études montrent que la présence d'un lien de transport en commun apporte un dérangement supplémentaire auprès de la population vivant à proximité, en termes de bruit, autant durant le jour que la nuit (Paunović, Belojević, & Jakovljević, 2014). Il en va de même avec la présence d'un service sur rail, où non seulement le bruit semble déranger, mais également la vibration entraînée par le passage du train sur les rails (Gidlöf-Gunnarsson, Ögren, Jerson, & Öhrström, 2012).

5.2. Perspectives

Aucun indicateur final n'a été développé pour cette orientation. Néanmoins, certaines idées ont été avancées :

- Équité de distribution des émissions polluantes avec l'indice de Gini;
- Réduction des émissions pour les circuits d'un bus, en comparaison avec des déplacements en voiture;
- Localisation des arrêts avec impact sur l'exposition aux polluants (devant un parc / sur une rue / une rue à forte circulation);
- Contribution à la pollution de l'air d'un service de transport en commun;
- Etc.

Néanmoins, il s'agit d'un indicateur complexe à considérer et complexe à intégrer, en raison de la diversité des sources de données. Une étude complète, intégrant la notion d'équité d'exposition, serait pertinente. Il serait également intéressant d'intégrer la notion de variation dynamique, c'est-à-dire l'exposition spatio-temporelle dans l'indicateur, inspiré par l'indice d'exposition sociale développée par la présente étude.

6. Quantité et efficacité des émissions de GES

6.1. Revue de littérature

La revue de littérature les émissions de GES du transport collectif est semblable à celle liée à la consommation énergétique, se fier à la fiche 5.

6.2. Description de l'indicateur choisi

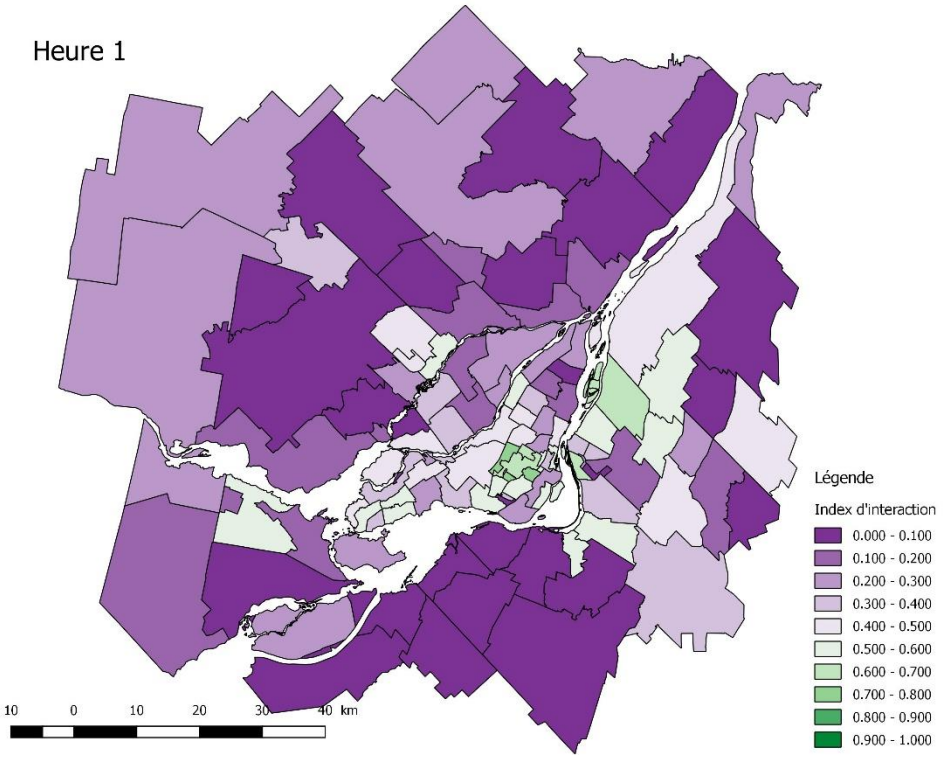
Quantité de GES émis durant l'utilisation

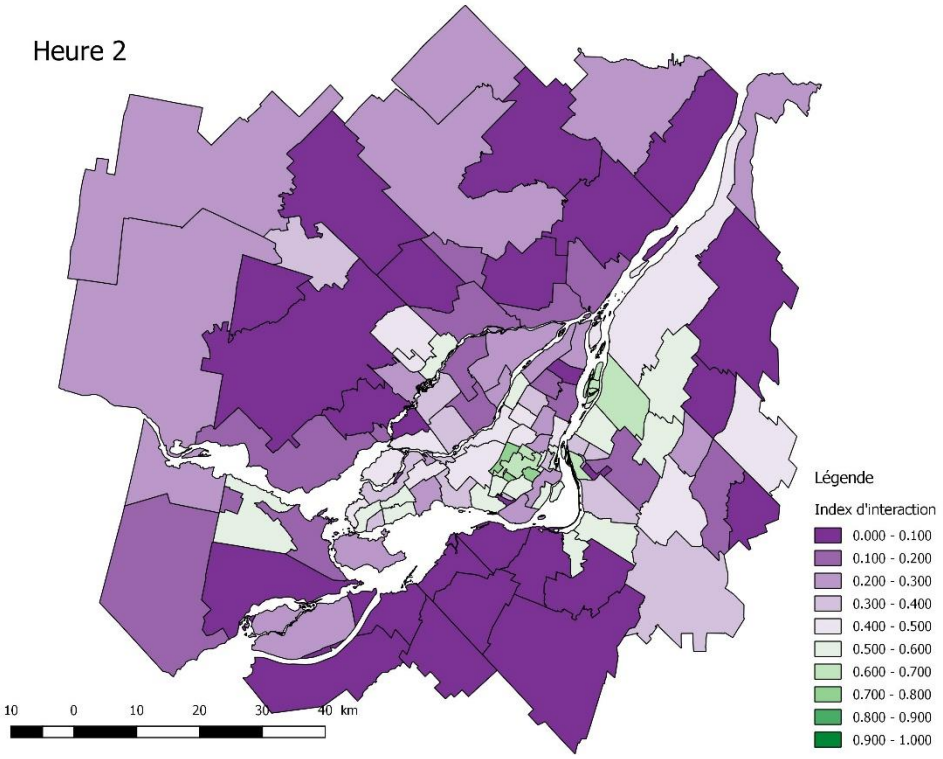
Cet indicateur conserve sa forme initiale; il s'agit de la façon la plus explicite et connue de mesurer l'impact sur l'environnement. Il est adaptable en fonction de l'échelle d'implémentation de l'indicateur. Elle peut donc être macroscopique à microscopique. Ceci permet de mesurer l'impact sur les gaz à effets de serre du type de véhicule choisi et du tracé. On tient compte seulement de la période d'opération de la durée de vie du véhicule. Les phases de construction, de réparation et de disposition du véhicule sont omises, en plus de l'infrastructure pour soutenir les véhicules (routes, rails, etc.). L'indicateur permet donc d'évaluer et comparer les scénarios de choix de types de véhicule et de modes.

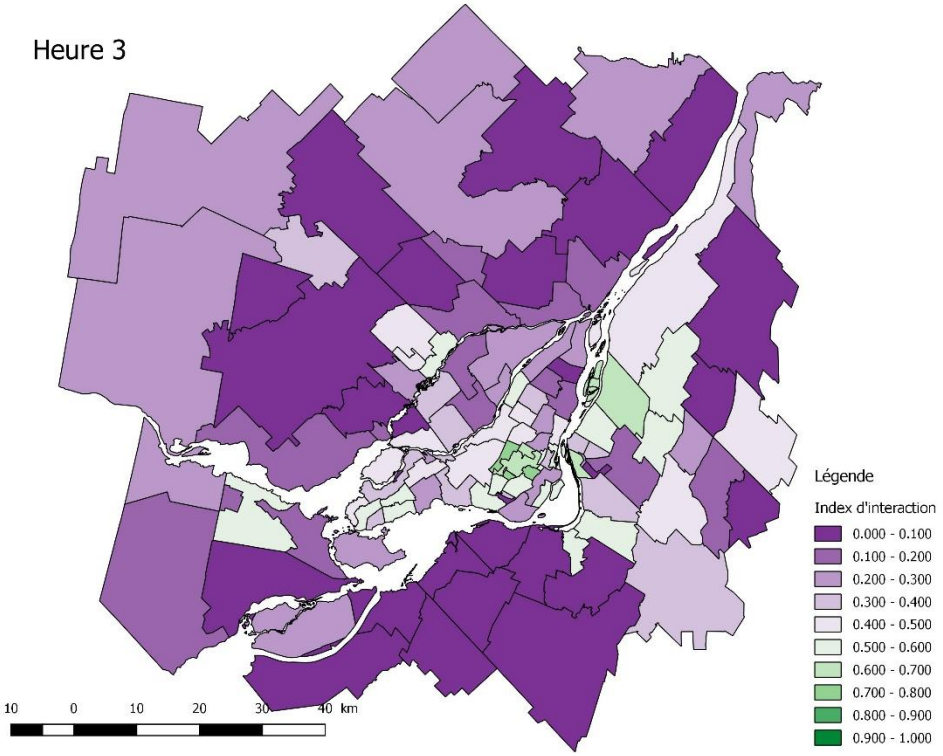
6.3. Perspectives

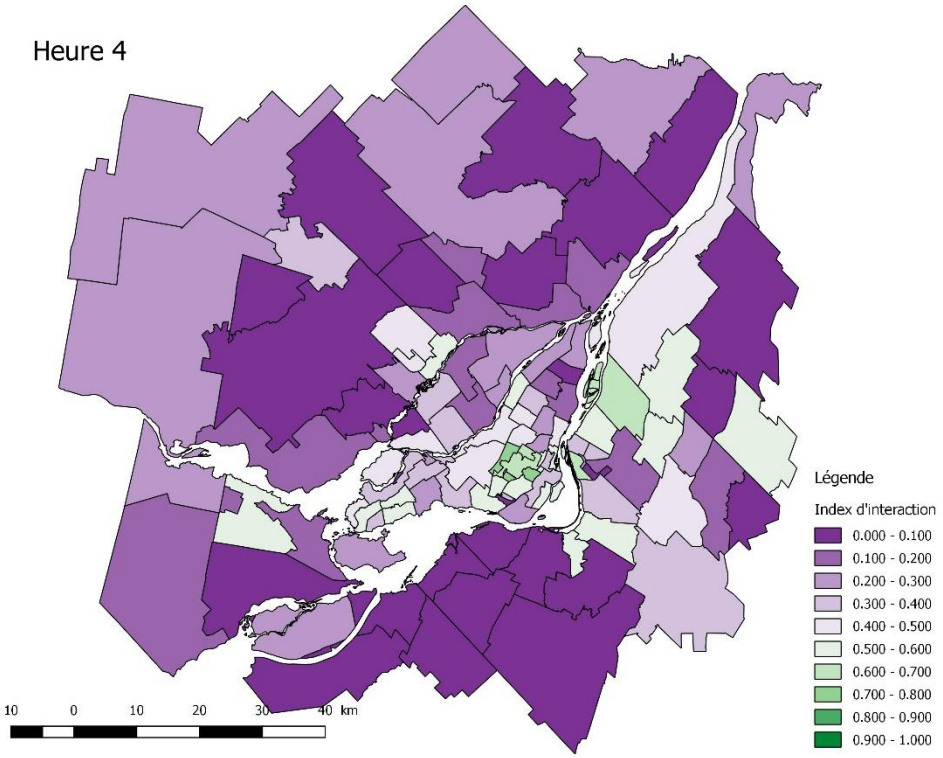
Il demeure une quantité importante de travail à effectuer relativement au développement de cet indicateur, surtout l'efficacité des émissions. En effet, si la quantification des émissions de GES est un domaine plus avancé dans la littérature et dans l'industrie, l'application de l'évaluation de l'efficacité des émissions et est toujours à développer dans le domaine spécifique du transport collectif. En fonction des réalités particulières aux sociétés de transport, l'estimation des émissions et de son efficacité peuvent grandement varier d'une société de transport à une autre.

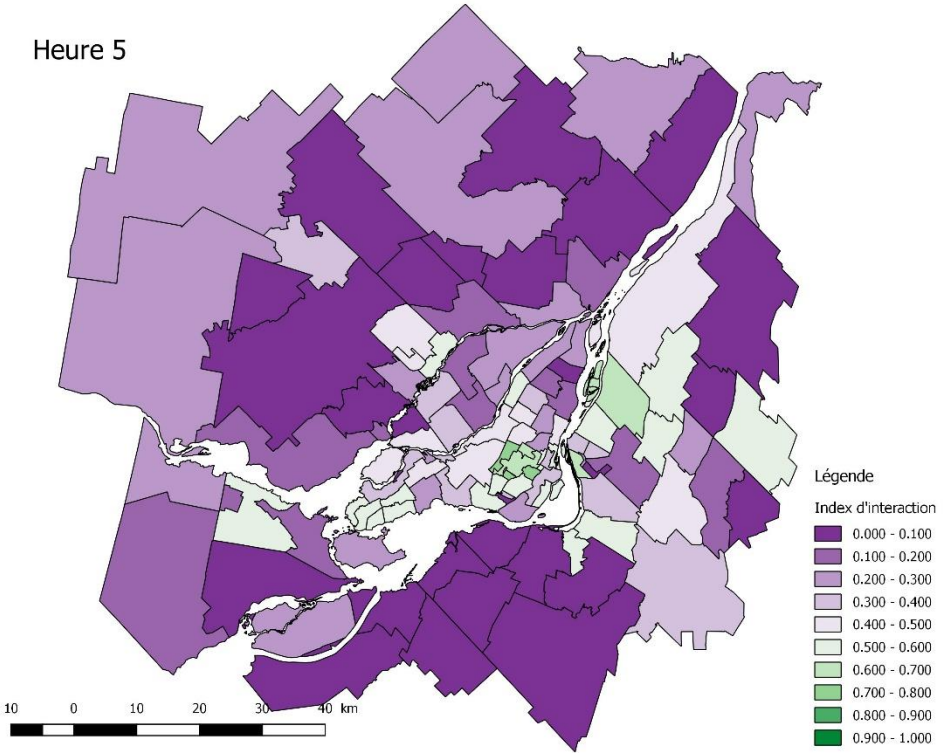
ANNEXE C ÉVOLUTION HORAIRE DE L'INDICE D'INTERACTION DES SM LIÉE À LA CARACTÉRISTIQUE SOCIALE DU REVENU

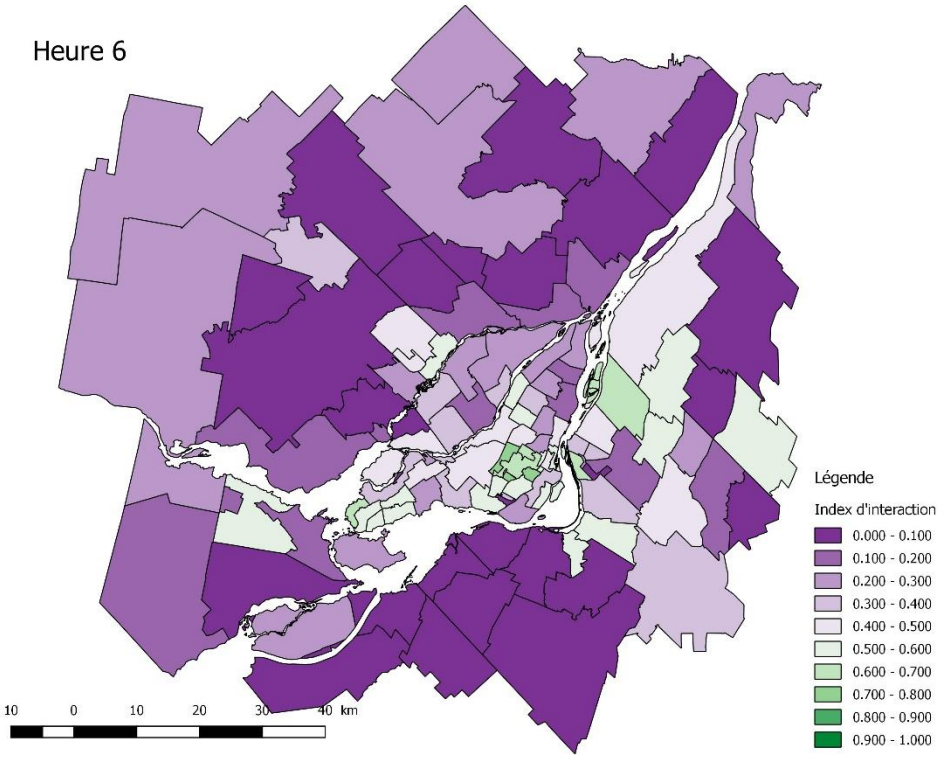


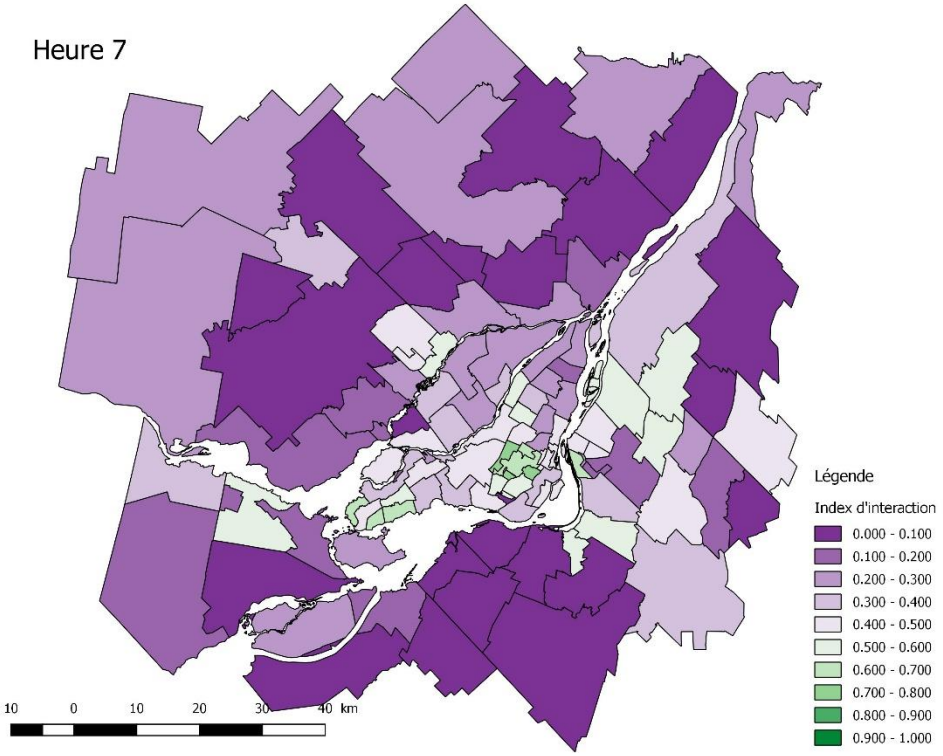


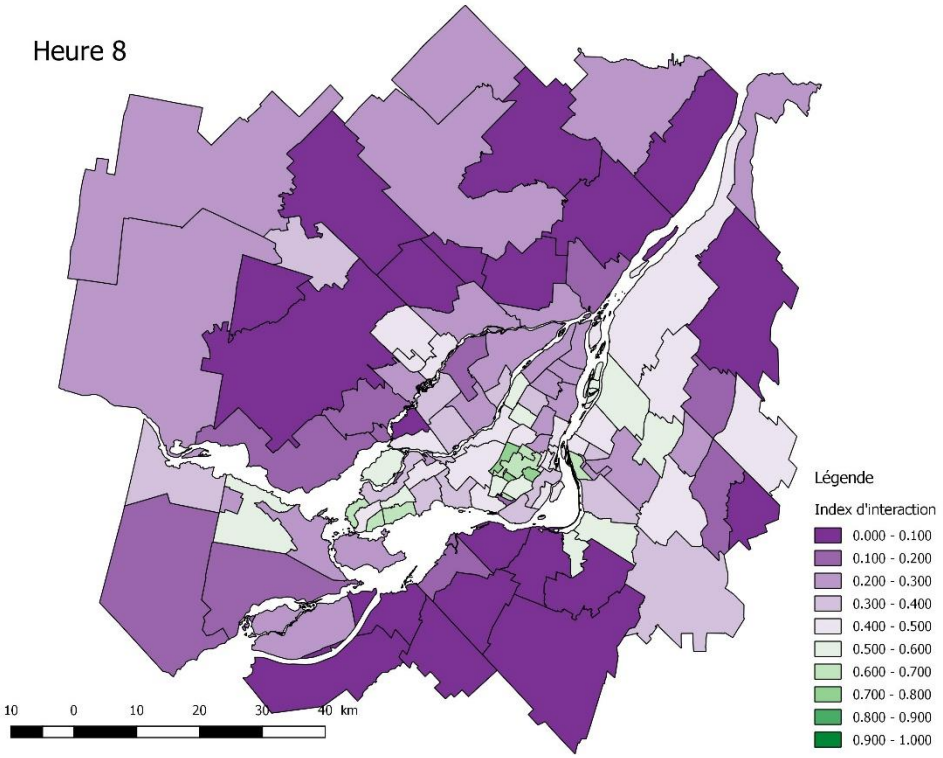

Heure 3
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km

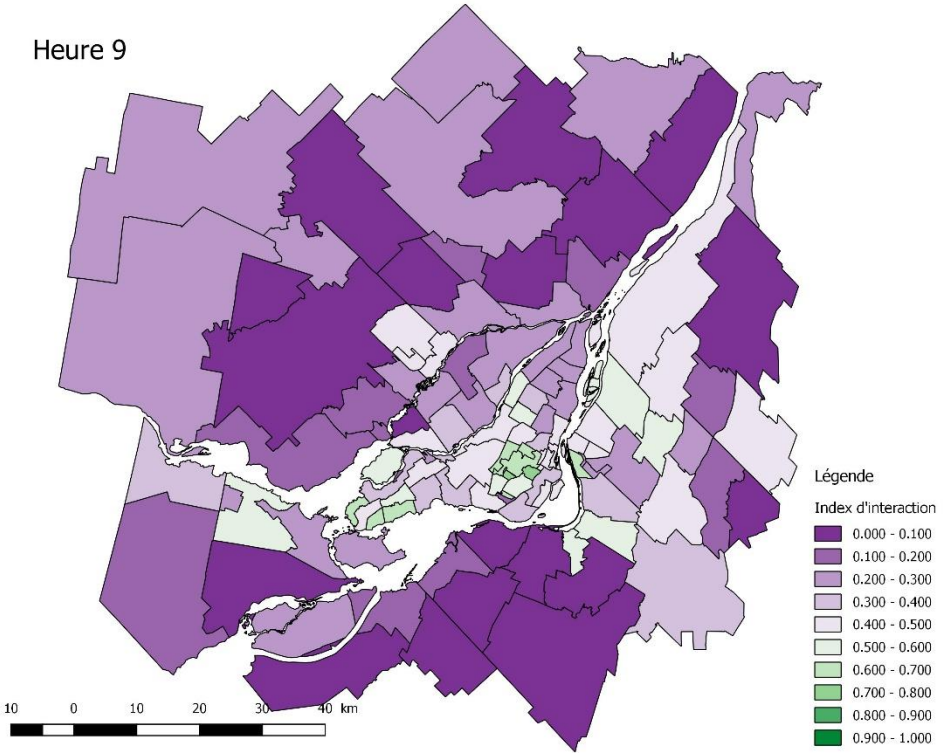

Heure 4
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km

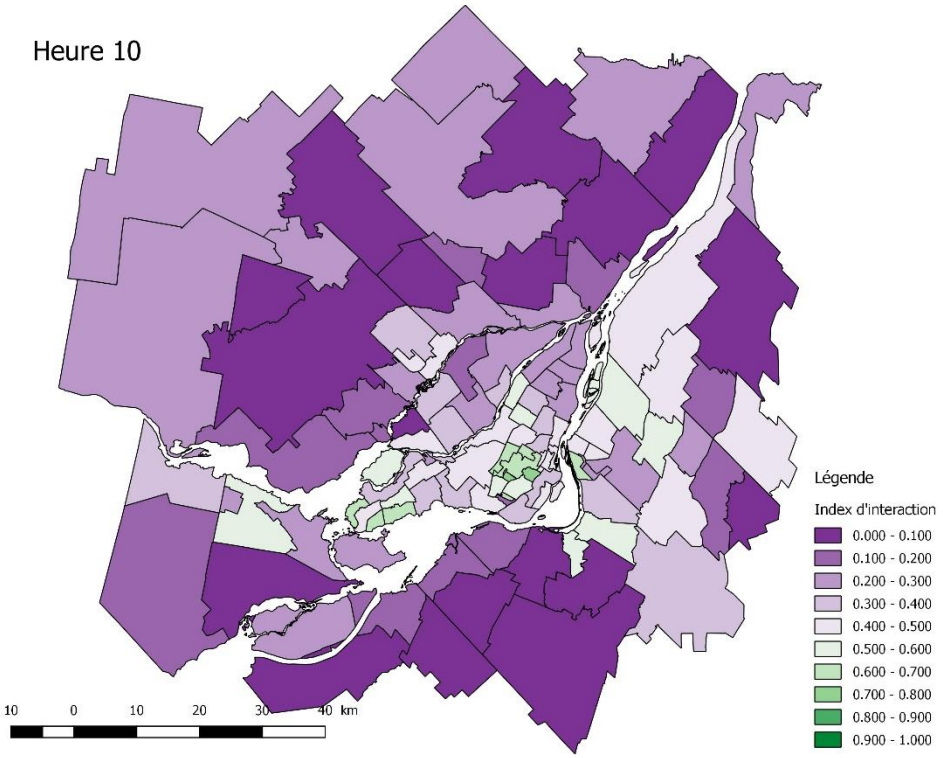

Heure 5
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km

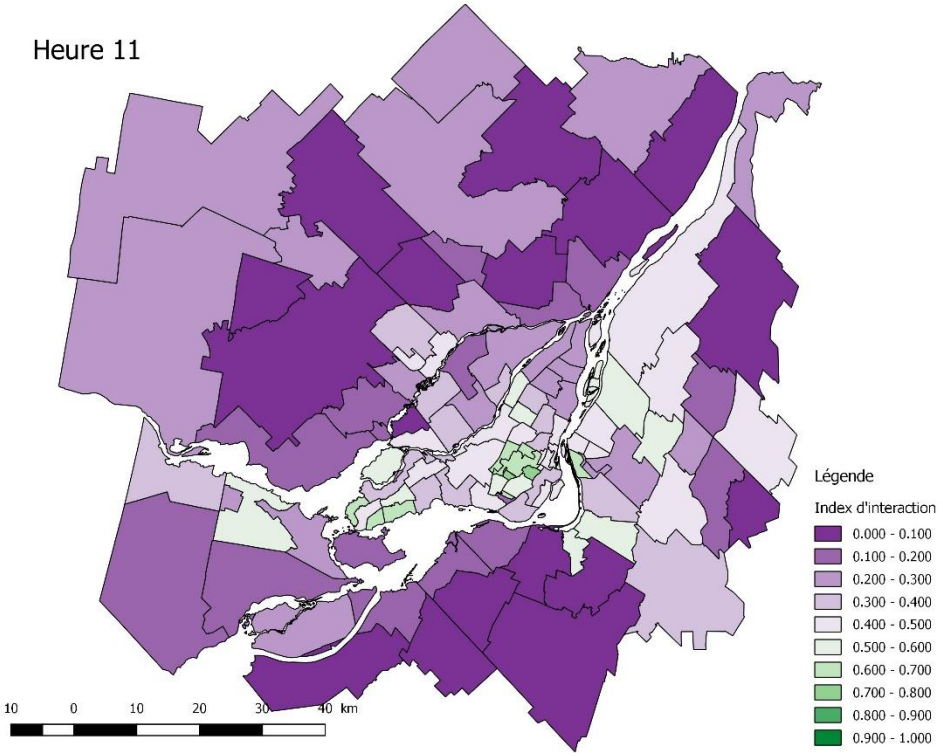

Heure 6
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km

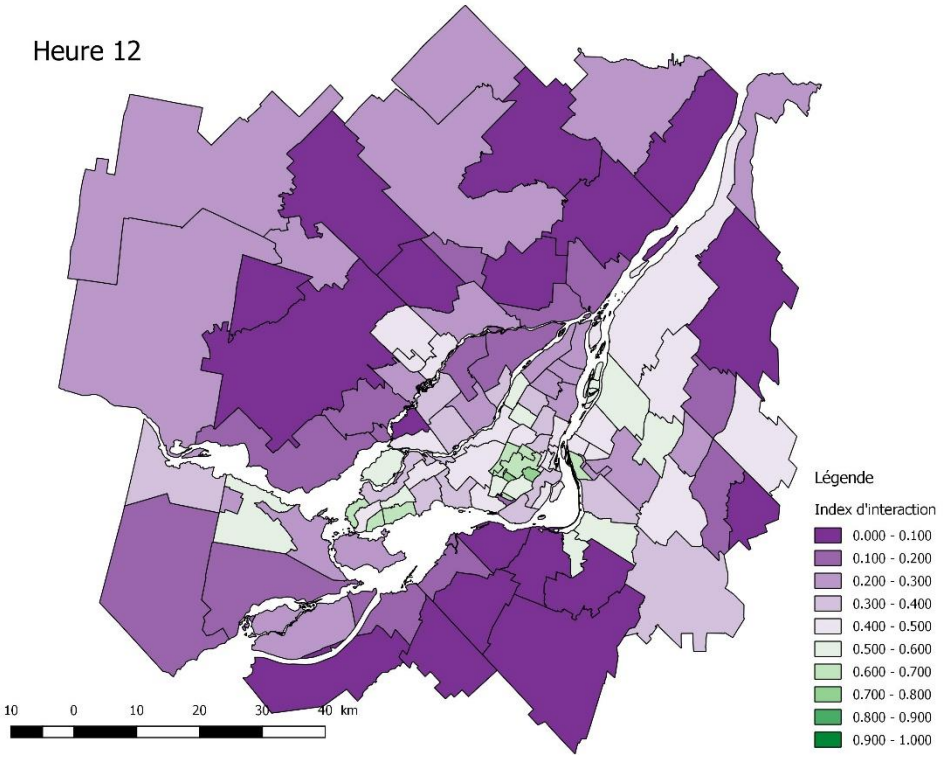

Heure 7
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km

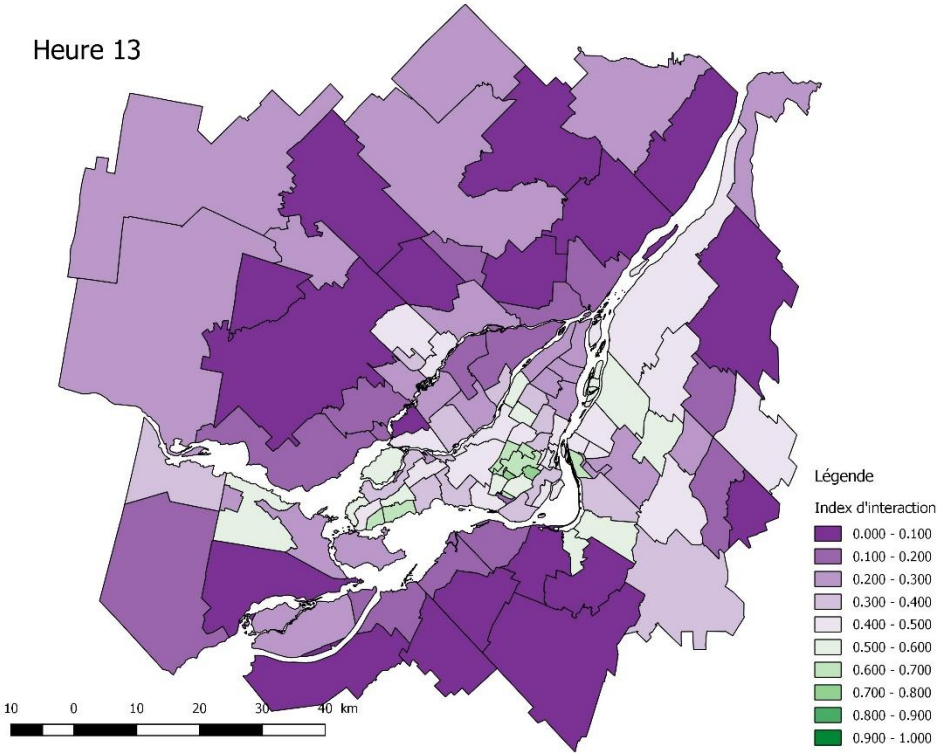

Heure 8
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km

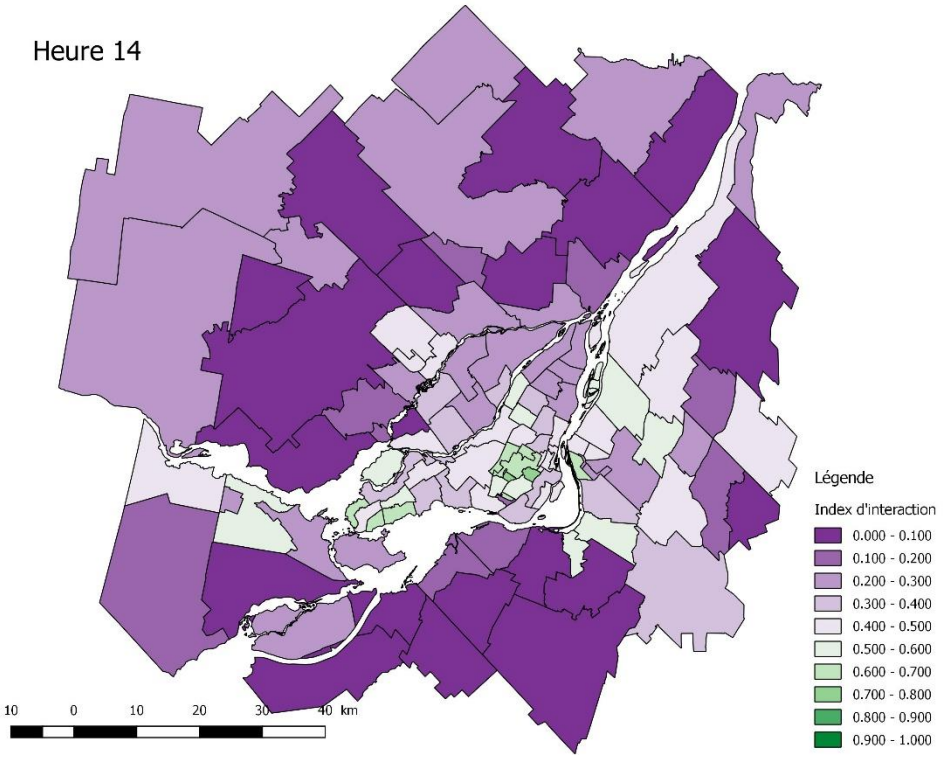

Heure 9
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km

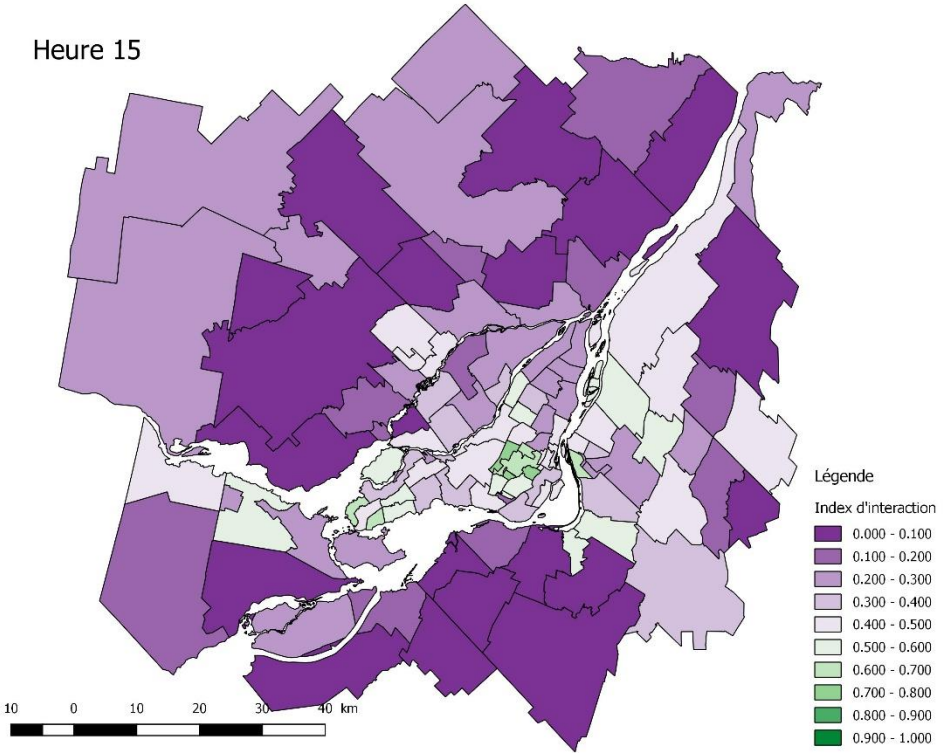

Heure 10
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km

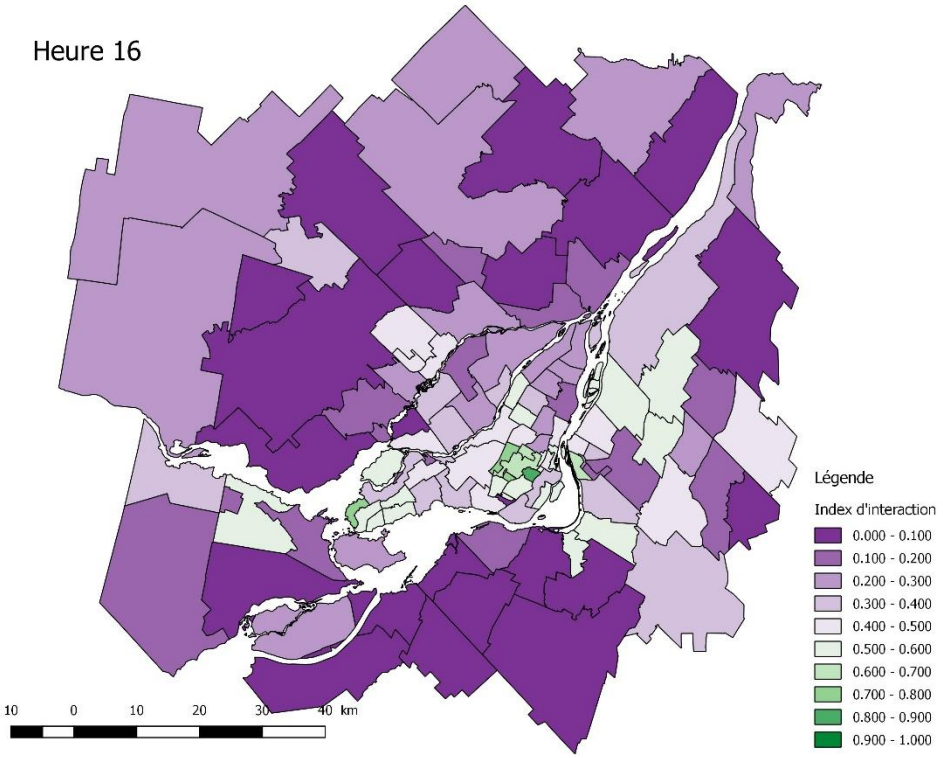

Heure 11
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km

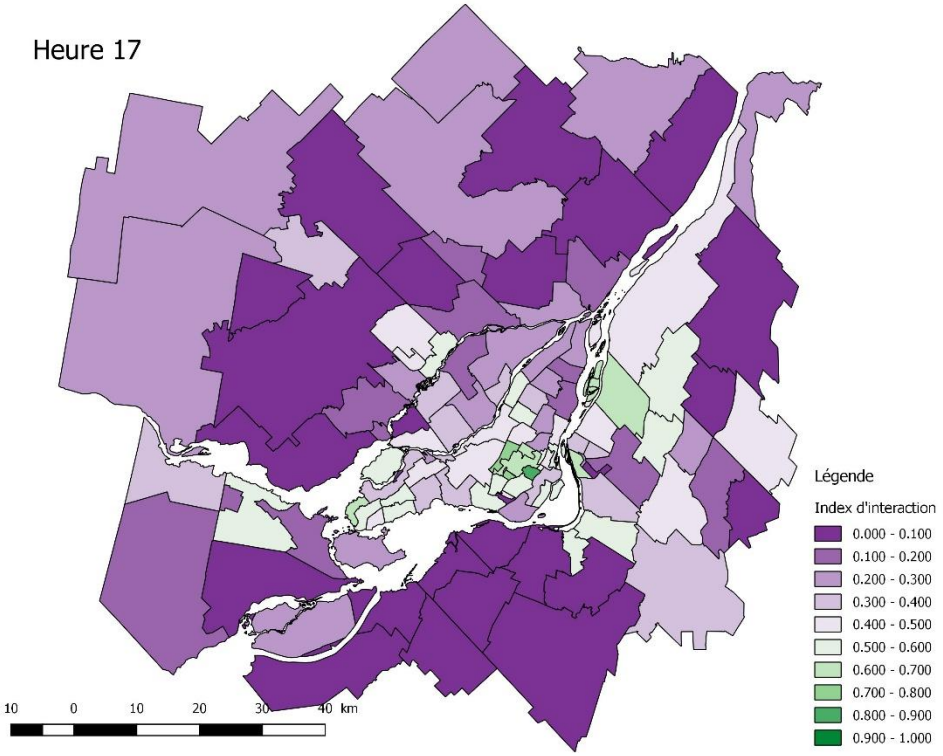

Heure 12
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km

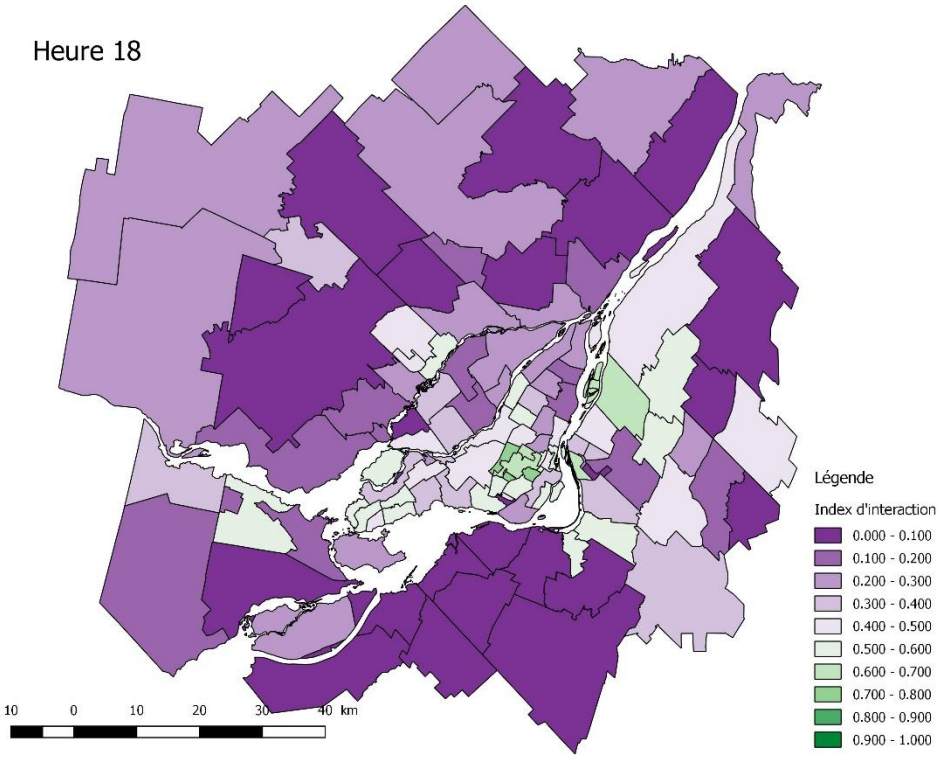

Heure 13
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km

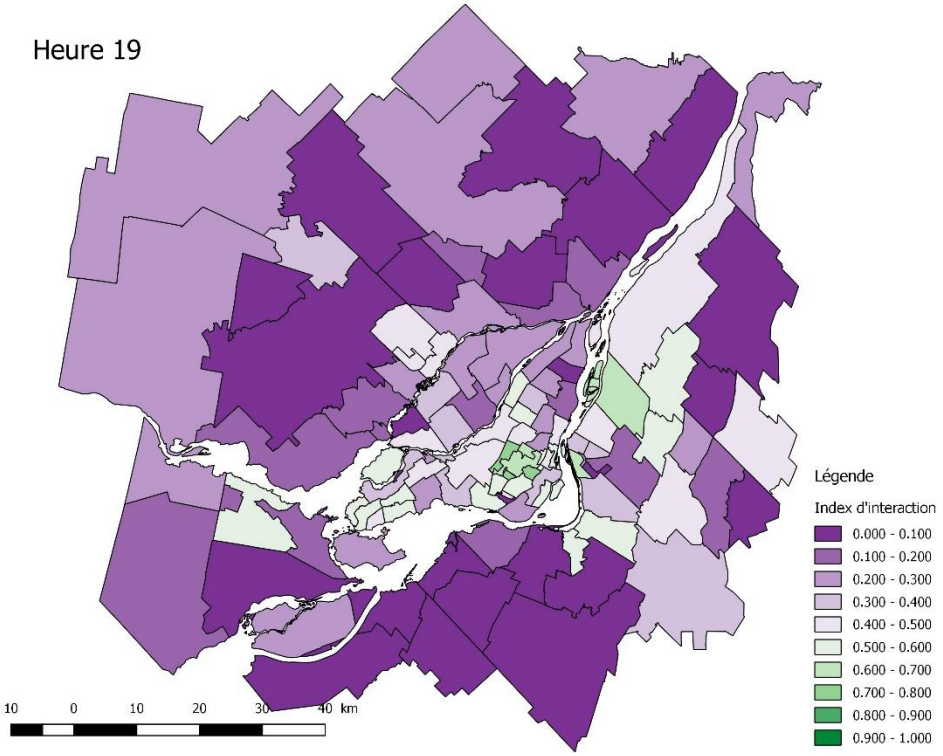

Heure 14
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km

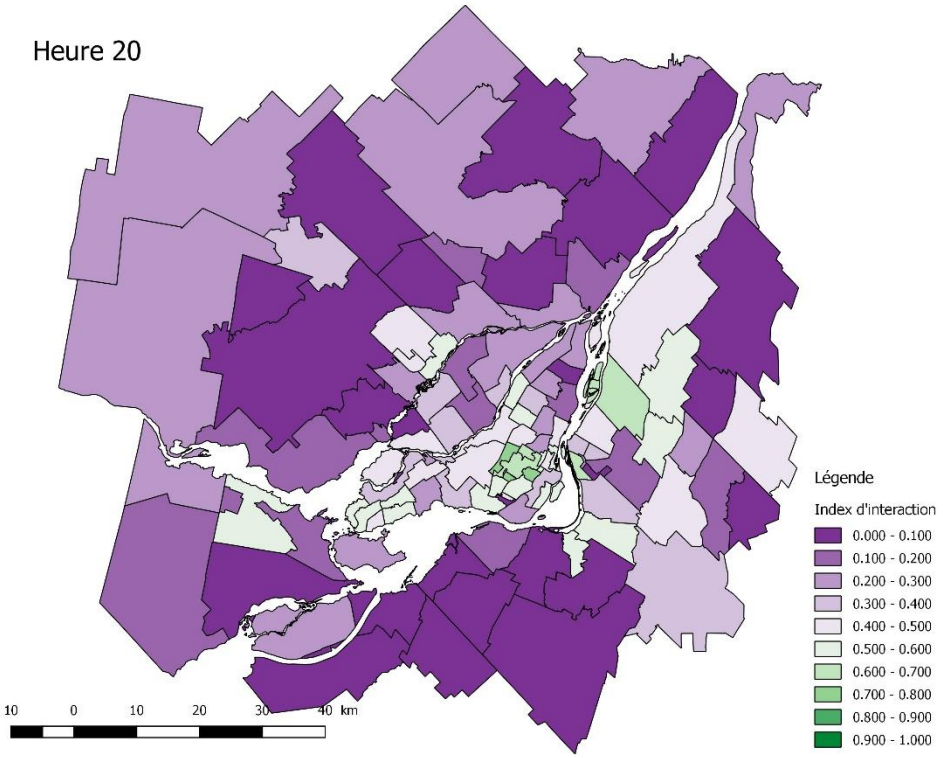

Heure 15
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km

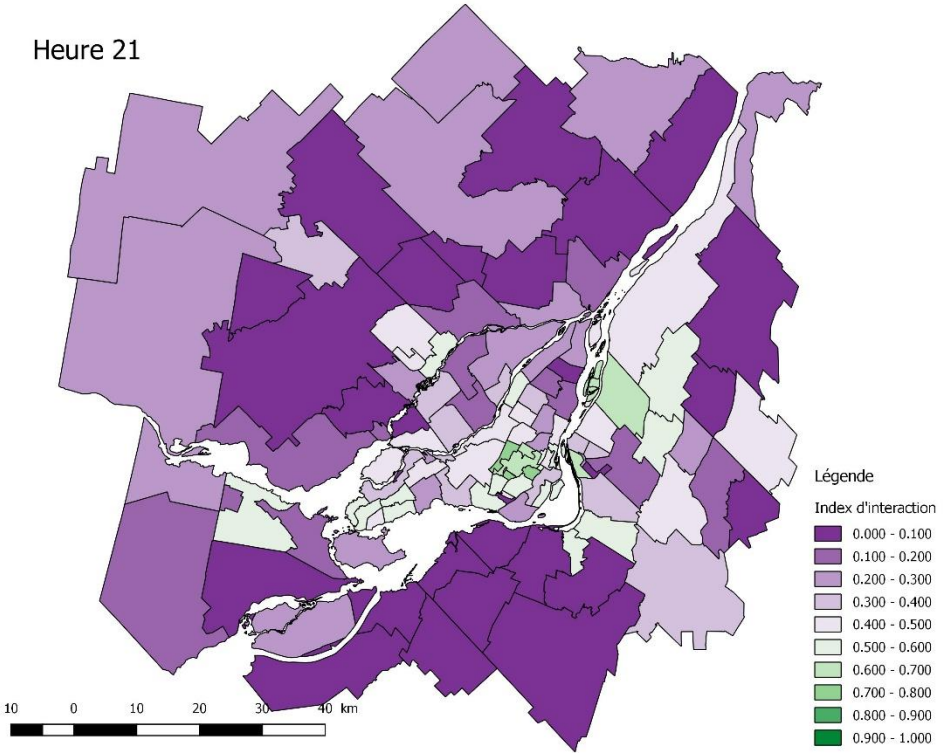

Heure 16
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km

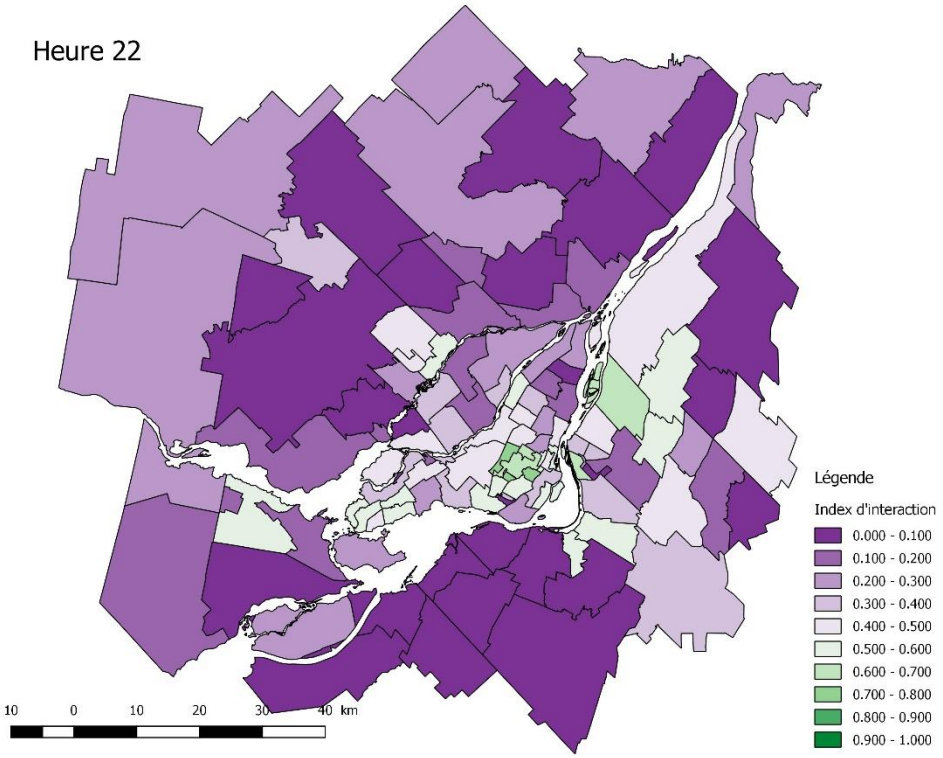

Heure 17
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km

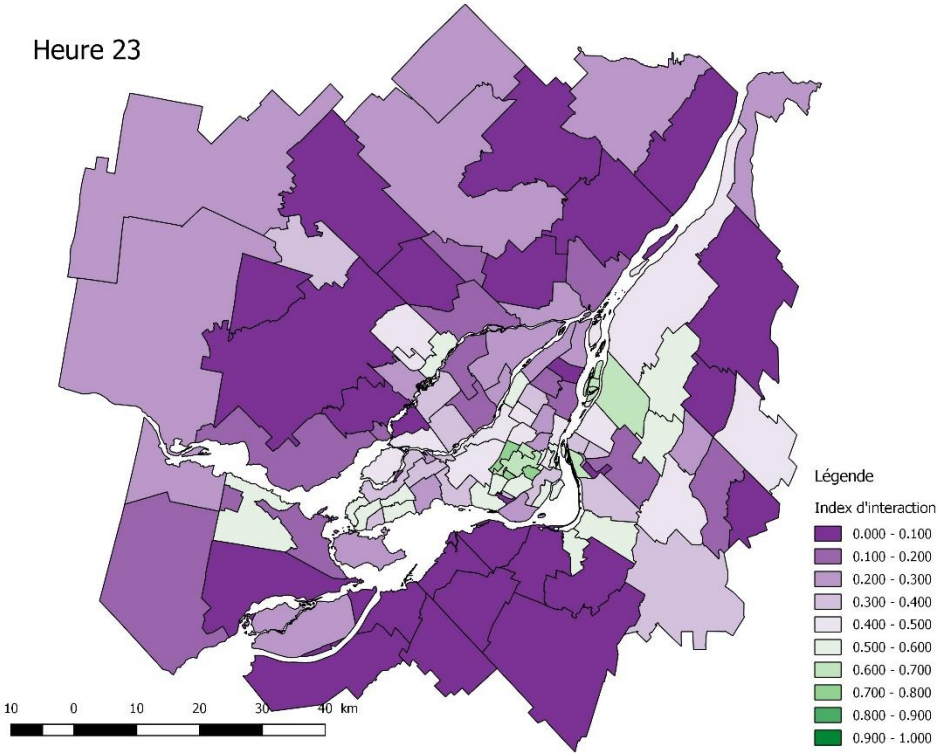

Heure 18
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km

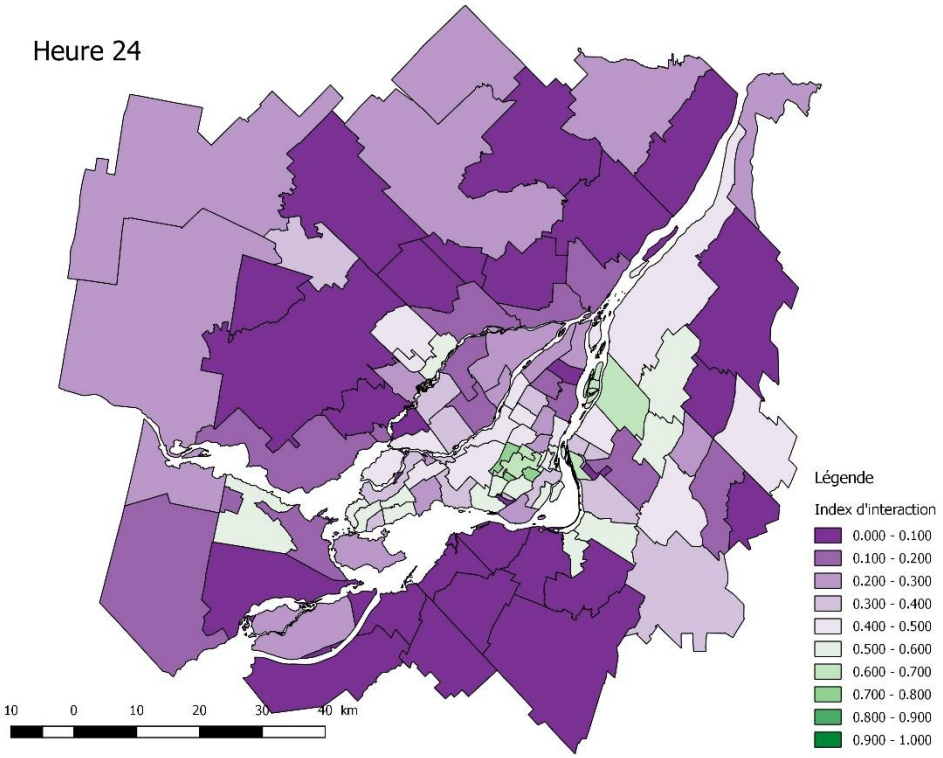

Heure 19
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km

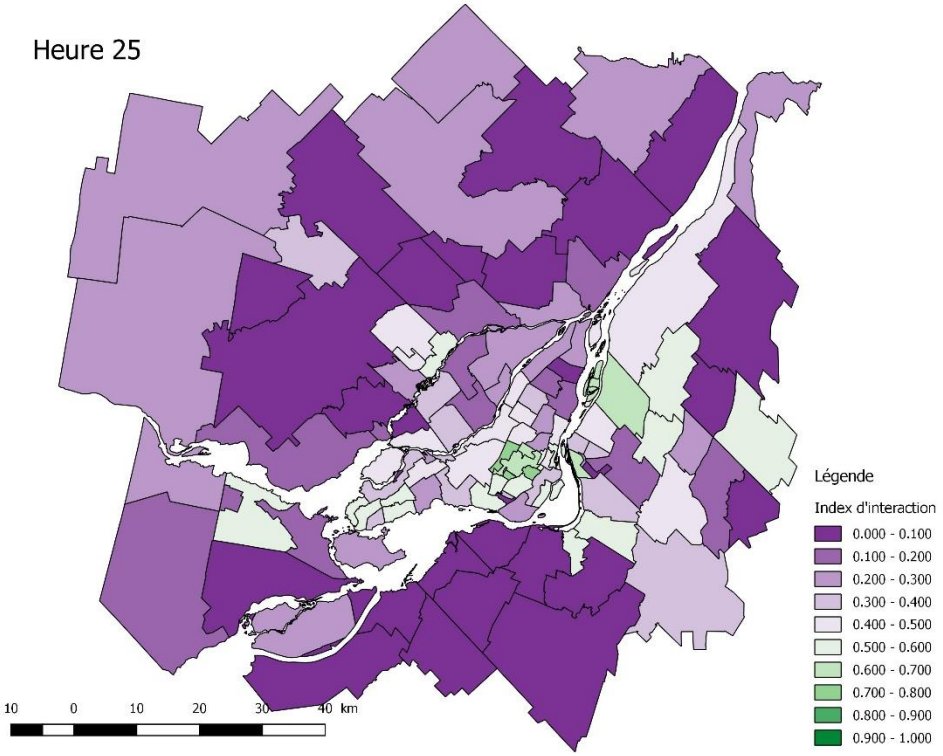

Heure 20
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km

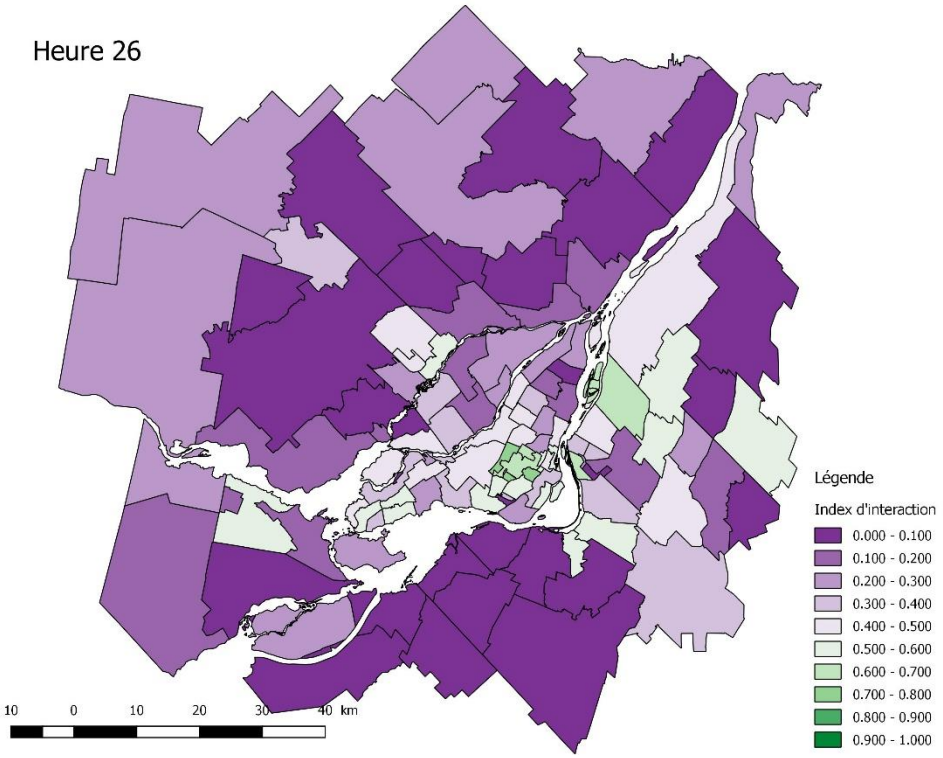

Heure 21
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km

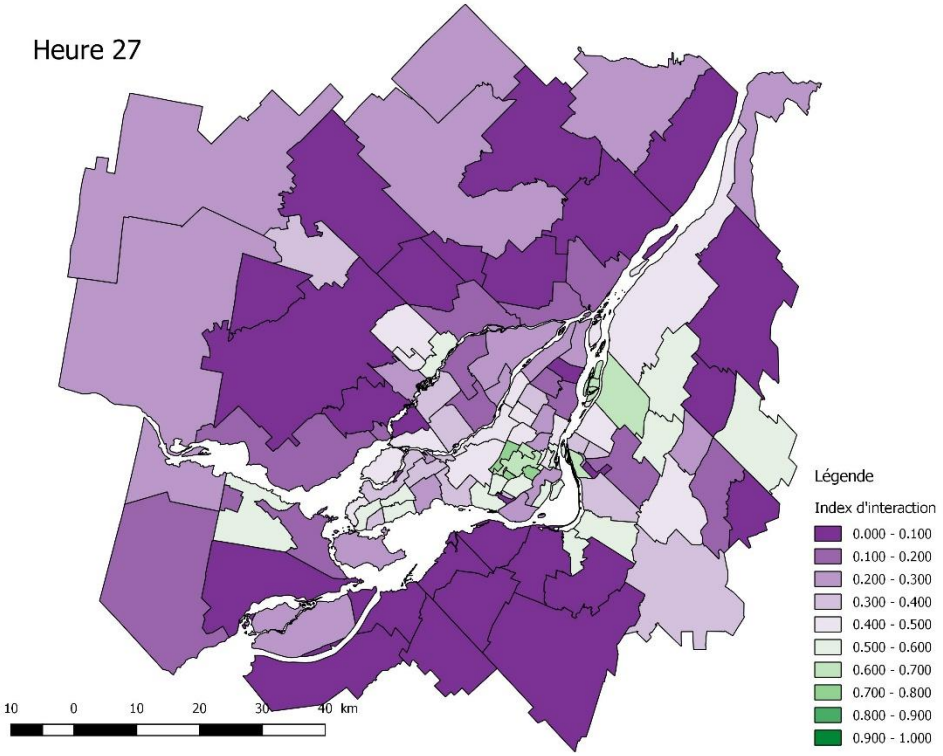

Heure 22
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km

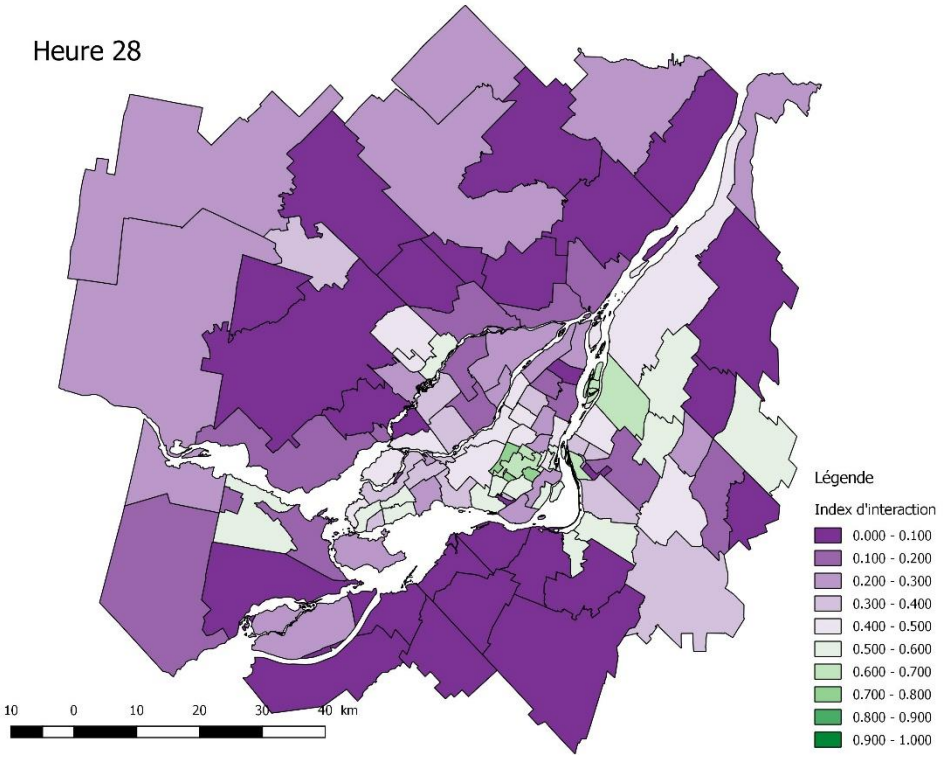

Heure 23
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km


Heure 24
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km


Heure 25
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km


Heure 26
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km


Heure 27
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km


Heure 28
Légende
Index d'interaction
0.000 - 0.100
0.100 - 0.200
0.200 - 0.300
0.300 - 0.400
0.400 - 0.500
0.500 - 0.600
0.600 - 0.700
0.700 - 0.800
0.800 - 0.900
0.900 - 1.000
10 0 10 20 30 40 km