

Développement d'indicateurs d'accessibilité pour la production d'analyses multimodales et non comparatives

R860.1

Gavin Hermanson, Concordia University
Laboratoire TRIP

Pierre Laffont, Polytechnique Montréal
Département de génie civil, géologique et des mines

Professeur agrégé Zachary Patterson, Université Concordia
Concordia Institute for Information Systems Engineering

Rapport final
Étude réalisée pour le compte du ministère des Transports et de la Mobilité Durable du Québec

Juin 2023

Table des matières

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Introduction | 5 |
| 2 | Revue de littérature | 6 |
| 2.1 | Bref historique sur la recherche concernant l'accessibilité..... | 6 |
| 2.2 | Types d'indicateurs d'accessibilité | 9 |
| 2.3 | Applications pratiques des indicateurs et modèles d'accessibilité | 17 |
| 2.4 | L'accessibilité comme indicateur économique | 20 |
| 2.5 | Résumé des recherches actuelles sur l'accessibilité | 21 |
| 3 | Méthodologie..... | 23 |
| 3.1 | Applications et données | 24 |
| 4 | Études de cas | 26 |
| 4.1 | Données utilisées | 26 |
| 5 | L'IAMP pour analyser les effets régionaux du SRB Pie-IX..... | 29 |
| 5.1 | Introduction..... | 29 |
| 5.2 | Description de l'étude de cas | 29 |
| 5.3 | Analyse cartographique des données | 32 |
| 5.4 | Méthodes | 38 |
| 5.5 | Résultats et discussion | 40 |
| 6 | Évaluation de l'équité en utilisant l'accessibilité multimodale dans le Grand Montréal | 51 |
| 6.1 | Introduction..... | 51 |
| 6.2 | Description de l'étude de cas | 51 |
| 6.3 | Méthode et données | 55 |
| 6.4 | Résultats et discussion | 56 |
| 6.5 | Analyses de sensibilité..... | 67 |
| 6.5.1 | Part modale auto-TC..... | 67 |
| 6.5.2 | Nombre d'emplois | 70 |
| 7 | Discussion et recommandations..... | 67 |
| 7.1 | Recommandations générales | 67 |
| 7.2 | Limites de l'étude..... | 72 |
| 7.3 | Utilisation future de l'IAM et de l'IAMP | 74 |
| 7.4 | Application de l'IAM par catégorie d'emploi..... | 75 |
| 7.5 | Application de l'accessibilité multimodale à d'autres opportunités..... | 77 |
| 7.6 | Utilisation des concepts pour la définition d'objectifs en planification des transports..... | 78 |
| 8 | Conclusion..... | 81 |
| 9 | Références | 82 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 – Accessibilité à l'emploi via TC (Atlanta) | 13 |
| Figure 2 – Accessibilité à l'emploi via TC (Chicago) | 13 |
| Figure 3 – Accessibilité à l'emploi via TC (Houston) | 13 |
| Figure 4 – Accessibilité à l'emploi via TC (New York) | 13 |
| Figure 5 – Représentation visuelle par Miller du prisme spatio-temporel d'un individu (Miller, 1991) | 14 |
| Figure 6 – Mesure d'opportunité gravitaire de l'accès aux emplacements commerciaux à Naples, en Italie (Cascetta et al., 2013) | 15 |
| Figure 7 – Mesure de l'opportunité perçue de l'accès aux emplacements commerciaux à Naples, en Italie (Cascetta et al., 2013) | 16 |
| Figure 8 – Carte des ZAT du SRB Pie-IX..... | 30 |
| Figure 9 – Évolution de la capacité des voies le long du corridor SRB Pie-IX..... | 31 |
| Figure 10 – Évolution du trafic automobile résultant de la modification de la capacité routière suivant l'implantation du SRB Pie-IX..... | 32 |
| Figure 11 - Changements dans les temps de trajets moyens en automobile par ZAT | 33 |
| Figure 12 - Changements dans les temps de trajets moyens en transports en commun par ZAT | 33 |
| Figure 13 - Densité de population par ZAT dans le Grand Montréal..... | 34 |
| Figure 14 - Densité d'emplois par ZAT dans le Grand Montréal | 35 |
| Figure 15 – Accessibilité aux emplois en auto en 60 minutes depuis les ZAT d'origine (scénario de base)..... | 36 |
| Figure 16 – Accessibilité aux emplois en transport en commun en 60 minutes depuis les ZAT d'origine (scénario de base)..... | 36 |
| Figure 17 – Écart (avant et après SRB Pie-IX) de l'accessibilité aux emplois en 60 minutes depuis les ZAT d'origine en automobile | 37 |
| Figure 18 – Écart (avant et après SRB Pie-IX) de l'accessibilité aux emplois en 60 minutes depuis les ZAT d'origine en transport en commun | 38 |
| Figure 19 – Changements d'accessibilité multimodale au seuil de 30 minutes pour le corridor Pie-IX | 47 |
| Figure 20 – Changements d'accessibilité multimodale au seuil de 45 minutes pour le corridor Pie-IX | 48 |
| Figure 21 – Changements d'accessibilité multimodale au seuil de 60 minutes pour le corridor Pie-IX | 49 |
| Figure 22 - Arrondissements du corridor du SRB Pie-IX | 52 |
| Figure 23 - Variations d'IAM à 60 minutes pour les arrondissements du corridor du SRB Pie-IX | 63 |
| Figure 24 - Changements de IAM à 60 minutes pour les SR du Grand Montréal..... | 63 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 – Description et sources des données | 26 |
| Tableau 2 – Population et emplois dans le Grand Montréal et dans le corridor Pie-IX (2016).... | 41 |
| Tableau 3 – IMU (M) de Bertaud pour les scénarios de base et du SRB Pie-IX pour le Grand Montréal | 41 |
| Tableau 4 – L’IAM du Grand Montréal | 43 |
| Tableau 5 – L’IAMP du Grand Montréal | 43 |
| Tableau 6 – IMU (M) de Bertaud pour les scénarios de base et SRB pour le corridor Pie-IX..... | 44 |
| Tableau 7 - L’IAM du corridor Pie-IX..... | 45 |
| Tableau 8 - L’IAMP pour le corridor Pie-IX..... | 46 |
| Tableau 9 - Profils des arrondissements et des quartiers traversés par ou adjacents au SRB Pie-IX | 53 |
| Tableau 10 – Variations de l’IAM et l’IAMP à 60 minutes | 56 |
| Tableau 11 - Répartition des composantes de l’IAM - Scénario SRB Pie-IX | 58 |
| Tableau 12 - Répartition des composantes d’IAM - Scénario de base | 59 |
| Tableau 13 – Variations de l’accessibilité multimodale (IAM) par secteur de recensement, regroupés par quintiles..... | 64 |
| Tableau 14 – Analyse de sensibilité : modification de 0,1% de la part modale | 67 |
| Tableau 15 – Analyse de sensibilité : modification de 0,5% de la part modale | 68 |
| Tableau 16 – Analyse de sensibilité : modification de 1% de la part modale | 68 |
| Tableau 17 – Analyse de sensibilité – modification du nombre d’emplois..... | 70 |

1 Introduction

Ce rapport est le rapport final du projet de recherche « Développement d'indicateurs d'accessibilité pour la production d'analyses multimodales et non comparatives - R860.1. ». Le rapport est composé de deux parties. Une revue de littérature dresse d'abord un historique global et analyse les applications de l'accessibilité dans les domaines de la planification des transports et de la géographie. Ensuite, de nouvelles méthodes permettant de calculer l'accessibilité en intégrant différents modes de transport sont décrites, ainsi que leurs applications pratiques.

La revue de littérature commence par une analyse approfondie de l'histoire de l'accessibilité et de son contexte dans la planification régionale et des transports. Elle décrit ensuite les origines et les formulations des mesures d'accessibilité contemporaines, ainsi que leurs forces et faiblesses respectives. Le chapitre se poursuit avec de nombreux exemples tirés de différents domaines de la géographie et de la planification des transports dans lesquels l'accessibilité est utilisée. Après cette revue sur l'accessibilité, les lacunes dans le domaine sont discutées. Elles concernent en général le manque de multimodalité dans les travaux d'accessibilité antérieurs et l'absence de recherche concernant les interactions entre l'accessibilité des différents modes de déplacement.

Une solution à ces lacunes est ensuite proposée. Celle-ci est basée sur les idées de l'urbaniste et ancien planificateur en chef de la Banque Mondiale Alain Bertaud. Cette nouvelle méthode permet de calculer l'accessibilité en tenant compte de plusieurs modes de transport et des interactions de l'accessibilité entre ces différents modes. Cela la rend donc idéale pour l'analyse de scénarios en planification des transports. L'applicabilité de cette nouvelle méthode est alors testée en utilisant comme étude de cas le projet du service rapide par bus (SRB) sur le boulevard Pie-IX à Montréal. Des analyses de scénarios permettent ensuite de comparer les changements d'accessibilité multimodale suivant l'implantation du SRB Pie-IX et d'évaluer les implications sur l'équité.

2 Revue de littérature

L'accessibilité telle qu'elle est définie dans les domaines du transport et de la planification des transports fait référence au potentiel d'atteindre des opportunités spatialement et temporellement dispersées (Hansen, 1959). L'inclusion de « l'utilisation du sol » fait de l'accessibilité un concept important pour la planification urbaine, car il intègre le concept de mobilité, autrement dit la facilité de se déplacer d'un endroit à un autre, et de ce qui est accessible une fois arrivé à un endroit donné. L'accessibilité est importante parce qu'elle est considérée comme l'un des moteurs du développement des villes et parce qu'elle a un impact sur la qualité de vie dans ces villes et la durabilité de celles-ci. Cette revue de littérature examine les origines de la recherche sur l'accessibilité, l'état de la recherche contemporaine et comment des concepts tels que la multimodalité s'intègrent dans la notion globale d'accessibilité.

2.1 Bref historique sur la recherche concernant l'accessibilité

L'accessibilité telle qu'elle est comprise aujourd'hui a été officiellement introduite dans le monde universitaire, par le biais d'un article souvent cité, écrit par Walter Hansen et publié en 1959. Intitulé *How Accessibility Shapes Land Use*, cet article historique reprend l'idée de John Q. Stewart du potentiel de population, un concept inspiré par la gravité newtonienne. Stewart a utilisé cette idée pour expliquer le changement démographique et le nombre « d'attractions » dans son article de 1948 : *Demographic Gravitation*. Hansen a appliqué le concept de Stewart aux calculs d'utilisation du sol et de distance, créant le premier modèle gravitaire d'accessibilité. Dans l'article de Hansen, l'accessibilité à l'emploi a été utilisée dans son calcul d'accessibilité, un thème récurrent dans la littérature.

La recherche universitaire sur l'accessibilité a commencé à croître progressivement entre 1959 et les années 1990, avec peu d'articles sur l'accessibilité telle qu'elle est comprise aujourd'hui. Il y a eu ensuite une explosion de la recherche sur l'accessibilité dans les décennies qui ont suivi. Un article de 1962 de John F. Kain a utilisé l'accessibilité à l'emploi pour expliquer l'emplacement résidentiel. Il a combiné des éléments théoriques et des modèles sur la location foncière avec les coûts de transport pour opposer les économies de coûts marginaux en loyer à l'augmentation des dépenses en coûts de transport. Cette idée a été réfutée par Michael Stegman (1969) qui a constaté que les perceptions entourant la qualité des quartiers résidentiels importaient plus que l'accessibilité à l'emploi. Il maintenait que dans le contexte de l'urbanisation des États-Unis à cette époque, de nombreuses familles ne perdaient pas en accessibilité en déménageant en banlieue en raison d'une mobilité automobile améliorée, des espaces commerciaux et de l'emploi en banlieue.

Le modèle de Kain, comme d'autres modèles d'accessibilité dans les années 1960, était fortement théorique et difficile à rendre opérationnel. La mise en œuvre des modèles d'accessibilité est devenue un axe de recherche en transport au début des années 1970. Ingram (1971) a entrepris d'opérationnaliser les calculs d'accessibilité en établissant des définitions concrètes de l'accessibilité relative et absolue. De cette façon, l'idée d'accessibilité pourrait passer d'un concept à une mesure utile tant aux universitaires qu'aux planificateurs. Turner (1972) a

également tenté de mettre en œuvre un cadre de modèle d'accessibilité à utiliser pour des analyses de planification. Il a observé que trop souvent les modèles étaient trop agrégés, ignoraient les différences d'accessibilité au sein de différents espaces physiques et des différentes populations. Son modèle incorporait différentes opportunités, ou types de ressources urbaines, différentes valeurs pour leurs accessibilités relatives par rapport à différents segments de population, et les coûts de déplacement.

Le concept d'accessibilité gagnait en importance dans les cercles universitaires au début des années 1970, avec Wachs et Kumagai (1973) faisant la déclaration audacieuse que « l'accessibilité est peut-être le concept le plus important pour définir et expliquer la forme et la fonction régionales ». Dans leur article, les disparités d'accessibilité dans les populations urbaines ont été discutées, avec la mise en garde que de nombreuses affirmations concernant les disparités spatiales d'accessibilité, bien que souvent évoquées, ne disposaient pas de données suffisantes pour étayer les affirmations. En ce qui concerne l'équité et l'accessibilité au marché du travail, les auteurs expliquent que l'incompatibilité éventuelle des catégories d'emplois et des exigences en matière de compétences ou d'éducation peut rendre le concept d'accessibilité générale moins utile. Ils tentent ensuite de mettre en place des mesures d'accessibilité. Leur article se démarque des autres articles précoces sur l'accessibilité en étant l'un des premiers à examiner explicitement l'accessibilité aux opportunités (dans ce cas, les soins de santé) qui n'étaient pas basées sur l'emploi.

La majorité des premiers articles sur l'accessibilité utilisaient des mesures basées sur la gravité ou des mesures d'opportunités cumulées (Burns et Golob, 1976). Ces mesures, qui sont toutes deux des mesures d'accessibilité basées sur l'emplacement géographique, sont encore couramment utilisées à la fois dans les universités et dans la planification professionnelle, et seront discutées plus loin en détail :

- Les mesures d'accessibilité basées sur la localisation, telles que les mesures de gravité et d'opportunités cumulées, sont des mesures d'accessibilité où les valeurs d'accessibilité sont calculées à partir d'un emplacement ou d'une unité géographique particulière, tels qu'un secteur de recensement ou une zone d'analyse de transport. Les mesures d'opportunités cumulées calculent l'accessibilité aux opportunités en fonction de seuils temporels, et considèrent implicitement toutes les opportunités comme étant d'utilité égale. Les mesures basées sur la gravité incluent des fonctions de décroissance qui attribuent une plus grande valeur aux opportunités plus proches ou plus accessibles, et moins de valeur aux opportunités moins proches et accessibles.

Burns et Golob (1976) contestent l'absence de théorie économique sous-jacente qui pourrait être utilisée pour déterminer la cause et l'effet, implicites dans les mesures basées sur la localisation, du comportement de déplacements. Ils proposent plutôt l'utilisation de la théorie de l'utilité et d'une fonction multinomiale « logit » pour calculer les fonctions d'utilité qui servent également de mesures d'accessibilité. Cela poserait les bases pour une utilisation future des fonctions « logit » et de l'accessibilité « logsum ».

À la suite de recherches menées au début et au milieu des années 1970, l'accessibilité a commencé à prendre de l'importance dans les cercles universitaires et dans la pratique professionnelle, bien que l'explosion des études sur l'accessibilité et des articles de revues n'ait eu lieu que dans les dernières années du XXe siècle et au début des années 2000. La mobilité, ou la facilité de se déplacer d'un point à un autre point spatialement distinct, avait jusqu'à présent été au centre de la planification des transports et à l'origine de nombreux agrandissements d'autoroutes et de routes. La mobilité est restée le paradigme dominant et l'objectif ultime de la planification des transports malgré l'importance croissante de l'accessibilité. Le problème de la mobilité réside cependant dans le manque de considération pour l'occupation du sol. La mobilité ne se préoccupe pas de la destination à laquelle on essaie de se rendre ni des autres destinations possibles ailleurs, mais se concentre uniquement sur le trajet de A à B. Ce manque de considération pour l'utilisation du sol peut affecter négativement les systèmes de transport et d'utilisation du sol, car ils sont à la fois interconnectés et dépendants les uns des autres. Le passage de la mobilité à l'accessibilité a été amorcé à partir du milieu et de la fin des années 1980 et s'est poursuivi dans les années 1990, à travers les idées collectivement connues sous le nom de « Nouvel Urbanisme ».

Le Nouvel Urbanisme a affecté de nombreux aspects de la construction urbaine et a finalement trouvé une compatibilité avec le paradigme de l'accessibilité, le propulsant au premier plan du transport et l'écartant grandement du paradigme de mobilité précédent. Les principes du Nouvel Urbanisme comprennent la densification des zones urbaines existantes, la diversité des utilisations des sols, un accent mis sur le transport durable, le tout sous le couvert général de la création de quartiers et de villes plus durables et plus vivables.

Le paradigme du Nouvel Urbanisme peut ainsi être vu comme un allié naturel de l'accessibilité, valorisant une densité et une diversité d'occupations du sol, ainsi qu'un design qui favorise les modes de déplacement durables comme le transport en commun, la marche et le vélo (Kelbaugh, 1997). Les nouvelles valeurs urbanistes de densité et de diversité sont deux des principales raisons pour lesquelles l'accessibilité s'intègre bien dans ce paradigme : l'accessibilité générale s'améliore avec de plus grandes densités et diversités d'utilisation du sol. Le passage de l'automobile vers le transport en commun et les modes de déplacement actifs amorcé par le Nouvel Urbanisme s'aligne bien avec le passage de la mobilité à l'accessibilité dans la planification des transports. Les modes de déplacement autres que la conduite, bien que dépourvus de la mobilité d'une automobile privée, ne doivent pas nécessairement manquer d'accessibilité, tant que des infrastructures suffisantes sont en place et qu'il existe une densité et une diversité d'utilisations du sol, comme dans les noyaux ou nœuds urbains. Alors que le Nouvel Urbanisme gagnait la faveur des urbanistes, des articles importants appelant à un changement de paradigme dans la planification des transports pour être conforme au Nouvel Urbanisme ont été publiés (Cervero, 1995; Ewing, 1995). En partie en raison de l'évolution des mesures d'accessibilité, des progrès des systèmes d'information géographique (SIG) et des capacités de calcul informatiques, et du changement de paradigme de la planification relatif au Nouvel Urbanisme, la quantité de littérature sur l'accessibilité a considérablement augmenté, cette tendance qui se poursuit actuellement.

2.2 Types d'indicateurs d'accessibilité

Au fil des ans, il y a eu de nombreuses tentatives pour classer les mesures et les paramètres d'accessibilité. Une de ces premières expérimentations démontre que la principale différence entre les mesures d'accessibilité est celle entre l'accessibilité relative et intégrale, la gravité, les opportunités cumulées et les mesures d'utilité tombant toutes sous l'égide de l'accessibilité intégrale ou absolue (Morris, Dumble et Wigan, 1979).

Les mesures de gravité et d'opportunités cumulées ont déjà été définies, le troisième type de mesure mentionné dans cet article consiste en des mesures basées sur l'utilité. Il s'agit d'une mesure d'accessibilité où l'accessibilité est dérivée du fait qu'un voyage a ou non une utilité suffisante pour être effectué. Ceci implique un score d'accessibilité agrégé qui est attribué après le calcul de l'utilité de tous les déplacements possibles dans un certain laps de temps. Les auteurs de cet article définissent l'accessibilité intégrale comme l'accessibilité totale à un type d'opportunité donné à partir d'un emplacement donné. L'accessibilité relative est en revanche l'accessibilité au type d'opportunité donné le plus proche à partir d'un emplacement donné.

Une façon de visualiser cette différence est de penser à l'accessibilité à un système de métro. L'accessibilité relative mesurerait votre accessibilité à la station de métro la plus accessible depuis votre emplacement, tandis que l'accessibilité intégrale mesurerait votre accessibilité à toutes les stations de métro depuis votre emplacement, dans un délai donné. Le même document résume également la manière dont les indicateurs et les mesures d'accessibilité ont été utilisés, et prescrit la manière dont ils doivent être utilisés, c'est-à-dire pour évaluer les plans ou systèmes de transport et d'aménagement du territoire, ou pour créer des modèles de demande de déplacement et de développement urbain. Les mesures d'accessibilité sont encore utilisées à ces fins spécifiques dans les contextes contemporains, mais sont désormais également utilisées dans d'autres contextes, tels que les analyses d'équité, de croissance économique et de développement, comme nous le verrons plus en détail ci-dessous.

Une autre idée pertinente proposée par Morris, Dumble et Wigan (1979) concerne les fondements faisant d'une mesure d'accessibilité utile pour l'évaluation. Ils proposent quatre principes à la base d'une mesure d'accessibilité opérationnelle et compréhensible :

1. Utilisation d'un découpage géographique sensible aux changements des systèmes de transport;
2. Intégration des comportements et habitudes de transport des individus;
3. Mesure viable tout en restant opérationnellement réalisable;
4. Production de résultats faciles à interpréter et pouvant être communiqués au grand public.

Ces principes s'appliquent toujours aujourd'hui et les mesures d'accessibilité les plus fonctionnelles répondent à ces critères.

Une autre façon fructueuse de classer les mesures d'accessibilité provient d'un article de synthèse rédigé par Geurs et van Wee (2004) intitulé *Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions*. Au-delà des critères énoncés par Morris et al., Geurs et van Wee ont identifié quatre composantes essentielles de l'accessibilité que l'on retrouve dans différentes définitions et mesures. Il s'agit de la composante utilisation du sol, de la composante transport, de la composante temps et de la composante de l'individu.

La composante d'utilisation du sol des définitions d'accessibilité et des mesures d'accessibilité reflète la quantité, la qualité et la distribution spatiale des opportunités, et où l'offre et la demande de ces opportunités interagissent dans l'espace. La composante transport fait référence aux systèmes de transport qui relient les zones de l'espace entre elles. Cela comprend les coûts de déplacement, les modes de déplacement, les infrastructures de transport et les vitesses de déplacement. La composante temps comprend les restrictions temporelles sur les voyages, les opportunités et les individus. Enfin, la composante de l'individu fait référence aux besoins, aux capacités et aux opportunités dont disposent les individus (Geurs & van Wee, 2004).

Dans le même article, Geurs et van Wee classent les mesures d'accessibilité en quatre catégories : les mesures basées sur les infrastructures, les mesures basées sur la localisation, les mesures basées sur les personnes et les mesures basées sur l'utilité. Chacune d'elles mesure l'accessibilité par différents moyens et par conséquent est adaptée pour différents scénarios. Les mesures basées sur l'infrastructure utilisent des mesures de performance ou de niveau de service pour déterminer l'accessibilité d'une zone. Ces mesures de performance peuvent être simulées à l'aide de logiciels de circulation ou de transport, ou observées en conditions réelles. Ce type de mesures d'accessibilité est couramment observé dans la planification et la modélisation des transports et a généralement des liens faibles ou inexistantes avec l'utilisation du sol, ce qui en fait autant des modèles de trafic ou de mobilité que des modèles d'accessibilité (Geurs et van Wee, 2004).

Les mesures basées sur la localisation sont les plus courantes dans la littérature sur la planification et souvent les plus simples à comprendre et à transmettre au grand public. Les mesures basées sur la localisation produisent des valeurs d'accessibilité pour des emplacements spatiaux spécifiques. Ces emplacements peuvent être définis à différentes échelles géographiques, permettant des mesures d'accessibilité potentiellement très précises et sensibles.

Ces mesures, y compris les mesures d'opportunités cumulées et les mesures de gravité couramment utilisées, produisent des valeurs d'accessibilité dans des zones spatiales discrètes, calculant en fait l'accessibilité à partir d'un point ou d'une zone, comme un secteur de recensement ou une zone d'analyse de transport (ZAT). Les mesures d'opportunités cumulées sont calculées en additionnant le nombre total d'opportunités accessibles à partir d'un emplacement donné dans un temps donné. Les mesures de gravité sont calculées de la même manière, bien que les opportunités soient pondérées à l'aide d'une fonction de décroissance, ce

qui signifie qu'une opportunité à 5 minutes sera considérée comme beaucoup plus accessible qu'une opportunité à 40 minutes. Cette prémisse permet aux mesures basées sur la gravité d'avoir une base dans les théories comportementales ou les comportements de déplacement observés.

Les mesures basées sur la localisation sont généralement privilégiées dans la planification urbaine et la géographie des transports et sont couramment utilisées dans des domaines tels que la géographie et la planification sanitaires et sociales. Ceci pour plusieurs raisons, dont leurs liens intrinsèques avec l'occupation du sol, leur facilité à transmettre leurs résultats à la fois numériquement et cartographiquement, et leur relative simplicité de calcul (Geurs & van Wee, 2004). Un exemple d'une mesure de gravité en pratique peut être vu ci-dessous, où l'accessibilité aux médecins généralistes a été calculée au Royaume-Uni (Haynes et al., 2003) :

$$P_i = \sum_{j=1}^N a_j f(T_{ij}) \quad (\text{Équation 1})$$

Dans cette équation, le potentiel d'opportunité, ou P, pour la zone i, est calculé en additionnant l'attractivité (a) du service j, où T est le temps ou le coût du trajet de la zone i au service j, et f est la fonction de décroissance. Ceci est une application simpliste qui inclut les composants requis : un type d'opportunité et la somme correspondante, un coût de déplacement et une fonction de décroissance. Cet exemple particulier comprend une composante d'attractivité des services de santé reçus, démontrant la facilité avec laquelle d'autres facteurs tels que l'attrait ou la préférence peuvent être ajoutés à un modèle basé sur la localisation comme celui-ci.

Les mesures d'opportunités cumulées sont calculées de la même manière, mais sans fonction de décroissance dans l'équation. En prenant l'exemple précédent sur l'accès aux médecins généralistes, une mesure d'opportunités cumulées sans la décroissance ressemblerait à ce qui suit :

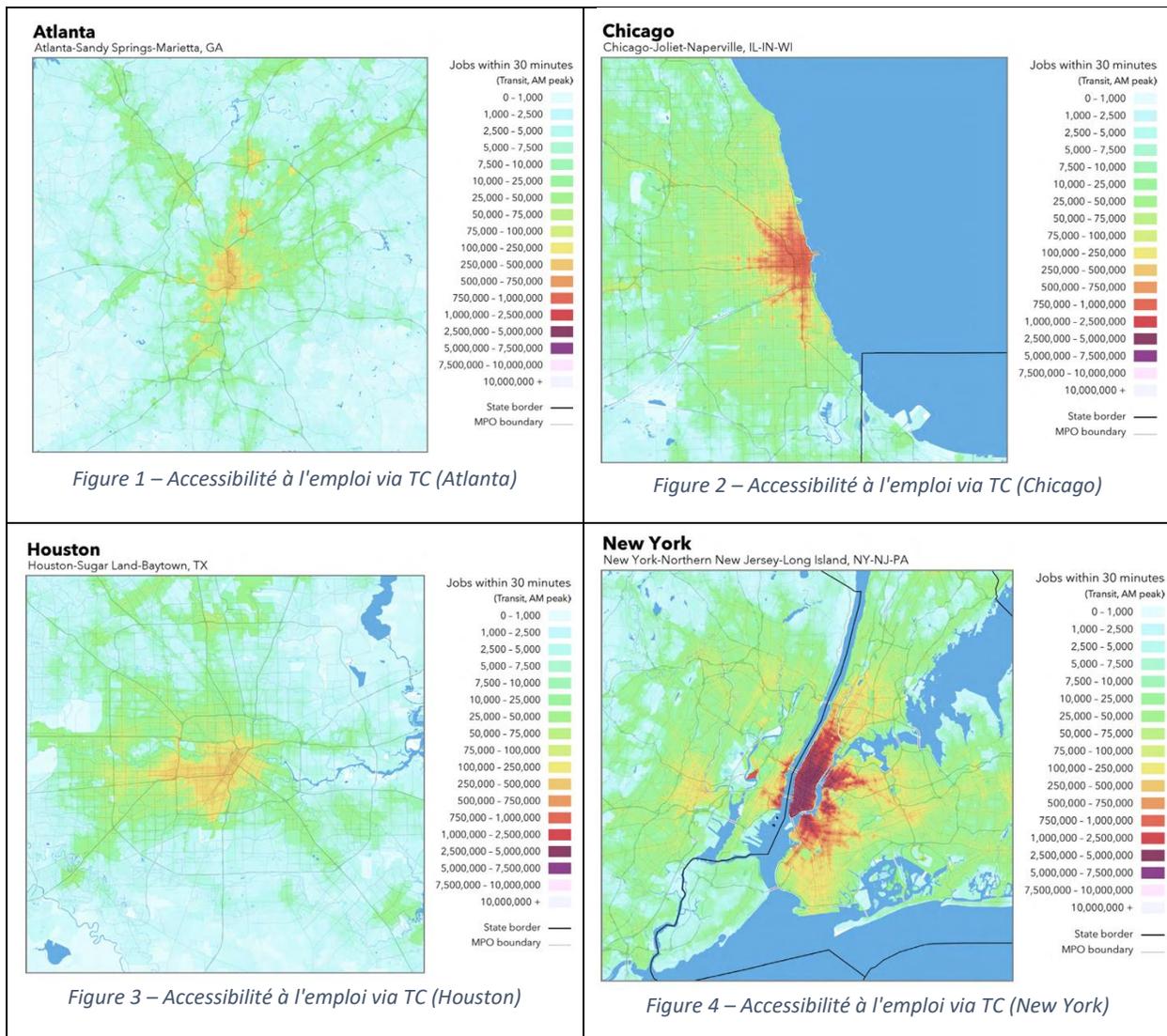
$$P_i = \sum_{j=1}^N a_j \quad (\text{Équation 2})$$

Ici, le potentiel d'opportunité est la somme de tous les services (j), à nouveau pondérée par l'attractivité (a), accessibles depuis la zone i. Cette fois, il n'y a pas de fonction de décroissance pour agir comme un poids de gravité, c'est simplement la valeur cumulée de toutes les opportunités potentielles.

Dans un exemple simpliste comme celui-ci, il est facile de comprendre pourquoi ces types de mesures sont omniprésents à la fois dans la recherche universitaire et en pratique dans le cadre des transports et de l'aménagement du territoire. Elles peuvent être facilement calculées et transmises simplement, tout en restant utiles aux planificateurs et aux chercheurs. Ces mesures n'existent cependant pas sans leurs propres lacunes. Les critiques des mesures basées sur la

localisation incluent leur simplicité, leur mépris des préférences et des choix individuels, leur sensibilité aux changements de temps de trajet et leurs limites temporelles souvent arbitraires (Geurs & van Wee, 2004). Les modèles basés sur la gravité ont été critiqués pour leurs fonctions de décroissance appliquées uniformément aux populations qui peuvent ne pas partager les mêmes fonctions de décroissance ou taux de décroissance, tandis que les mesures d'opportunités cumulées sont souvent critiquées pour traiter toutes les opportunités comme également accessibles, tant qu'elles sont à portée selon le temps imparti (Geurs & van Wee, 2004).

Voici quelques exemples de résultats de mesures basées sur la localisation (figure 1), où une mesure d'opportunités cumulées a été utilisée pour calculer l'accessibilité à l'emploi par le transport en commun (TC) dans des grandes régions métropolitaines américaines (Owen et al., 2016) :



Figures 1-4 – Quatre cartes d'opportunités cumulées d'accessibilité à l'emploi via les transports en commun dans les villes et régions métropolitaines américaines d'Atlanta, Chicago, Houston et New York (Owen et al., 2016).

Les mesures d'accessibilité basées sur la personne examinent l'accessibilité au niveau d'un individu (Geurs et van Wee, 2004). La géographie spatio-temporelle décrit l'accessibilité potentielle d'un individu, fournissant une mesure d'accessibilité réaliste et individualisée, mais il s'agit de mesures élaborées, difficiles à calculer et à mettre en œuvre. Elles sont donc rarement utilisées en pratique dans le cadre professionnel. Enfin, les mesures fondées sur la théorie de l'utilité calculent l'accessibilité en déterminant l'utilité des déplacements. Les différentes méthodes sont appropriées dans différents contextes.

Les mesures basées sur la personne prennent l'idée d'accessibilité et la désagrègent complètement, jusqu'au niveau individuel. Elles utilisent des prismes spatio-temporels individuels pour modéliser l'accessibilité (par ex. Miller, 1991), sur la base de l'idée qu'une

personne ne peut être qu'à un seul endroit à la fois. Son accessibilité est donc limitée par sa géographie personnelle, ou espace-temps.

Le concept de Miller du prisme espace-temps peut être vu ci-dessous :

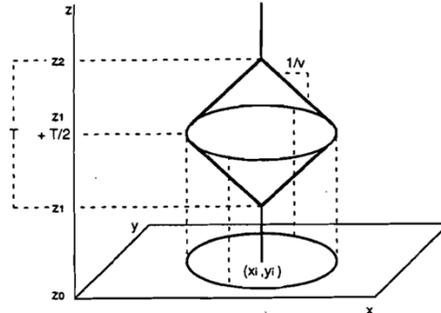


Figure 5 – Représentation visuelle par Miller du prisme spatio-temporel d'un individu (Miller, 1991)

Dans ce diagramme (Figure 5), la mobilité d'une personne peut être visualisée sous la forme de ses coordonnées x et y . Dans un laps de temps donné d'une journée, un individu ne peut pas voyager plus loin que les limites du prisme, il est contraint par son prisme spatio-temporel. Les lignes entre $Z1$ et $Z2$ peuvent être considérées comme des déplacements dans le temps et dans l'espace, autrement dit le chemin emprunté par l'individu lorsqu'il voyage au cours de sa journée.

Bien que ces modèles reposent sur de solides bases théoriques et puissent être appliqués dans la pratique à de nombreux scénarios, la nature extrêmement détaillée de ce type de mesure d'accessibilité le rend souvent peu pratique. La complexité des calculs, les limites des technologies SIG et des capacités d'analyse de réseau ainsi que la quantité d'informations requises montrent qu'il est difficile d'agréger des mesures basées sur l'individu en quelque chose d'utile dans la pratique (Geurs et van Wee, 2004). Des tentatives ont été menées pour concilier les différences et combiner des éléments d'accessibilité basée sur l'individu avec des mesures d'accessibilité basées sur la localisation (par exemple : Paez et al., 2013 ; Deboosere, & El-Geneidy, 2018).

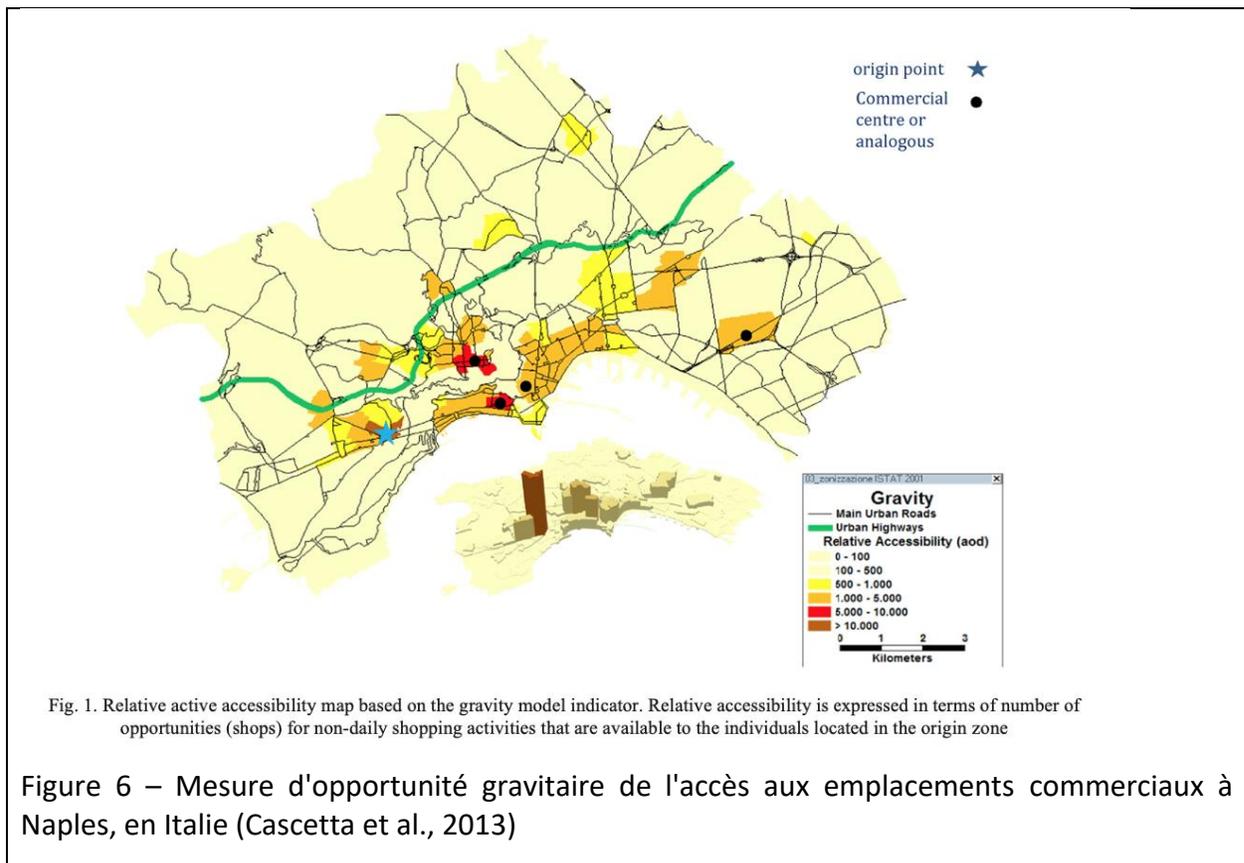
Les modèles basés sur l'utilité ont été fondés sur la théorie économique de l'utilité, l'accessibilité étant considérée à travers le prisme du choix et de l'utilité des déplacements effectués. Le modèle de « logsum », qui utilise une fonction « logit » multinomiale pour créer des valeurs d'accessibilité agrégées (Miller, 1999) est l'un de ces modèles basés sur l'utilité. Ils nécessitent généralement beaucoup de calculs, ce qui les rend souvent difficiles à expliquer aux non-économistes ou aux personnes qui n'ont pas une solide formation en économie. L'une des utilisations les plus pratiques des indicateurs d'accessibilité basés sur l'utilité est leur utilisation dans l'évaluation de scénarios de transport d'une manière théoriquement solide.

Depuis la synthèse de Geurs et van Wee, de nouveaux types de modèles d'accessibilité ont été créés, faisant progresser l'applicabilité potentielle des modèles d'accessibilité grâce à des

capacités informatiques et SIG améliorées, à des augmentations progressives de la complexité et de la granularité des données disponibles et à une utilisation croissante de données empiriques dans les fondements et les hypothèses des modèles.

Par exemple, Cascetta et al., (2013) introduisent un nouveau type de modèle d'accessibilité, un modèle comportemental (Figure 7) qui comprend des éléments de modèles géographiques spatio-temporels basés sur l'individu, des modèles basés sur l'utilité et des modèles basés sur la localisation. Ce modèle fonctionne en utilisant l'accessibilité *perçue* plutôt que l'accessibilité absolue (Figure 6), donnant à différents groupes socio-économiques des perceptions différentes des opportunités qui s'offrent à eux et des contraintes spatio-temporelles, différents types d'opportunités et différentes contraintes liées aux infrastructures. Ce type de modèle est fondé sur la théorie et est complexe sur le plan informatique, mais avec des quantités toujours croissantes de données disponibles, cela pourrait être la direction dans laquelle s'orienteront les futures recherches sur l'accessibilité. Les mêmes auteurs ont présenté le modèle dans un scénario différent, comparant à nouveau son efficacité à celle des modèles traditionnels (Cascetta et al., 2016).

Les différences entre la mesure gravitaire et la mesure d'accessibilité perçue peuvent être observées en comparant les deux cartes ci-dessous :



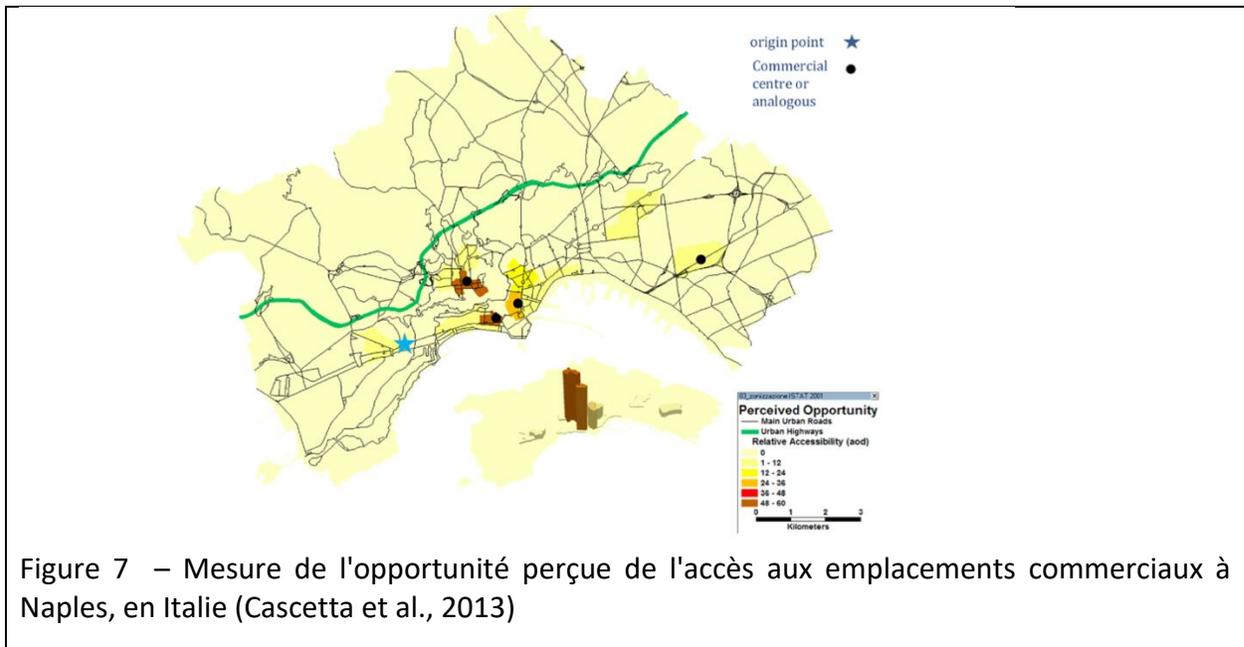


Figure 7 – Mesure de l'opportunité perçue de l'accès aux emplacements commerciaux à Naples, en Italie (Cascetta et al., 2013)

En combinant un modèle comportemental avec un modèle gravitaire, le modèle d'opportunité perçue présente une nouvelle façon d'examiner l'accessibilité. Alors que dans le modèle gravitaire, la zone d'origine est considérée comme accessible pour les achats non quotidiens, dans le modèle d'opportunité perçue, elle ne l'est pas. En effet, les zones de destinations plus grandes et plus denses s'avèrent être des générateurs de déplacements plus importants en raison de l'aspect comportemental de ce modèle.

La réduction du nombre total d'opportunités entre le modèle gravitaire et le modèle d'opportunité perçue est également due aux éléments comportementaux. Plutôt que de considérer des milliers d'opportunités de courses non quotidiennes, les paramètres du modèle suggèrent que les gens n'en considéreront qu'environ 200 au maximum. Un grand nombre de zones qui manquaient d'une densité d'opportunités suffisante, y compris la zone d'origine, ne sont donc pas considérées comme ayant des opportunités.

Ces mesures hybrides, combinant des éléments d'accessibilité basés à la fois sur la localisation et sur l'utilité (ou la personne), sont des mesures relativement récentes et nouvelles. Elles ont le potentiel de faire progresser un domaine qui stagnerait autrement. Cette mesure tente de décrire l'accessibilité telle qu'elle existe réellement dans une ville, et non une accessibilité potentielle théorique. En cela, elle est similaire à ce qui est proposé dans la méthodologie de ce rapport. Cela donne finalement de nouvelles façons de formuler les modèles d'accessibilité et de penser l'accessibilité en termes pratiques.

Il a été démontré que les divers types et sous-types de mesures d'accessibilité permettent de calculer l'accessibilité avec succès selon les différentes méthodes. Une lacune partagée par ces mesures demeure identifiée dans la littérature, car elles n'ont pas été appliquées en tenant

compte de plusieurs modes de transport en même temps. Ceci est problématique, car cela ne reflète pas fidèlement l'accessibilité, car l'accessibilité dans les villes n'est pas de nature unimodale. Il ne permet pas non plus d'interactions entre les accessibilités des différents modes de transport, ce qui signifie que les changements d'accessibilité à la suite de changements d'infrastructure ou de plans peuvent être difficiles à prévoir. Comme le montreront les exemples pratiques de la section suivante, les indicateurs existants peuvent être utilisés efficacement pour modéliser l'accès aux opportunités dans diverses situations, mais ils le font de manière unimodale ou comparative entre les modes, jamais en regroupant plusieurs modes.

2.3 Applications pratiques des indicateurs et modèles d'accessibilité

Les premiers modèles d'accessibilité concernaient généralement deux mesures principales de l'accessibilité : l'accessibilité au travail et l'accessibilité aux développements futurs, à la fois commerciaux et résidentiels. Bien que ces deux types d'accessibilité soient encore importants dans la recherche contemporaine sur l'accessibilité et en particulier dans la pratique, l'accessibilité a été utilisée comme un instrument d'observation pour les indicateurs d'équité et sociaux, ainsi que plus largement comme indicateur économique.

L'accessibilité à l'emploi est toujours pertinente, car les opportunités d'emploi au niveau agrégé sont une bonne approximation de l'accès global à tous les types d'opportunités, et les déplacements domicile-travail représentent une proportion importante de tous les types de déplacements et sont souvent associés aux heures de pointe et à la congestion qui les accompagne.

L'accessibilité aux nouveaux développements est pertinente pour les villes ayant des objectifs d'accessibilité dans leurs plans stratégiques à long terme et d'aménagement du territoire. Dans cet esprit, l'accessibilité est devenue plus qu'une simple mesure utilisée pour déterminer le nombre d'emplois qu'une personne moyenne peut atteindre, ou quel terrain est le plus optimal pour construire un nouveau lotissement.

L'accessibilité mène à des questionnements concernant la disponibilité d'aliments sains, les bénéficiaires de nouveaux investissements dans les infrastructures ou dans quels contextes l'accessibilité diffère selon les sexes (Matas, Raymond et Roig, 2010), les races (McLafferty et Preston, 2019), et même les classes sociales (Deboosere, & El-Geneidy, 2018).

L'équité vue sous l'angle de l'accessibilité est devenue importante pour les universitaires comme pour les planificateurs en exercice, ce qui s'est reflété dans la littérature au cours des deux dernières décennies (Neutens, 2015). Sur les seize articles examinés par Neutens, seuls deux ont considéré plus d'un mode de transport (en tenant compte du transport en commun et des déplacements en automobile). Aucun de ces deux articles n'a considéré une accessibilité commune intégrant tous les modes de transport en même temps, ils ont plutôt simplement calculé l'accessibilité via chaque mode de manière unimodale.

De nombreuses études au cours des dernières décennies se sont concentrées sur le rôle de l'accessibilité dans la santé. L'accessibilité et ses composantes d'utilisation du sol et de transport affectent la santé de multiples façons. L'une des façons les plus directes d'étudier le lien entre l'accessibilité et la santé consiste à examiner l'accessibilité aux fournisseurs de soins de santé. Cela a été fait dans une multitude de contextes et selon différents aspects des soins de santé. Une étude de 2004 a examiné l'accessibilité aux médecins pédiatres de soins primaires à Washington, DC, à l'aide d'un modèle gravitaire (Guagliardo et al., 2004). Les résultats du modèle d'accessibilité ont ensuite été comparés aux données raciales et ont révélé que les personnes habitant dans les zones les plus accessibles aux pédiatres étaient en majorité d'origine caucasienne, tandis que les zones de Washington dans lesquelles habitaient des personnes afro-américaines avaient un accès plus limité.

Certaines études ont tenté d'améliorer la méthode gravitaire par zone d'attraction flottante en deux étapes ("two-step floating catchment area" en anglais). C'est une métrique basée sur la gravité qui combine des mesures d'opportunité par gravité avec les localisations de l'offre (des établissements de soins de santé) et de la demande (emplacements résidentiels des personnes accédant aux soins de santé). Elle est couramment utilisée dans d'autres études sur l'accessibilité à la santé (Luo et Qi, 2009), tandis qu'encore d'autres ont tenté d'améliorer les modèles gravitaires en créant des fonctions de décroissance réalistes et empiriques pour leurs applications spécifiques (Schuurman, Bérubé et Crooks, 2010), (Paez et al, 2010).

Outre l'accessibilité aux soins pour différents groupes d'âge (Guagliardo et al., 2004), (Paez et al, 2010), l'accessibilité en tant que facteur d'utilisation des soins de santé (Pagano et al, 2007), (Mattson, 2011) et les conséquences de ces soins de santé (Wang et al, 2008), (Jones et al, 2008) ont également été examinées. D'autres éléments tels que les relations existantes, les services de santé offerts et les contraintes au niveau du fournisseur de soins de santé, plutôt que la seule proximité, ont joué un rôle dans la détermination de l'accessibilité aux soins de santé et le choix d'un médecin généraliste (Haynes, Lovett, & Sünnerberg, 2003).

Le fait de considérer les soins de santé et l'équité des soins de santé à travers le prisme de l'accessibilité s'est développé au point qu'un article de synthèse examinant les développements dans le domaine, comparant les méthodologies, exposant les lacunes et suggérant des orientations futures a mis en évidence l'émergence de la recherche sur l'accessibilité des soins de santé (Neutens, 2015). Dans cet article, diverses études sur l'accessibilité aux soins de santé ont été examinées, avec des études utilisant différents modes de transport, différents types d'analyse et recherchant différentes niches d'accessibilité. Les suggestions comprenaient l'utilisation d'approches plus désagrégées, laissant potentiellement la place à des indicateurs basés sur l'individu à utiliser dans de futures recherches. L'autre suggestion principale était que les considérations liées à l'heure du déplacement dans la journée soient incluses dans ces études, ce qui n'était généralement pas le cas. L'heure de la journée affecte les temps de trajet et donc l'accessibilité, ce qui doit être pris en compte lors de la modélisation de l'accessibilité.

La santé est complexe, elle est affectée par des paramètres plus complexes que l'établissement qui offre des soins de santé. Manger des aliments sains est un élément important pour rester en

bonne santé et l'accès à des magasins qui vendent ce type d'aliments peut affecter le régime alimentaire d'un individu. Un examen de l'accessibilité à de la nourriture saine à Montréal a révélé que les déserts alimentaires, ou les zones à faible accessibilité à des aliments sains étaient liés aux zones à faible revenu, en particulier celles des zones moins centrales (Paez et al, 2010). Cela a également renforcé l'idée que la possession automobile augmente considérablement l'accessibilité pour les populations à faible revenu. Cet article utilise une mesure gravitaire d'opportunités cumulées avec différentes fonctions de décroissance pour les différents groupes de revenus sur la base de données d'enquêtes sur les déplacements et compare l'accessibilité des différents groupes pour créer ce qui pourrait être appelé des indicateurs de manque d'accessibilité relatifs.

De nombreuses autres études ont examiné l'accessibilité et son rôle dans la dynamique de l'accès équitable à une alimentation saine à travers des points de vue légèrement différents. Un de ces articles a créé un modèle où l'accessibilité dépendait de la disponibilité d'aliments sains dans les magasins, et pas seulement de l'existence d'un magasin dans une zone particulière (Borja & Dieringer, 2019). D'autres études encore ont examiné les inégalités spatiales dans la prestation des programmes d'aide alimentaire (Waity, 2016), dans l'accès à de la nourriture de qualité (Shaw, 2012), à des installations d'activité physique et des points de vente d'aliments (Casey et al., 2012) et dans l'accessibilité à des magasins de restauration rapide et de proximité depuis les écoles (Walker, Block et Kawachi, 2014). Encore une fois, ces articles n'abordent pas la question de la multimodalité en examinant l'accessibilité, mais utilisent plutôt des analyses unimodales. L'accès aux espaces verts a également fait l'objet d'études approfondies, dans de nombreux contextes à travers le monde. Les examens de l'accessibilité aux espaces verts dans les villes ont souvent inclus des composantes d'équité dans leurs analyses (Liu, Kwan, & Kan, 2021), (Xu, Haase, Pribadi, & Pauleit, 2018), explorant les variations des inégalités spatiales à travers cette thématique. L'accessibilité des espaces verts aux enfants a également été examinée (Reyes, Paez, & Morency, 2014), tout comme l'accès aux espaces verts pour les personnes âgées (Guo et al., 2019). Contrairement à d'autres types d'accessibilité, tels que l'accessibilité à l'emploi ou l'accessibilité aux soins de santé, l'accessibilité aux espaces verts est généralement mesurée par la marche (Rojas, Paez, Barbosa, & Carrasco, 2016), (Schipperijn, et al, 2017), bien que certains articles mentionnent d'autres modes comme le transport en commun et le vélo (Yamu et Frankhauser, 2015).

Comme discuté précédemment dans la revue de littérature, l'accessibilité à l'emploi est l'utilisation la plus importante de l'accessibilité dans la planification urbaine. L'accessibilité à l'emploi a été étudiée à travers l'équité, ou la répartition équitable d'une ressource (l'accessibilité dans ce cas) dans un certain nombre de contextes différents. Cependant cela a été fait avec des focalisations similaires sur la façon dont l'accès à l'emploi diffère selon les différents groupes sociaux. La race, le sexe et le statut socio-économique font partie des prismes qui ont été appliqués aux analyses d'accessibilité pour examiner les disparités et les tendances. L'un des premiers articles à examiner les liens entre l'accessibilité à l'emploi et l'équité était une étude de 1974 qui examinait l'accessibilité à l'emploi parmi d'autres facteurs. Son but était d'expliquer les inégalités dans le sous-emploi des Afro-Américains en Géorgie (Bederman et Adams, 1974).

De nombreux articles adoptent des approches différentes, ciblant soit l'accessibilité de différents groupes, l'accessibilité par un mode de déplacement particulier, soit incorporant un nouvel élément à une méthode existante. De nombreux documents portant sur l'accessibilité à l'emploi traitent également de l'inadéquation spatiale. Parmi les articles examinant l'accessibilité à l'emploi pour les femmes, l'un examine Barcelone et Madrid (Matas, Raymond et Roig, 2010), tandis qu'un autre examine l'accessibilité à l'emploi pour les femmes de couleur à Los Angeles (Parks, 2004). Le sexe et la race ont été examinés dans une étude de 2019. Celle-ci a révélé qu'à New York, les hommes et les femmes blancs avaient la plus grande accessibilité à l'emploi, avec des postes qui avaient tendance à être mieux rémunérés. Au contraire, les femmes noires et latines subissaient la pire accessibilité et les temps de trajet les plus longs, tout en recevant une rémunération moindre (McLafferty & Preston, 2019). Preston, McLafferty et Liu (1998) ont aussi examiné l'accessibilité à l'emploi pour les Américains et les immigrants à New York. Ils ont constaté que les immigrants, en particulier les hommes, se heurtaient à des obstacles importants dans leurs trajets domicile-travail. De plus, ils bénéficiaient d'une accessibilité moindre que leurs homologues nés aux États-Unis. D'autres études sur des villes américaines telles que Los Angeles et Chicago ont confirmé ces résultats, et ont même constaté que les disparités étaient sous-estimées dans certains articles précédents (Chung, Myers, & Saunders, 2001). Des études examinant les groupes de revenus et l'accessibilité ont révélé que les groupes aux revenus les plus faibles ont la pire accessibilité à l'emploi. Ils ont aussi les temps de trajet les plus longs et la pire inadéquation spatiale avec leur emploi (Hu, 2017), (Antipova, 2020). Cependant, les améliorations de l'accessibilité aux transports en commun sont associées à des résultats positifs pour les groupes marginalisés et à faible revenu (Alam, 2009). D'autres études ont adopté une approche plus généralisée pour évaluer l'équité et l'accessibilité à l'emploi (Deboosere, Boisjoly, & El-Geneidy, 2018), (Deboosere & El-Geneidy, 2018). L'accessibilité à l'emploi a également été examinée en relation avec la valeur des propriétés (Atuesta, Ibarra-Olivo, Lozano-Gracia, & Deichmann, 2018). L'accessibilité a été utilisée pour examiner la valeur des terrains (Giuliano, Gordon, Pan et Park, 2010), (Guan et Peiser, 2018), (Munshi, 2020) et les évolutions de ces valeurs (Iacono et Levinson, 2017), (Mulley, 2014).

2.4 L'accessibilité comme indicateur économique

De nombreuses recherches ont établi un lien entre l'accessibilité dans les villes et les régions urbaines et la croissance économique. Un article a étudié l'augmentation de l'accessibilité, modélisée par l'accessibilité à l'emploi, résultant de l'expansion du réseau routier (Lembcke et Menon, 2017). Cet article a révélé que cela avait amélioré la productivité, la production et l'emploi parmi les entreprises qui ont le plus bénéficié de l'augmentation de l'accessibilité. Un article similaire a révélé que l'accessibilité améliorerait la productivité économique et qu'un accès équitable et un transport durable pouvaient être encouragés suivant une augmentation de la productivité globale (Cho & Choi, 2020). Les économies d'agglomération présentent de nombreux avantages, notamment le transfert de connaissances, des marchés du travail et de l'emploi plus vastes et le regroupement industriel. Ces avantages proviennent en partie de la baisse des coûts de transport (Vracarevic, 2019). L'urbaniste français Alain Bertaud dit dans son livre de 2018 *Order Without Design* que les villes devraient être considérées au niveau le plus élémentaire comme des marchés du travail (Bertaud, 2018). L'augmentation de l'accessibilité sur

ces marchés augmente le nombre d'opportunités d'emploi qu'un individu peut atteindre, tout en augmentant simultanément le nombre d'employés et de clients potentiels pour les entreprises, et donc la production économique et la prospérité. Bertaud prescrit que l'objectif de planification le plus important pour les villes devrait donc être de maximiser le marché du travail disponible. Celui-ci peut être défini comme la proportion d'emplois disponibles pour une personne moyenne en âge de travailler dans la ville. Il souligne également que l'accessibilité, plutôt que la mobilité, devrait être au centre de la planification des transports afin d'atteindre cet objectif de maximiser le marché du travail disponible. La troisième idée, et celle qui est la plus pertinente pour les nouvelles méthodes proposées dans ce rapport et les problèmes auxquels la littérature contemporaine sur l'accessibilité est confrontée. Cette méthode consiste à calculer l'accès à l'emploi en intégrant plusieurs modes de déplacement.

2.5 Résumé des recherches actuelles sur l'accessibilité

Les articles démontrant les applications pratiques de l'accessibilité ont calculé l'accès aux opportunités par divers modes de transport, y compris le transport en commun, le vélo, la marche et l'automobile. La majorité de ces études examinent l'accessibilité selon un mode de déplacement, et seulement quelques-unes utilisent plusieurs modes dans leurs analyses. Les études qui ont utilisé plusieurs modes de transport l'ont fait de manière comparative, en comparant généralement le transport en commun et l'automobile (par exemple, Allen et Farber, 2019; Cervero, 2005). Les analyses multimodales qui combinent l'accessibilité en intégrant plusieurs modes de déplacement n'avaient pas été tentées avant l'arrivée de l'indicateur d'accessibilité multimodale (Patterson et al., 2021).

L'accessibilité multimodale est un concept pertinent pour les villes et les régions, en raison des compromis qui existent entre nos systèmes de transport. Modifier l'accessibilité pour un mode non seulement affecte l'accessibilité du mode ciblé, mais également l'accessibilité des autres modes. Ces modifications peuvent concerner la configuration des routes, l'ajout ou la suppression sur une route de voies automobiles ou cyclables, ou la réalisation de nouveaux projets de transport en commun.

Cette revue de littérature a fait émerger deux problèmes auxquels l'accessibilité est actuellement confrontée. Le premier problème se rapporte à la nécessité de pouvoir comparer l'accessibilité entre les modes pour examiner les interactions en matière d'accessibilité entre les différents modes de déplacement. Ces interactions se résument aux effets que les accessibilités par différents modes de transport ont les unes sur les autres. Elles se produisent parce que les modes de transports ne sont généralement pas isolés. Des compromis sont souvent présents lorsque les ressources, telles que l'espace physique disponible ou le capital d'investissement, sont limitées. Les mesures d'accessibilité unimodale n'offriront qu'une seule dimension d'accessibilité, ce qui n'est pas utile pour l'évaluation de scénarios ou de plans si plusieurs modes sont affectés par les interventions. Comprendre les changements d'accessibilité résultant d'interventions et d'investissements qui affectent plusieurs modes n'est pas possible avec des approches unimodales, il doit être examiné de manière multimodale. Cette analyse multimodale est essentielle pour appréhender de manière plus holistique l'accessibilité d'une ville ou d'une

région. Avec des pondérations appropriées pour les parts modales, la population et les lieux d'emploi, une approche multimodale peut fournir une description détaillée et précise de l'accessibilité des quartiers, des villes et des régions. Cela n'a pas encore été tenté dans la littérature sur les transports ou l'aménagement du territoire. L'autre problème auquel l'accessibilité est actuellement confrontée est le manque de normativité et d'objectifs dans la recherche et dans la pratique. Des niveaux plus élevés d'accessibilité sont souvent inclus comme objectifs dans les plans, et des niveaux plus élevés d'accessibilité sont considérés comme souhaitables dans la littérature, mais il y a eu une absence de mesure ou d'objectifs normés. En fin de compte, un désir d'une plus grande accessibilité est exprimé, mais sans objectif ni mesure spécifique, une plus grande accessibilité est difficile à quantifier et à mesurer.

3 Méthodologie

Comblent ces deux lacunes importantes dans la littérature sur l'accessibilité nécessite la création d'une métrique qui considère l'accessibilité en intégrant plusieurs modes de déplacement, tout en fournissant également un objectif pour la planification des transports. Nous proposons l'indicateur d'accessibilité multimodale pondéré (IAMP) pour combler ces lacunes dans la littérature et la pratique existantes. L'indicateur d'accessibilité multimodale pondéré comble ces lacunes en permettant de mesurer l'accessibilité en intégrant plusieurs modes de transport, plutôt que de manière unimodale. Il fournit de plus un objectif d'accessibilité théoriquement justifié et développé, qui peut être utilisé pour évaluer les plans et mesurer les progrès. Cela peut ouvrir par la suite de nouvelles avenues pour utiliser l'indicateur d'accessibilité multimodale pondéré dans l'évaluation des interventions dans le système de transport et dans l'accessibilité à l'échelle régionale. Cette utilisation était traditionnellement faite grâce à des mesures d'accessibilité basées sur la localisation.

En développant une cible, une approche normalisée pour évaluer l'accessibilité de manière multimodale peut être adoptée. Cette mesure examine l'accessibilité en intégrant plusieurs modes en utilisant de petites zones d'analyse et des parts modales pondérées. De cette manière, l'IAMP aborde les deux principaux défis auxquels l'accessibilité est confrontée : l'unimodalité et l'absence d'un objectif normalisé. Le fait d'utiliser une cible plutôt qu'un simple indicateur est un atout qui peut se révéler vraiment utile dans l'aide à la décision et la planification.

La mesure s'inspire de la mesure d'accessibilité d'Alain Bertaud, l'indice de mobilité urbaine (IMU) (City Mobility Index en anglais) (Bertaud, 2018). L'indice de mobilité urbaine est une mesure d'accessibilité. Il calcule un nombre moyen pondéré d'emplois accessibles à un individu moyen en âge de travailler, sur une période donnée, par un mode de transport donné dans un emplacement géographique donné (secteur de recensement ou ZAT). L'équation de l'indice de mobilité urbaine est présentée dans l'équation 5.3 de Bertaud (2018) :

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n A_i P_i}{P} \quad (\text{Équation 5.3 de Bertaud (2018)})$$

Dans cette équation, A_i représente le nombre d'emplois accessibles dans un certain laps de temps depuis la zone i . P_i est la population en âge de travailler dans la zone i , et P la population totale de la région en âge de travailler. L'IMU, ou M dans l'équation, est utile pour créer une représentation du nombre d'emplois disponibles pour la personne moyenne dans un endroit donné d'une région, par un mode de déplacement donné, mais doit être développé pour être utilisé de manière multimodale. L'IMU tel que proposé à l'origine est unimodal et ne peut pas rendre compte de l'interaction entre les différents modes. À partir de l'équation de l'IMU, l'Indicateur d'Accessibilité Multimodale (IAM) peut être dérivé :

$$IAM = \sum_{m=1}^{\mu} M_m * W_m \quad (\text{Équation 3})$$

Dans l'équation 3, l'IAM pondère le M de l'équation d'IMU de Bertaud par la part modale (W_m) de chaque mode considéré (μ). La part modale peut être calculée de différentes façons. En général, c'est la part modale à l'échelle de la région pendant l'heure de pointe du matin qui devrait être utilisée. Celle-ci devrait prendre en compte les déplacements produits pour tous les motifs confondus. Les IMU de chaque mode de transport sont ensuite additionnés, et ce pour tous les modes qui sont étudiés pour calculer l'indicateur d'accessibilité multimodale (IAM). Celui-ci peut être considéré comme le nombre moyen d'emplois disponibles de manière multimodale pour un adulte moyen en âge de travailler. Cette valeur est de plus pondérée selon la population, et correspond à une période horaire donnée.

Ceci est important pour comprendre le marché du travail accessible dans les villes, ou combien d'emplois sont disponibles pour l'individu moyen en âge de travailler. L'accessibilité à l'emploi est vitale pour les villes, car l'une des principales raisons pour lesquelles les villes existent est de rapprocher les emplois et la main-d'œuvre, et comme indiqué dans la revue de littérature, une plus grande accessibilité conduit à une plus grande prospérité économique.

$$IAMP = \frac{IAM}{J} \quad (\text{Équation 4})$$

Dans l'équation 4, l'IAMP est calculé en divisant l'IAM par le nombre total d'emplois dans la zone d'étude (J). Cela fait de l'IAMP le rapport moyen pondéré selon le mode du total des emplois accessibles dans un temps donné dans une région précise. L'IAMP est une mesure sans unité, avec des valeurs possibles entre 0 et 1, où une valeur de 0 signifierait qu'aucun emploi n'est disponible pour l'adulte moyen en âge de travailler. Les milieux urbains seraient moins sujets à présenter des valeurs nulles, au contraire des régions éloignées et isolées. D'un autre côté, une valeur de 1 signifierait que tous les emplois sont accessibles à l'adulte moyen en âge de travailler dans le temps imparti, quel que soit le mode de transport utilisé. Une telle valeur ne se produirait probablement que dans les centres urbains, qui sont facilement accessibles depuis toutes les zones périphériques. Outre la région analysée, la valeur d'IAMP dépendra des nombreux autres paramètres du modèle (population en âge de travailler, éléments temporels, etc.).

Comme mentionné précédemment, l'un des arguments centraux de Bertaud est que l'objectif de la planification du transport devrait être de maximiser le nombre d'emplois qu'une personne moyenne peut atteindre. Autrement dit une valeur d'IAMP égale à 1 serait l'objectif de la planification du transport multimodal, car chaque emploi dans la région serait accessible à l'individu moyen.

3.1 Applications et données

L'IAM et l'IAMP nécessitent un certain nombre d'intrants tels que :

- des données sur les temps de trajets sous congestion pour chaque mode
- des données zonales géographiques ou spatiales

- des données sur l'emploi et la population en âge de travailler
- des données de parts modales

Les données des temps de trajets doivent concerner la période de la journée pour laquelle les temps de parcours sont les plus élevés. La période de pointe du matin serait donc normalement utilisée, car c'est l'heure la plus chargée pour le transport et donc l'heure la plus encombrée, la moins mobile et la moins accessible. Les zones géographiques nécessaires doivent aussi être relativement petites. Par exemple, les ZAT peuvent être utilisées pour calculer ces indicateurs. Ces données peuvent être obtenues à partir de diverses sources gouvernementales, telles que des recensements, des enquêtes et des études.

L'IAMP est utilisé dans deux démonstrations de l'analyse d'accessibilité multimodale à Montréal. La première d'entre elles est une évaluation de scénarios de l'implantation d'une ligne de service rapide par bus (SRB) sur le boulevard Pie-IX. L'analyse se fait au niveau régional, et le long du corridor Pie-IX. L'IAMP est calculé à la fois à l'échelle régionale et à l'échelle du corridor, à trois intervalles temporels différents (30, 45 et 60 minutes), pour un scénario sans SRB et un scénario avec SRB. Les différences d'accessibilité multimodale entre les deux scénarios sont ensuite calculées à la fois à l'échelle régionale et le long du corridor. Le système de ZAT et les données de temps de déplacement de zone à zone qui sont utilisés proviennent du ministère des Transports du Québec et son modèle MOTREM routier et transport en commun.

La deuxième démonstration de l'IAM et de l'IAMP vient sous la forme d'une analyse d'équité, basée sur la même étude de cas, le SRB de Pie-IX. L'objectif de cette analyse est d'évaluer si les changements d'accessibilité par rapport à la mise en œuvre prévue du SRB de Pie-IX seront les mêmes dans les zones de groupes socio-démographiques différents.

Les mêmes données sont utilisées, avec des données supplémentaires sur les variables socio-démographiques liées à l'équité, telles que le revenu médian, le statut d'immigrant et les mesures de faible revenu, qui proviendront du recensement canadien. C'est-à-dire que les secteurs de recensement seront catégorisés selon leurs caractéristiques de revenu (ou statuts d'immigrant) et l'accessibilité globale sera calculée pour chaque catégorie. Cela pose un défi, car ces données existent au niveau du secteur de recensement, et non au niveau zonal qui a été utilisé pour les temps de déplacement, les emplois et la population du premier article. Pour surmonter cela, les secteurs de recensement sont liés aux zones d'analyse de transport, permettant aux données socio-démographiques liées à l'équité de rester complètement intactes, tout en gardant les temps de trajet entre les zones assez précis. Cela se fait en faisant correspondre les centroïdes des secteurs de recensement avec le centroïde de leur zone d'analyse de transport la plus proche, car les secteurs de recensement et les zones d'analyse de transport ne sont pas parfaitement alignés dans toute la région. Plutôt que d'être calculés pour la région ou le corridor, les secteurs de recensement seront divisés en quintiles de différents revenus et l'IAM et l'IAMP seront calculés pour chaque quintile, aux quatre intervalles temporels. Les deux études sont expliquées en plus de détail dans les prochaines sections.

4 Études de cas

Comme mentionné dans la section 3, deux études de cas sont examinées afin d'illustrer l'applicabilité et l'utilité de l'IAMP et d'établir son cadre d'utilisation dans l'évaluation future de scénarios de transport.

La première étude de cas utilise l'indicateur pour estimer les impacts de l'implantation du SRB Pie-IX sur l'accessibilité dans le Grand Montréal. La deuxième s'intéresse également au SRB Pie-IX, mais au lieu d'étudier l'évolution globale d'accessibilité, elle quantifie les changements d'accessibilité à travers différents groupes socio-économiques et à trois échelles spatiales : le long du corridor du SRB Pie-IX, au niveau de l'arrondissement et à l'échelle de la région.

Ces deux études servent de preuves de concept pour les caractéristiques et idées clés de l'approche de l'IAMP. Elles démontrent comment l'indicateur peut être opérationnalisé et prouvent sa pertinence comme mesure d'accessibilité intermodale. On observe que l'IAMP répond aux changements dans les infrastructures de transport et dans les comportements de déplacement. On en comprend également que l'accessibilité multimodale peut contribuer à l'analyse de l'équité. Les parts modales étant associées au statut socio-économique (par exemple, posséder un véhicule n'est pas toujours accessible aux personnes à statut socio-économique inférieur), leur inclusion dans le calcul de l'accessibilité peut se révéler utile. Puisqu'il est pondéré en fonction des parts modales, l'IAMP expose les différences d'accessibilité multimodale à travers différents groupes et régions géographiques et met en lumière ceux qui profitent le plus des investissements en transport.

À la lumière de ces études de cas, l'approche est suggérée pour l'analyse des impacts d'interventions aux systèmes de transport sur l'accessibilité, qui affectent souvent plus d'un mode à la fois.

4.1 Données utilisées

Les données utilisées pour les deux études de cas sont regroupées dans le Tableau 1 pour faciliter la compréhension et la reproduction de scénarios. Il importe de noter certaines différences dans l'utilisation de ces données à travers les deux études : la première utilise les ZAT comme unité géographique de base, tandis que la seconde utilise les secteurs de recensement. En ce qui concerne les parts modales, la première étude recourt aux données au niveau régional alors que la seconde se concentre sur le niveau municipal.

Tableau 1 – Description et sources des données

| Type de données | Description | Source |
|------------------------------------|---|--|
| Zones d'analyse de transport (ZAT) | Les zones d'analyse de transport sont des sous-unités géographiques d'analyse servant de base à | Direction de la modélisation des systèmes de transport du MTMD, modèle régional 2013 (MOTREM-13) |

| Type de données | Description | Source |
|------------------------------|---|---|
| | l'équation de l'IMU. Ensemble, elles forment la région du Grand Montréal. | |
| Secteurs de recensement (SR) | Les secteurs de recensement sont des sous-unités géographiques provenant du recensement canadien. | Recensement canadien 2016, Statistique Canada |
| Temps de trajet | Les temps de trajet d'une zone à une autre en voiture et en transport en commun, avec et sans le SRB Pie-IX pour l'année 2021. | Modèle de transport régional du MTMD, Grand Montréal, modèle régional 2013 (MOTREM-13) |
| Population active | La population active représente le nombre de personnes en âge de travailler, soit les personnes âgées de 15 à 64 ans. Les données de population active dans les équations de la présente étude se présentent sous deux formes : P_i et P . P_i est la population active d'une ZAT spécifique tandis que P est la population active totale de la région. | Première étude de cas : enquête Origine Destination 2013 du Grand Montréal (agrégation des facteurs d'expansion pour les ménages au niveau des ZAT) Deuxième étude de cas : recensement canadien de 2016 |
| Emplois | A_i : Le nombre d'emplois par ZAT (équation de l'IMU) J : nombre total d'emplois régionaux (équation de l'IAMP) La méthode pour transformer la mesure au niveau des SR, SDR et ZAT est expliquée dans la section « Méthodes ». | Consortium de données du Gouvernement du Québec (recensement canadien de 2016) |
| Part modale | Pour chaque mode de transport, le pourcentage de personnes utilisant ce mode pour ses déplacements. Les valeurs des parts modales des secteurs municipaux ont été appariées aux ZAT. | Enquête Origine Destination 2018 du Grand Montréal (ARTM 2020) |

| Type de données | Description | Source |
|-------------------------------|--|---|
| | Lorsqu'une ZAT était située dans plusieurs secteurs municipaux, le secteur municipal contenant le centroïde de la ZAT était utilisé. | |
| Données socio-économiques | Ensemble de données socio-économiques, utilisé pour l'analyse de l'équité : revenu médian par secteur de recensement, pourcentage de ménages à faible revenu par secteur de recensement, temps de trajet, proportion de minorités visibles, de populations autochtones et d'immigrants par secteur de recensement. | Recensement canadien de 2016 |
| <i>M</i> , ou IMU, de Bertaud | Nombre moyen d'emplois accessibles par la personne moyenne en âge de travailler dans une région, pour un mode de transport et un seuil de temps donnés, le tout pondéré par la population active (équation 5.3). | Dérivé des données géographiques, des temps de déplacement, de la population active et de l'emploi. |
| IAM | Nombre moyen d'emplois disponibles dans une région pour la personne moyenne en âge de travailler et pour un seuil de temps donné, le tout pondéré par la part modale (équation 3). | Dérivé du <i>M</i> de Bertaud et des parts modales. |
| IAMP | Rapport du nombre moyen d'emplois accessibles en 60 minutes par la personne moyenne en âge de travailler pondéré par la part modale d'une région sur le nombre total d'emplois dans la région (équation 4). | Dérivé de l'IAM et des données d'emploi. |

5 L'IAMP pour analyser les effets régionaux du SRB Pie-IX

5.1 Introduction

L'accessibilité est un concept fondamental dans la planification des transports et de l'aménagement du territoire qui a pris de l'importance au cours des trente dernières années. Malgré l'importance de ce concept, quelques lacunes subsistent dans son utilisation typique. Premièrement, l'accessibilité est traditionnellement mesurée de manière unimodale, de sorte qu'elle n'est mesurée pour un seul mode de déplacement. Bien qu'utiles dans certains cas, les mesures unimodales ne décrivent pas l'accessibilité d'une zone de façon holistique. Ensuite, bien que l'accessibilité s'agisse d'une mesure quantitative, elle n'est souvent décrite que de manière relative, interprétant positivement un gain d'accessibilité. Rarement sont présentés des objectifs mesurables liés au concept.

Cette première étude de cas vise à combler ces deux lacunes en appliquant l'indicateur d'accessibilité multimodale pondéré (IAMP) pour évaluer les impacts d'un projet d'infrastructure de transport. L'accessibilité est mesurée en intégrant plusieurs modes et les variations d'accessibilité sont chiffrées.

Il importe de préciser que l'accessibilité multimodale ne constitue pas une mesure reliée à une chaîne de déplacements de différents modes (par exemple, faire du vélo jusqu'à une station de métro ou se rendre en autobus jusqu'à un trajet de covoiturage), mais à l'agrégation des modes.

5.2 Description de l'étude de cas

L'IAMP est calculé dans les deux études de cas pour étudier les variations d'accessibilité dans le Grand Montréal suivant l'implantation d'un SRB le long du boulevard Pie-IX dans l'est de l'île de Montréal. L'évaluation de l'accessibilité multimodale revêt ici un intérêt particulier puisque le projet entraîne des changements sur les réseaux routiers et de transport en commun. En effet, il est prévu que certains tronçons le long du corridor du SRB perdent de la capacité automobile au profit du transport en commun. Ces compromis de capacité ont des effets sur les temps de déplacement pour les automobilistes et les usagers du transport en commun. L'IAMP permet de calculer ces changements de façon intégrale.

Montréal est la deuxième plus grande ville du Canada et la première de la province du Québec. La région du Grand Montréal représente la deuxième plus grande région au Canada et la plus grande du Québec, avec une population de plus de 4 millions d'habitants selon le recensement canadien de 2016. Le système de transport de Montréal est diversifié, s'appuyant sur un nombre important d'autoroutes, de routes et de ponts majeurs ainsi que sur un système de transport en commun comprenant quatre lignes de métro, cinq lignes de train de banlieue et de nombreuses lignes d'autobus. Enfin, de nombreuses infrastructures pour les piétons et les cyclistes sont présentes.

Le SRB Pie-IX est un projet de service rapide par bus qui contribuera à l'amélioration de la mobilité et de l'accessibilité au transport en commun de l'est de Montréal. Implanté sur l'important boulevard Pie-IX de l'arrondissement Mercier-Hochelaga-Maisonneuve, il fera 13 km et comprendra 21 arrêts de la rue Notre-Dame à Montréal jusqu'au sud-est de Laval. Le projet mise sur des voies réservées et sur une signalisation prioritaire aux intersections. Le SRB est en service depuis novembre 2022 entre Laval et l'avenue Pierre-De Coubertin à Montréal à l'exception du secteur Jean-Talon, qui le sera en 2023. Le dernier tronçon au sud, entre Pierre-De Coubertin et Notre-Dame, est en processus d'appel d'offres. La ligne se connectera à la station de métro Pie-IX sur la ligne verte ainsi qu'au prolongement de la ligne bleue du métro lorsque celui-ci sera construit en 2029. Un achalandage quotidien de 70 000 personnes par jour est attendu une fois le projet complété. La Figure 8 situe l'itinéraire du SRB et ses stations dans un contexte régional élargi.

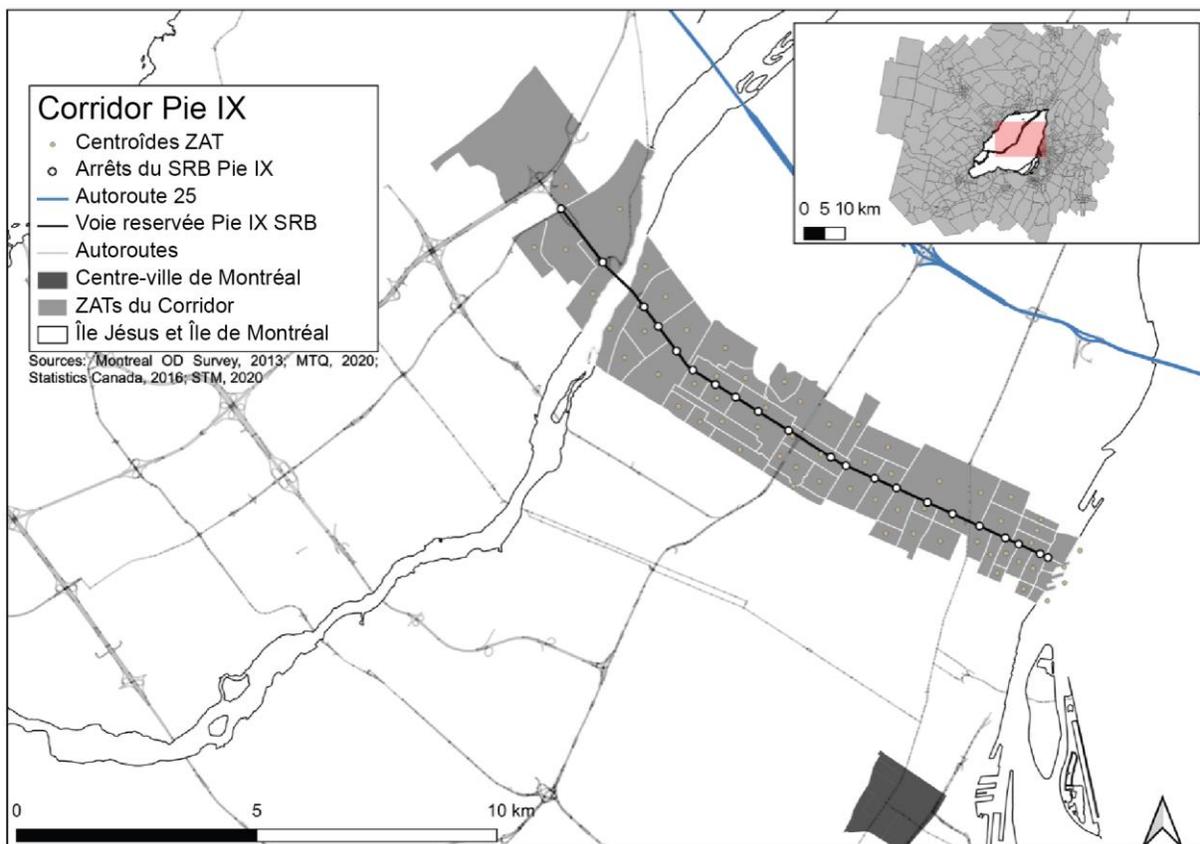


Figure 8 – Carte des ZAT du SRB Pie-IX

Comme mentionné précédemment, les voies automobiles sur certains tronçons de l'itinéraire seront modifiées pour accueillir le SRB. Cela influencera les temps de déplacement en automobile et ainsi, l'accessibilité. Alors que certains changements seront positifs, d'autres seront négatifs puisque certaines parties de l'itinéraire gagneront de la capacité alors que d'autres en perdront.

Le scénario de base est issu du modèle de transport du MTMD (MOTREM-13) du Grand Montréal pour l'année 2021 et concerne l'heure de pointe du matin (8h00). Il s'appuie sur le réseau de transport en commun sans le SRB Pie-IX. Le scénario « SRB Pie-IX » représente le scénario de base avec l'ajout des infrastructures et du service du SRB Pie-IX. Les changements de la capacité automobile peuvent être observés sur la Figure 9. Une augmentation du nombre de voies automobiles sur le pont Pie-IX est prévue, passant de deux à trois voies. Sur deux tronçons au sud, le nombre de voies dans les deux directions passe de trois à deux. Ces modifications à la capacité automobile et au réseau de transport en commun font du SRB Pie-IX un cas idéal pour examiner les effets sur l'accessibilité multimodale.

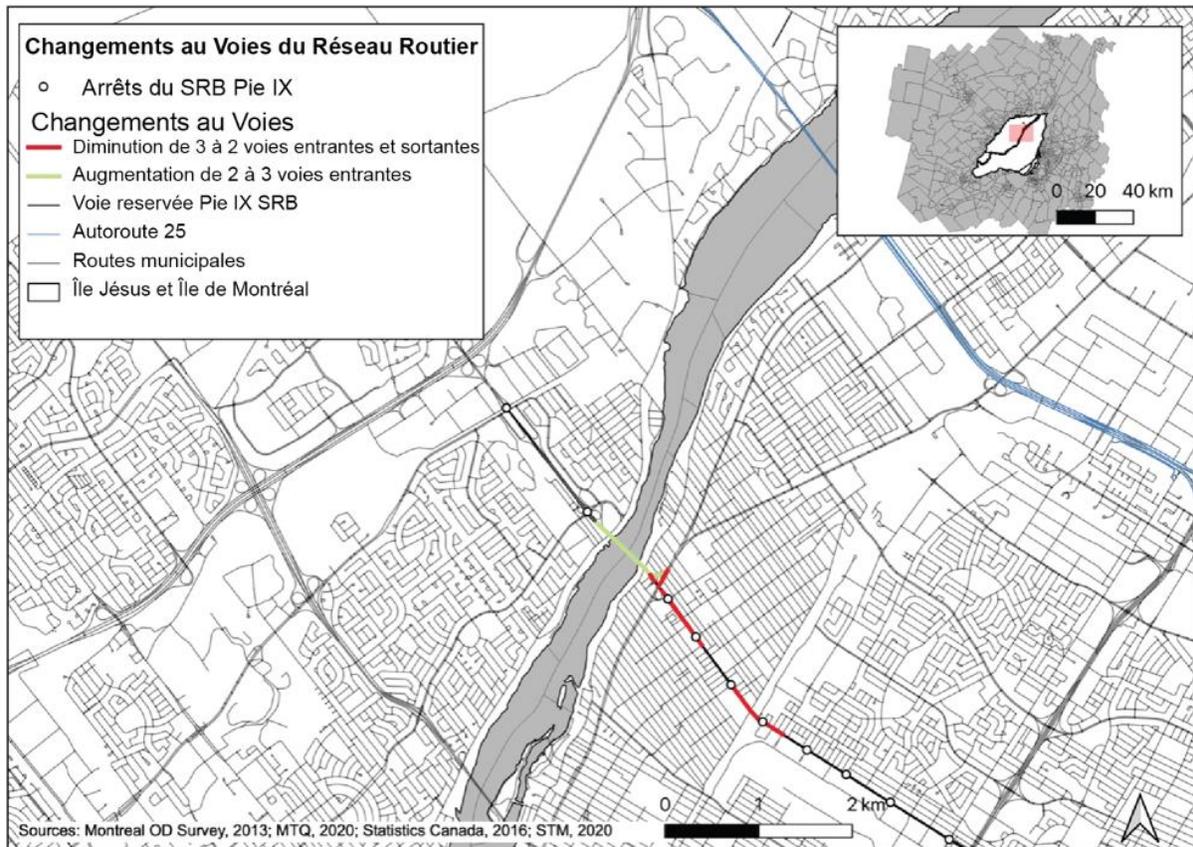


Figure 9 – Évolution de la capacité des voies le long du corridor SRB Pie-IX

L'implantation du SRB Pie-IX n'a un impact direct que sur l'accessibilité de l'automobile et du transport en commun. Ainsi, seuls ces deux modes sont évalués dans cette étude de cas, bien que l'IAMP puisse analyser l'accessibilité en intégrant d'autres.

La modélisation à partir du modèle de transport régional (MOTREM-13) prévoit un changement dans les flux de trafic en raison de l'évolution de la capacité routière. La

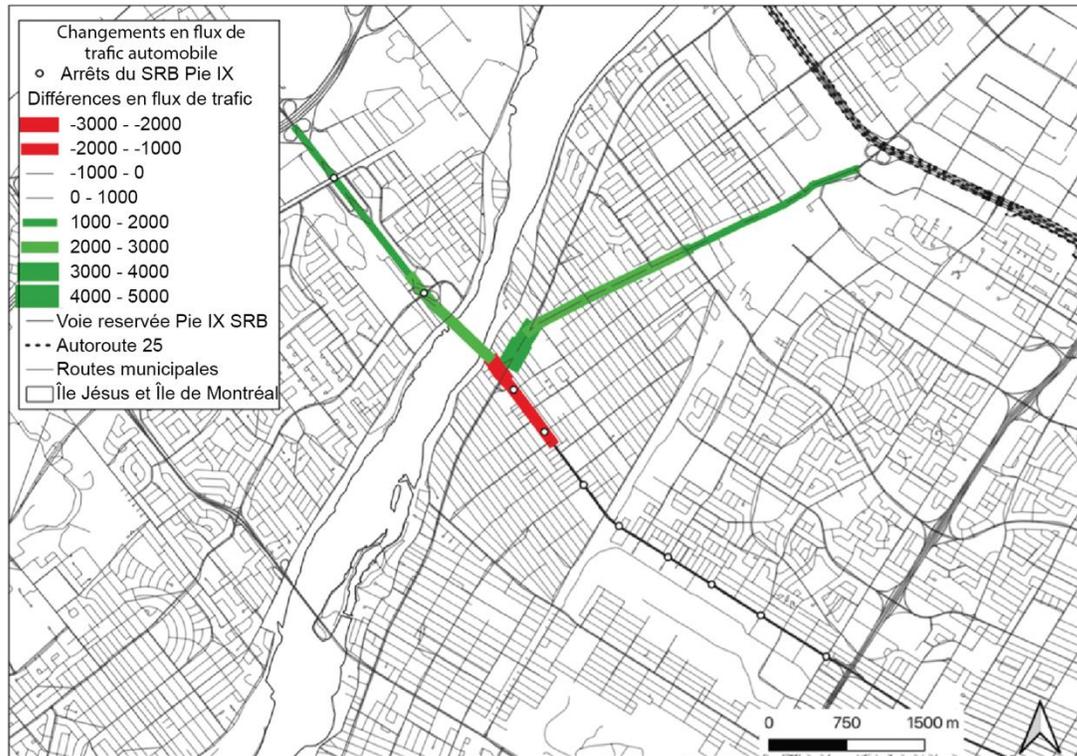


Figure **10** présente les fluctuations des flux de véhicules résultant de la mise en œuvre du SRB. Le détournement projeté de la circulation automobile vers l'autoroute A-25, une route parallèle au nord-est du boulevard Pie-IX, est visible.

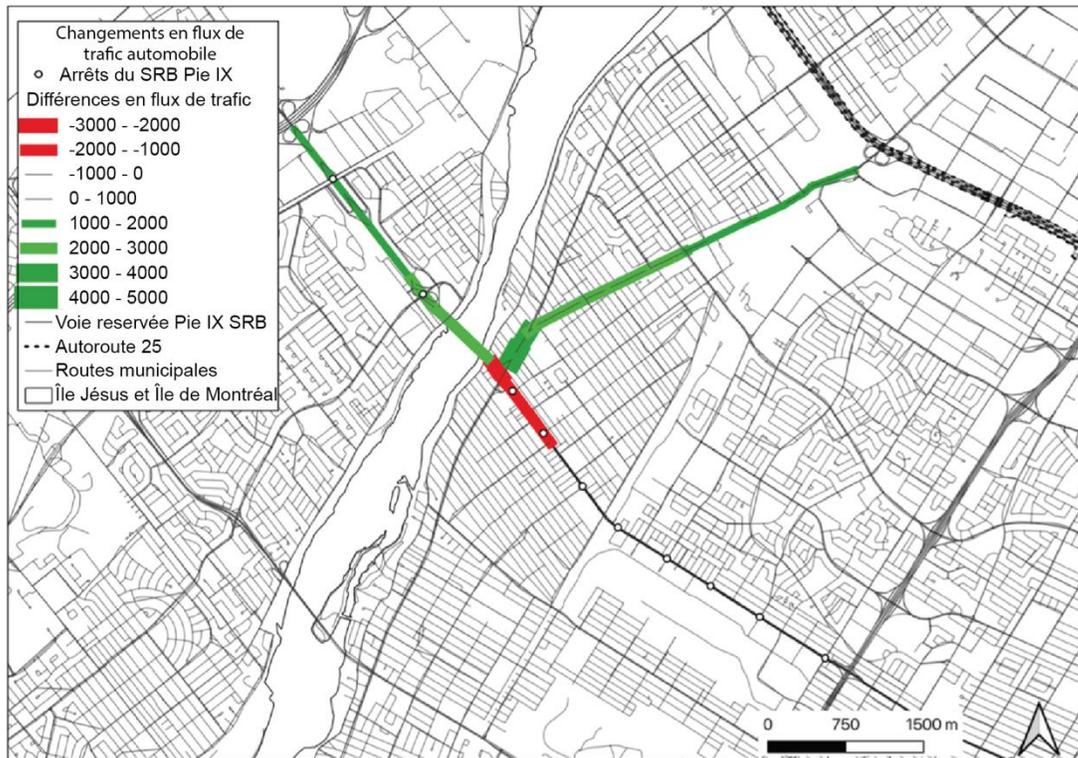


Figure 10 – Évolution du trafic automobile résultant de la modification de la capacité routière suivant l’implantation du SRB Pie-IX

5.3 Analyse cartographique des données

Cette section cherche à décrire cartographiquement les intrants ayant servi aux calculs d’accessibilité de l’étude de cas. Cela permettra une meilleure compréhension et appréciation des résultats qui suivront.

Les figures Figure 11 et Figure 12 présentent les évolutions prévues des temps de parcours moyens à la suite de l’implantation du SRB Pie-IX. Les temps de parcours moyens représentent les temps de parcours d’une zone à une autre, divisés par le nombre total de zones. Cette mesure est reliée à la mobilité et non à l’accessibilité puisque les densités d’emploi et de population ne sont pas prises en compte.

Changement de Temps de Trajet Moyen par Automobile

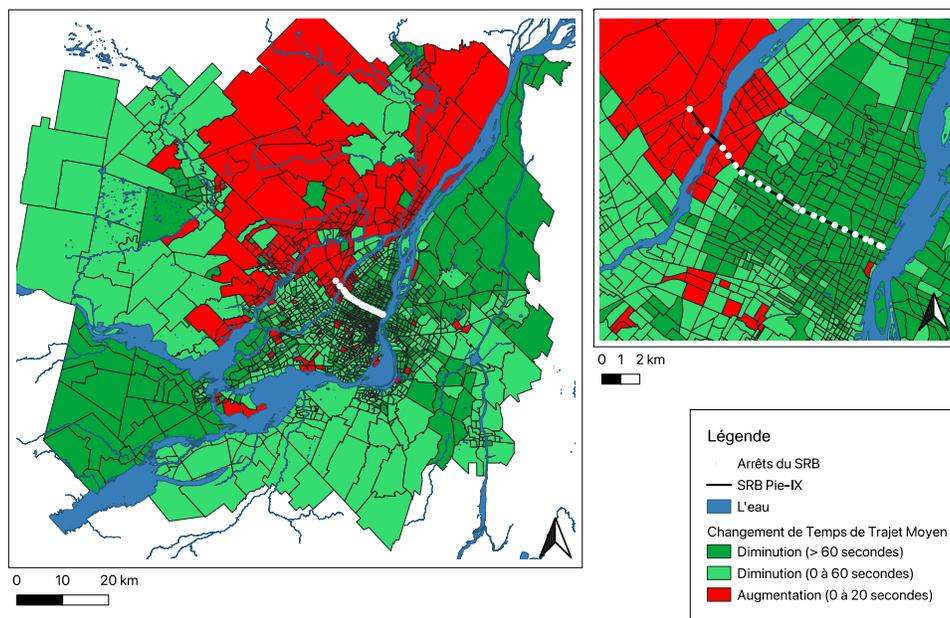


Figure 11 - Changements dans les temps de trajets moyens en automobile par ZAT

Changements de Temps de Trajet par Transport en Commun

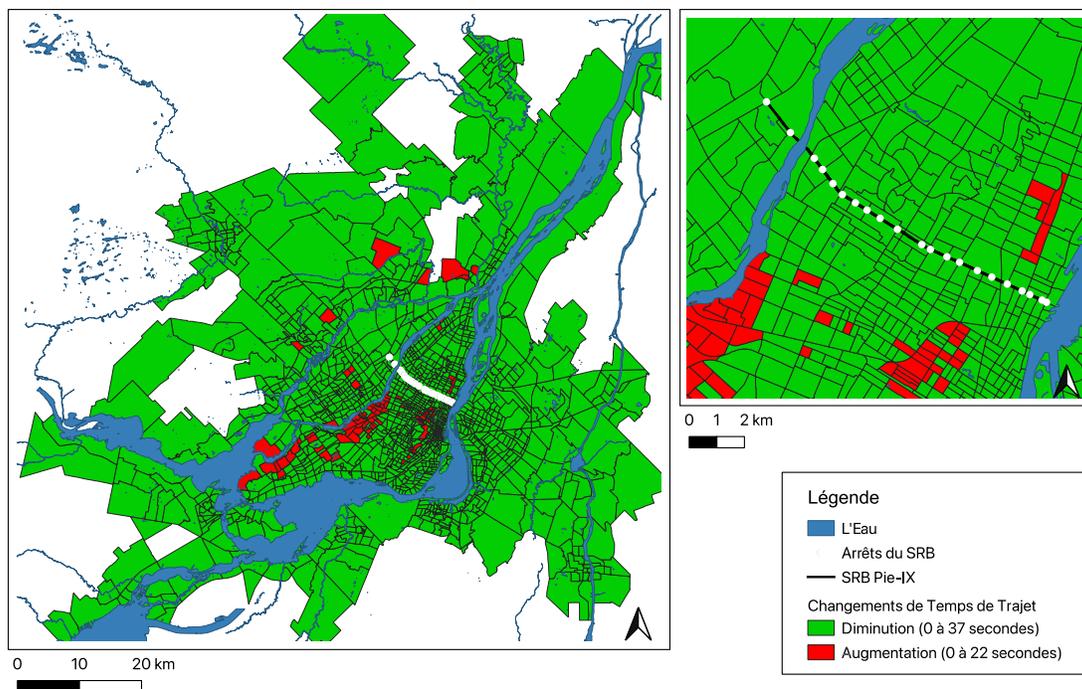


Figure 12 - Changements dans les temps de trajets moyens en transports en commun par ZAT

Certaines tendances évidentes se dégagent de ces deux cartes. Les zones où les temps de déplacement en automobile (Figure 11) augmentent se situent au nord du corridor Pie-IX sur l'île de Montréal, à Laval et sur la Rive-Nord. Ces augmentations de temps de parcours moyen sont d'une ampleur inférieure à 20 secondes. À l'exception de quelques ZAT à Montréal, le reste de la région gagne en mobilité automobile. Encore une fois, ces changements sont faibles puisque la majorité des diminutions de temps de déplacement moyen se chiffrent à moins de 60 secondes.

Les changements dans les temps de déplacement moyens en transport en commun sont également faibles. La Figure 12 révèle qu'il y a plus de zones qui voient leur temps de parcours moyen en transport en commun diminuer que de zones qui les voient augmenter. Les diminutions les plus marquées sont observées autour du corridor Pie-IX. Contrairement à l'automobile, les augmentations de temps de parcours se produisent principalement sur l'île de Montréal, à l'ouest et loin du corridor Pie-IX.

La visualisation de la densité de population permet de situer les ménages et de mieux cerner les impacts des changements de temps de parcours et ainsi, l'accessibilité. La Figure 13 démontre que les plus fortes densités de population du Grand Montréal en 2016 se trouvent au cœur de l'île et dans les arrondissements environnants. La Rive-Sud et Laval accueillent des secteurs de densité moyenne, tandis que certains secteurs de la Rive-Nord et des villes environnantes comme Saint-Jérôme abritent des zones de densité faible à moyenne.

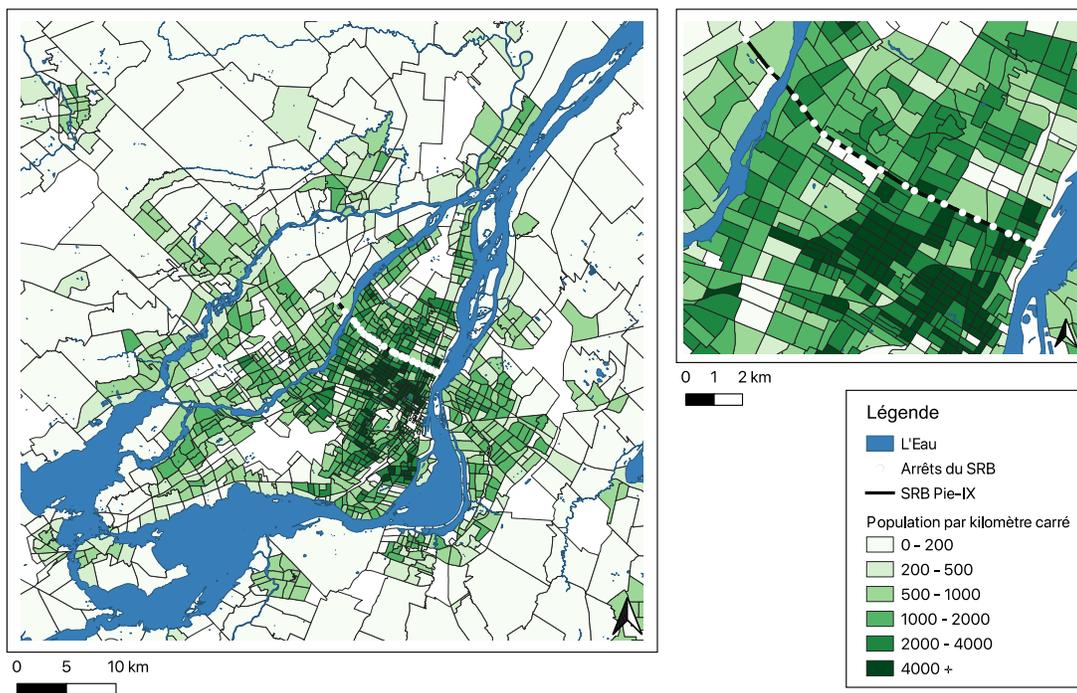


Figure 13 - Densité de population par ZAT dans le Grand Montréal

La carte de la densité d'emploi (Figure 14) ajoute également un contexte en localisant les pôles d'emploi. Le centre-ville de Montréal présente clairement la plus forte densité d'emploi, avec plusieurs autres zones de densité moyenne sur l'île de Montréal et la Rive-Sud et à Laval.

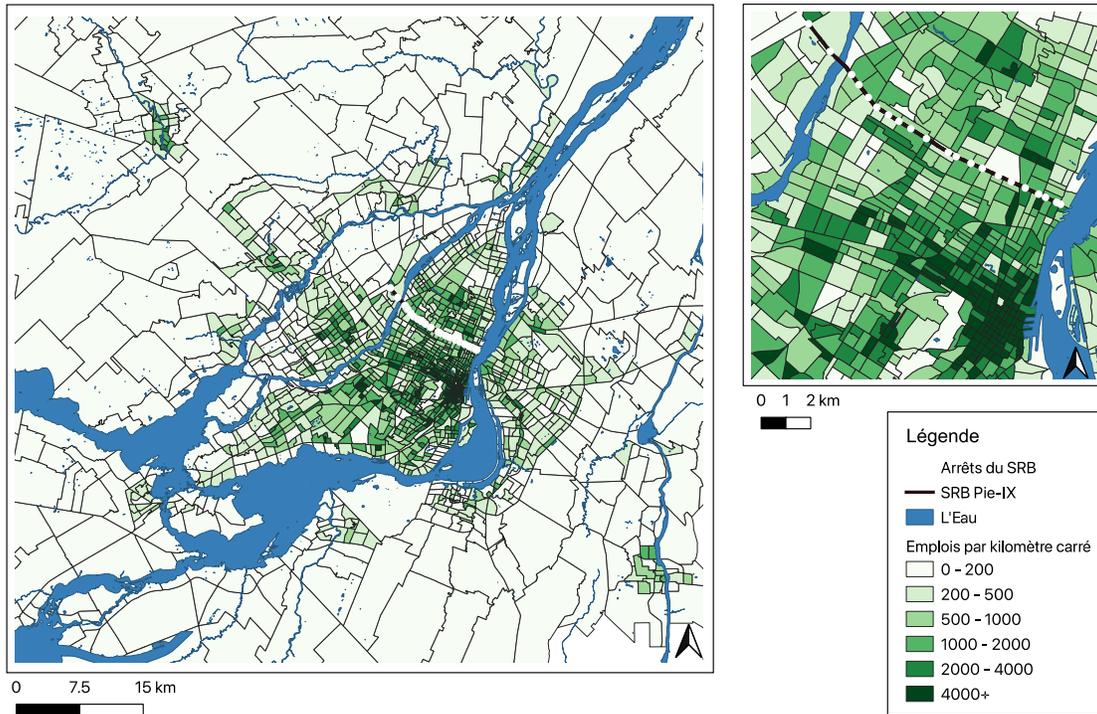


Figure 14 - Densité d'emplois par ZAT dans le Grand Montréal

Les temps de parcours par mode ainsi que la distribution des emplois permettent de calculer l'accessibilité (mesure d'opportunités cumulées). Les figures Figure 15 et Figure 16 exposent l'accessibilité en automobile et en transport en commun dans le scénario de base (2021, sans le SRB Pie-IX) depuis les ZAT d'origine. L'accessibilité aux emplois est naturellement la plus forte au centre de la région métropolitaine. L'accessibilité en automobile est plus élevée que l'accessibilité en transport en commun dans toute la région et en particulier dans les banlieues, qui observent des niveaux d'accessibilité en transport en commun plus faibles. L'accessibilité étant calculée à partir de mesures d'opportunités cumulatives, les résultats ne tiennent pas compte des parts modales ou de la population active des ZAT.

Emplois Accessibles par Automobile

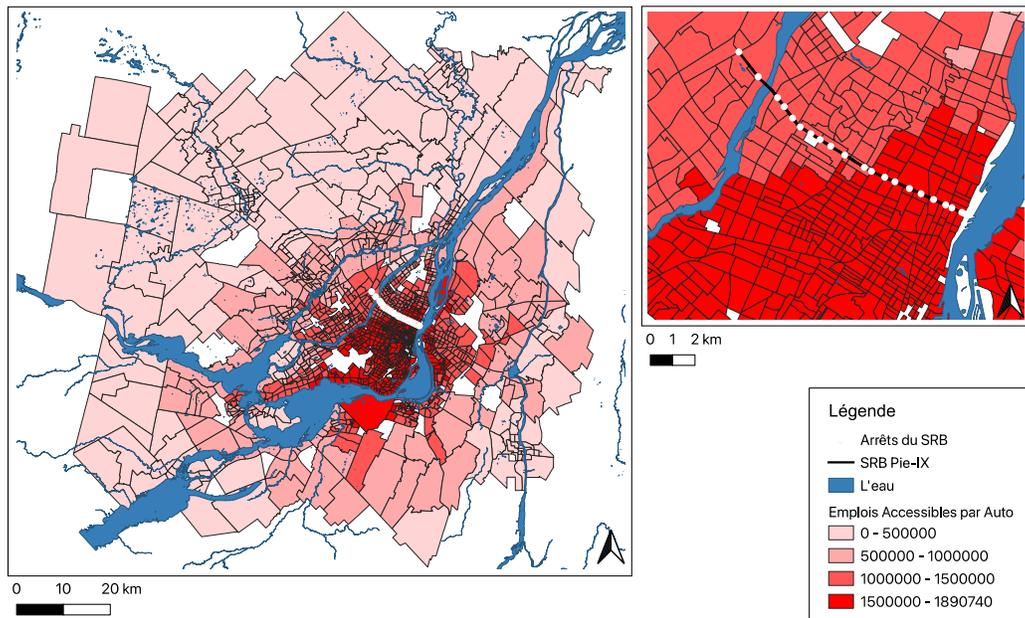


Figure 15 – Accessibilité aux emplois en auto en 60 minutes depuis les ZAT d’origine (scénario de base)

Emplois Accessibles en Transport en Commun

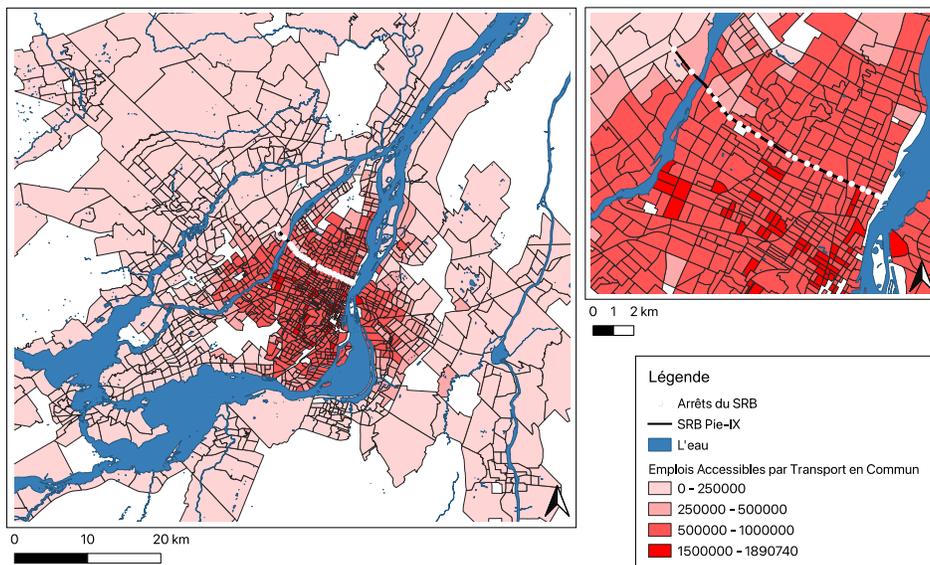


Figure 16 – Accessibilité aux emplois en transport en commun en 60 minutes depuis les ZAT d’origine (scénario de base)

Enfin, les Figure 17 et Figure 18 mettent de l'avant les variations d'accessibilité en automobile et en transport en commun suivant l'implantation du SRB Pie-IX.

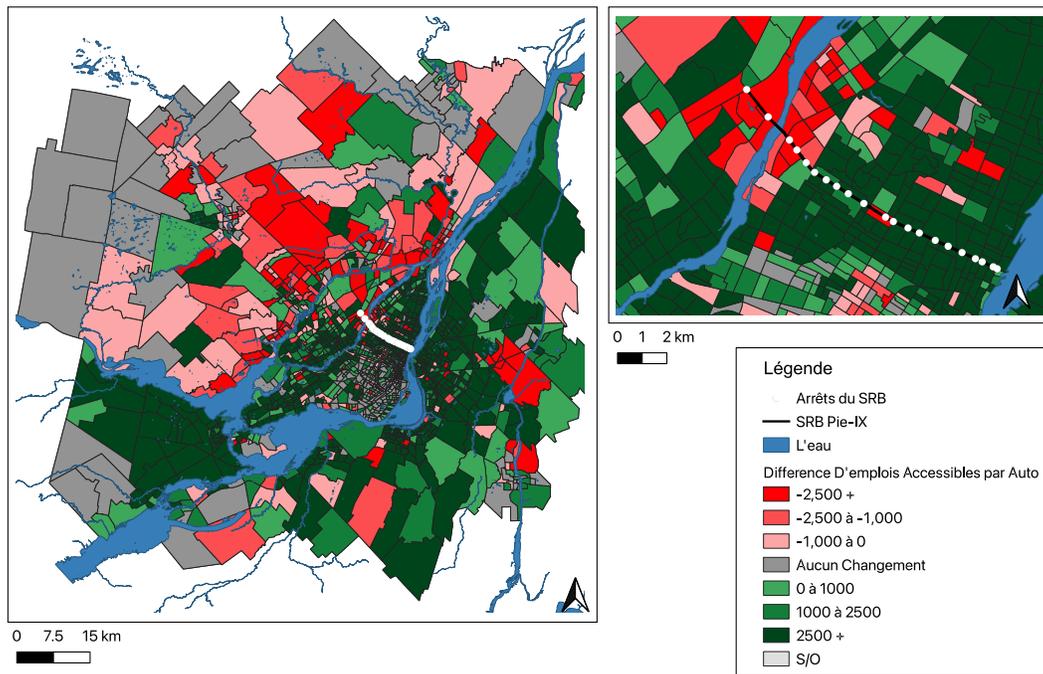


Figure 17 – Écart (avant et après SRB Pie-IX) de l'accessibilité aux emplois en 60 minutes depuis les ZAT d'origine en automobile

En ce qui concerne l'automobile, il peut être constaté que de nombreux secteurs, situés de part et d'autre de la région, connaissent une augmentation de l'accessibilité aux emplois. Une diminution de l'accessibilité en automobile est observée au nord du corridor Pie-IX. La Rive-Sud, ainsi que certaines parties de l'ouest et de l'est de l'île de Montréal connaissent également des gains d'accessibilité en automobile. Ces tendances s'expliquent par les changements en temps de parcours automobile prévus par le modèle MOTREM-13 (Figure 11).

Difference D'emplois Accessibles en Transport en Commun

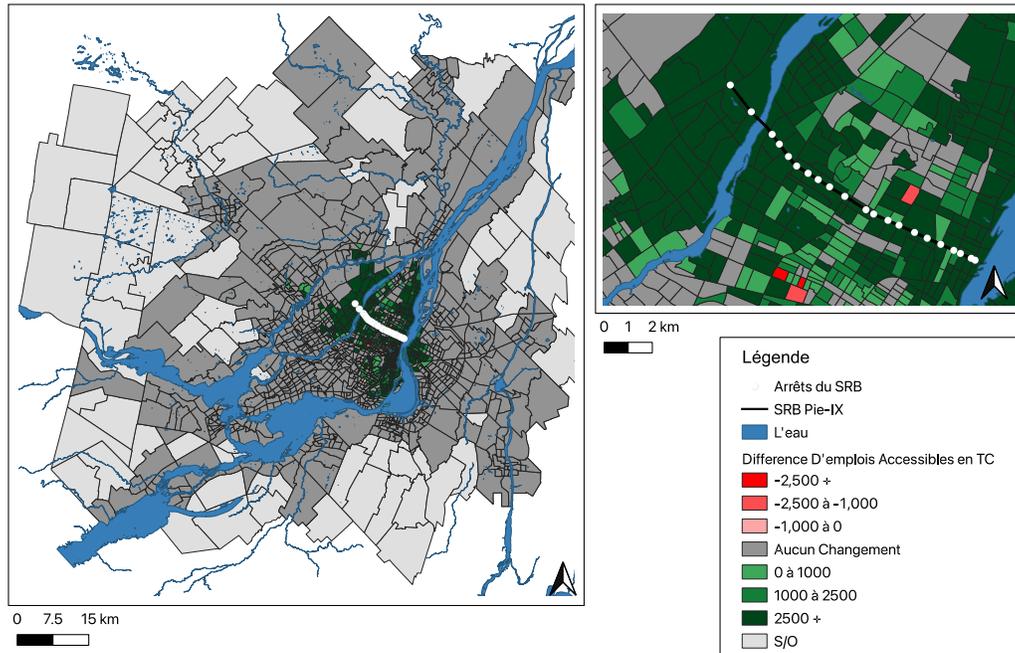


Figure 18 – Écart (avant et après SRB Pie-IX) de l’accessibilité aux emplois en 60 minutes depuis les ZAT d’origine en transport en commun

L’accessibilité en transport en commun (Figure 18) s’améliore pour la majorité des ZAT à proximité du corridor Pie-IX. Le reste du territoire ne connaît soit aucun changement, soit de rares diminutions d’accessibilité.

5.4 Méthodes

Cette section présente les équations utilisées pour générer l’IAMP et ainsi, évaluer les changements d’accessibilité multimodale. L’origine des équations est décrite dans la section Méthodologie.

Les mesures proposées et utilisées dans ces études de cas s’inspirent des travaux d’Alain Bertaud, tout en élargissant et explorant davantage le concept de multimodalité. L’indice M est nommé par Bertaud l’indice de mobilité urbaine, ou IMU (« *City Mobility Index* »), comme l’équation 5.3 le démontre.

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n A_i P_i}{P}$$

Équation 5.3 (Bertaud, 2018)

Comme expliqué dans la section Méthodologie, l’IMU peut être décrit comme le nombre moyen d’emplois accessibles à la personne moyenne en âge de travailler dans une région, selon un mode et un seuil de temps donnés, le tout pondéré par la population active.

En pondérant l'IMU par les parts modales, l'indicateur d'accessibilité multimodale (IAM) est obtenu, comme le démontre l'équation 3 ci-dessous.

$$IAM = \sum_{m=1}^{\mu} M_m * W_m \quad (\text{Équation 3})$$

Dans cette équation, l'IMU (M) est multiplié par la pondération de la part modale (W) pour chaque mode (m) de déplacement. Dans cette étude de cas, seuls deux modes sont appliqués : l'automobile et le transport en commun. Ce choix a été fait, car ce sont les deux modes touchés directement par le projet du SRB Pie-IX, mais d'autres modes auraient pu être ajoutés. Calculer l'IAM ainsi permet de tenir compte des interactions entre les modes.

Afin de mettre en application les concepts et d'établir des objectifs, l'IAM est divisé par le nombre total d'emplois dans une région. Cela produit un ratio (IAMP) du nombre moyen d'emplois accessibles pondérés par les parts modales d'une région sur le nombre total d'emplois (J) dans cette région, comme démontré par l'équation 4.

$$IAMP = \frac{IAM}{J} \quad (\text{Équation 4})$$

L'accessibilité a été générée pour la région métropolitaine et le corridor Pie-IX à partir de données provenant de nombreuses sources (voir section Applications et données). Les calculs de l'IAMP se basent sur des zones d'analyse pour lesquelles la population, les emplois et les temps de trajet entre les zones sont connus. Comme expliqué auparavant, les zones géographiques distinctes nécessaires au calcul des temps de parcours, les ZAT, proviennent de la Direction de la modélisation des systèmes de transport du MTMD. Elles représentent les ZAT développées pour le modèle régional de 2013. Les temps de déplacement proviennent du modèle de transport régional du MTMD et sont disponibles pour le Grand Montréal. Le corridor Pie-IX dans cette étude a été défini comme regroupant toutes les ZAT dont le centroïde est à moins de 1 km du boulevard Pie-IX.

Les données démographiques de cette étude sont tirées de l'enquête origine-destination 2013. Les localisations résidentielles ont été multipliées par les facteurs d'expansion des ménages et agrégées au niveau des ZAT. Ces chiffres ont ensuite été validés à l'aide de comparaisons avec les résultats du recensement canadien 2016. L'enquête origine-destination du Grand Montréal est menée à chaque cinq ans depuis 1970 et est l'une des plus anciennes dans le monde, sondant entre 3 % et 5 % des ménages de la région.

Les données sur l'emploi dans cette étude proviennent du Consortium de données du gouvernement du Québec, qui est dérivé du recensement canadien de 2016. Les limites des secteurs de recensements (SR), des subdivisions de recensement (SDR) et des ZAT ne se chevauchent pas toujours parfaitement. Par exemple, il y a plus de ZAT que de secteurs de

recensement et certains SR couvrent plusieurs ZAT et vice-versa. Par conséquent, une correspondance entre les géographies du recensement (SR et SDR) et les ZAT a été effectuée par comparaison visuelle. Une liste des SR couverts par les ZAT et des ZAT couverts par les SR a été élaborée.

Étant donné que les limites des SR ne chevauchent pas toujours les ZAT, les données d'emploi du recensement ont dû être distribuées aux ZAT pour les calculs d'accessibilité. Ce processus a impliqué la comptabilisation du nombre de ZAT que chaque SR chevauchait puis la division du nombre d'emplois dans le SR par le nombre de ZAT. En d'autres mots, chaque ZAT s'est vu attribuer une fraction des emplois du SR en question. Ensuite, pour chaque ZAT, les valeurs d'emplois relatives à chaque zone de recensement chevauchant la ZAT ont été additionnées. Cette somme finale est le nombre d'emplois attribués à chaque ZAT. Les chiffres définitifs ont été cartographiés et comparés à la répartition des emplois selon la géographie du recensement et les valeurs régionales agrégées du recensement.

Cela a été réalisé comme suit :

Pour chaque zone de recensement i :

Déterminer le nombre de ZAT sur lesquelles les zones de recensement se chevauchent. Diviser le nombre d'emplois dans la zone de recensement par ce nombre de ZAT. Le résultat représente le nombre d'emplois moyen de la zone de recensement (A_i) pour la zone de recensement i .

Pour chaque ZAT j :

Créer une liste des zones de recensement sur lesquelles la ZAT se chevauche. Additionner les A_i pour toutes les zones de recensement sur lesquelles la ZAT se chevauche : le résultat représente le nombre d'emplois attribués à chaque ZAT (J_j).

Les parts modales de l'automobile et du transport en commun en pointe du matin, entre 5h et 9h, pour le Grand Montréal et les secteurs municipaux sont issues de l'enquête Origine-Destination (OD) 2018 (Autorité régionale de transport métropolitain, 2020). Pour obtenir les valeurs de part modale pour le corridor Pie-IX, les ZAT ont été appariées aux secteurs municipaux définis dans l'enquête OD. Les parts modales des secteurs municipaux ont ensuite été multipliées par les populations actives de chaque ZAT et additionnées.

Les données et le modèle de l'IAM et de l'IAMP ont été compilés et exécutés sur Python à l'aide des bibliothèques pandas et geopandas. Le code est inclus à l'annexe A.

5.5 Résultats et discussion

Les résultats présentés dans cette section démontrent comment les indicateurs d'accessibilité multimodale peuvent être utilisés pour calculer les variations d'accessibilité entre plusieurs scénarios. Ils révèlent des détails sur l'évolution de l'accessibilité suivant l'implantation du SRB Pie-IX dans les secteurs autour du SRB ainsi que dans l'ensemble de la région métropolitaine.

Le Tableau 2 contient les données de 2016 sur l'emploi et la population du Grand Montréal et du corridor Pie-IX. La population du Grand Montréal avoisine les 4,2 millions d'habitants, dont plus de 2,5 millions considérés comme faisant partie de la population active. Le Grand Montréal compte également près de 1,9 million d'emplois. En ce qui concerne le corridor Pie-IX, il accueille un peu moins de 200 000 personnes, dont 110 000 considérées comme population active, ainsi que plus de 50 000 emplois.

Tableau 2 – Population et emplois dans le Grand Montréal et dans le corridor Pie-IX (2016)

| Indicateur | Grand Montréal | Corridor Pie-IX |
|-------------------|----------------|-----------------|
| Population | 4 173 310 | 183 357 |
| Population active | 2 561 689 | 110 057 |
| Emplois | 1 890 739 | 50 464 |

Les données du Tableau 2 et les temps de parcours entre les ZAT ont été utilisés pour calculer l'IMU (*M*) de Bertaud, soit le nombre moyen d'emplois accessibles à la personne moyenne en âge de travailler. Cet indice a été généré pour chaque mode de transport de l'étude, pour le scénario de base et celui du SRB Pie-IX et à trois intervalles temporels, comme affiché dans Tableau 3.

Tableau 3 – IMU (*M*) de Bertaud pour les scénarios de base et du SRB Pie-IX pour le Grand Montréal

| Seuil de temps | Automobile | | | Transport en commun | | |
|----------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| | <i>M</i> - Scénario de base | <i>M</i> - Scénario SRB Pie-IX | Écart entre les scénarios | <i>M</i> - Scénario de base | <i>M</i> - Scénario SRB Pie-IX | Écart entre les scénarios |
| 30 minutes | 276 925 | 278 635 | 0,62% | 47 229 | 47 706 | 1,01% |
| 45 minutes | 691 891 | 694 661 | 0,40% | 182 401 | 184 427 | 1,11% |
| 60 minutes | 1 128 703 | 1 131 243 | 0,23% | 382 091 | 384 521 | 0,64% |

La comparaison des scénarios suggère que le SRB Pie-IX entraînera une augmentation de l'accessibilité moyenne à l'emploi à la fois en automobile et en transport en commun, et ce, pour plusieurs ZAT le long du corridor Pie-IX et à l'échelle globale. Cette augmentation s'explique en partie par les changements dans la configuration des voies et par conséquent, des flux de circulation dans le secteur (section 5.2). Ces fluctuations de volumes d'automobiles entraînent une amélioration des temps de parcours en automobile, facteur exerçant une forte influence sur l'accessibilité (comme le démontre également la Figure 11).

Les différences absolues d'accessibilité entre les scénarios sont plus importantes pour l'automobile, mais plus élevées proportionnellement pour le transport en commun. Le *M* de Bertaud pour l'automobile est passé de 276 925 à 278 635 entre le scénario de base et le scénario

SRB Pie-IX, soit une augmentation de 1 710 emplois au seuil de temps de 30 minutes. Cette augmentation équivaut à une augmentation de 0,62%. Le *M* de Bertaud pour le transport en commun au seuil de 30 minutes passe de 47 229 dans le scénario de base à 47 706 dans le scénario SRB Pie-IX, représentant une augmentation de 477 emplois, soit 1,01%.

Proportionnellement, les gains d'accessibilité en automobile les plus élevés (0,62%) se produisent au seuil de 30 minutes. Ceux-ci sont proportionnellement plus importants en raison des effets marginaux décroissants des modifications des voies aux seuils de 45 et 60 minutes. Une autre raison est le plus petit nombre initial d'emplois disponibles au seuil de 30 minutes. Au seuil de 45 minutes, le *M* de Bertaud pour l'automobile dans le scénario de base est de 691 891, contre 694 661 dans le scénario SRB Pie-IX, soit une augmentation de 2 770 emplois, ou 0,40%. Comparativement, le *M* de Bertaud pour le transport en commun au seuil de 45 minutes est de 182 401 dans le scénario de base, contre 184 427 dans le scénario SRB Pie-IX, soit une augmentation de 2 026 emplois, ou 1,11%. Enfin, au seuil de 60 minutes, le *M* de Bertaud pour l'automobile a été calculé à 1 128 703 dans le scénario de base et à 1 131 243 pour le scénario SRB Pie-IX, une augmentation de 2 540 emplois ou 0,22%. En comparaison, le même seuil de 60 minutes pour le transport en commun résulte en des *M* de 382 091 pour le scénario de base et 384 521 pour le scénario SRB, une augmentation de 2 430, soit 0,64 %.

La diminution proportionnelle du gain d'accessibilité en automobile entre les seuils de 30, 45 et 60 minutes peut s'expliquer par le plus grand nombre d'emplois disponibles aux seuils supérieurs. Le gain en nombre absolu d'emplois accessibles en automobile causé par le SRB Pie-IX varie légèrement entre les trois seuils de temps. Plus l'intervalle de temps est grand, plus le nombre d'emplois accessibles augmente et donc moins les gains d'emploi sont importants.

Les gains du nombre d'emplois disponibles en transport en commun augmentent à chaque intervalle, ce qui s'explique par l'amélioration des temps de déplacement en transport en commun le long du boulevard Pie-IX. Cela permet une meilleure mobilité et accessibilité en transport en commun dans la région. Les ZAT qui étaient auparavant inaccessibles à ces intervalles deviennent accessibles, ce qui augmente le nombre d'emplois pouvant être atteints.

Comme ces chiffres dans le Tableau 3 sont à l'échelle de la région, ces gains d'accessibilité ne sont pas négligeables. Certaines zones connaissent des gains ou des pertes d'accessibilité beaucoup plus importants que les valeurs moyennes. Puisque l'investissement est fait dans un projet de transport en commun, il est logique et souhaité que les gains d'accessibilité soient plus importants pour le transport en commun. Les résultats démontrent qu'il existe des disparités dans l'accessibilité à l'emploi entre l'automobile et le transport en commun. Au seuil de 30 minutes, dans les deux scénarios, les automobilistes ont accès à environ six fois plus d'opportunités d'emploi que les usagers du transport en commun (276 925 ou 278 635 en automobile pour les deux scénarios, contre 47 229 ou 47 706 en transport en commun). Au seuil de 60 minutes, les automobilistes peuvent atteindre trois fois plus d'emplois que les usagers du transport en commun (1 128 703 ou 1 131 243 en automobile contre 382 091 ou 384 521 en transport en commun).

La quantification de l'accessibilité multimodale expose l'avantage de la voiture dans le Grand Montréal en raison des contraintes de vitesse et d'itinéraire du transport en commun.

À partir de l'IMU de Bertaud calculé, l'IAM est généré en utilisant les pondérations de parts modales et présenté dans le Tableau 4. Selon l'enquête Origine-Destination 2018, 64,7% des déplacements au sein de la région métropolitaine étaient effectués en automobile et 20,6%, en transport en commun. Il est important de rappeler que les parts modales utilisées ici représentent celles au niveau de la région entière alors que pour celles au niveau municipal seront utilisées plus loin, pour l'analyse du corridor Pie-IX.

Tableau 4 – L'IAM du Grand Montréal

| Seuil de temps | Scénario de base | Scénario SRB Pie-IX | Écart entre les scénarios |
|----------------|------------------|---------------------|---------------------------|
| 30 minutes | 188 947 | 190 152 | 0,64% |
| 45 minutes | 485 411 | 487 622 | 0,46% |
| 60 minutes | 809 364 | 811 510 | 0,27% |

Dans le scénario de base, on observe que 809 364 emplois sont accessibles de façon multimodale en moins de 60 minutes à l'individu moyen en âge de travailler dans le Grand Montréal. Ce nombre s'élève à 811 510 dans le scénario SRB, ce qui représente une augmentation de 0,27%. Les écarts d'IAM aux seuils de 30 et 45 minutes sont proportionnellement plus importants, avec une augmentation de 0,46% au seuil de 45 minutes et de 0,64% au seuil de 30 minutes. Les valeurs d'IAM sont plus petites aux seuils temporels inférieurs, mais la différence relative avant et après l'implantation du SRB Pie-IX est plus grande.

Une fois l'IAM calculé, l'indicateur d'accessibilité multimodale pondéré est obtenu en divisant l'IAM par le nombre total d'emplois dans la région. Les résultats du calcul de l'IAMP apparaissent dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5 – L'IAMP du Grand Montréal

| Seuil de temps | Scénario de base | Scénario SRB Pie-IX | Écart entre les scénarios |
|----------------|------------------|---------------------|---------------------------|
| 30 minutes | 0,0999 | 0,1006 | 0,64% |
| 45 minutes | 0,2567 | 0,2579 | 0,46% |
| 60 minutes | 0,4281 | 0,4292 | 0,27% |

On observe dans le Tableau 5 que pour les trois seuils, le scénario SRB Pie-IX présente une accessibilité multimodale à l'emploi légèrement supérieure. Ces différences sont plus prononcées aux deux seuils de temps inférieurs. En effet, les gains d'accessibilité qui résultent de la mise en œuvre du SRB Pie-IX sont moins importants pour les seuils temporels supérieurs où la couverture de transport en commun existante, et donc l'accessibilité, est plus élevée.

Le nombre d'emplois accessibles au seuil de 30 minutes est relativement réduit. De ce fait, l'inclusion de chaque nouvelle ZAT accessible grâce au SRB Pie-IX entraîne un nombre d'emplois proportionnellement plus important que pour le seuil de 60 minutes. Dans les deux scénarios, l'IAMP de 60 minutes est autour de 0,43. Cela signifie que la personne moyenne en âge de travailler dans le Grand Montréal a accès à peu près 43 % des opportunités d'emploi.

Si les valeurs à l'échelle de la région sont intéressantes, celles au niveau du corridor le sont également, car c'est l'endroit où les changements de temps de parcours et donc d'accessibilité (autant l'IAM que l'IAMP) se feront le plus sentir. En effet, les ZAT autour du corridor Pie-IX sont celles qui bénéficieront le plus des améliorations du service de transport en commun.

Les mêmes étapes ont donc été suivies pour calculer les résultats à l'échelle du corridor Pie-IX. Le corridor regroupe toutes les ZAT dont le centroïde se trouve à moins de 1 km du boulevard Pie-IX. Les résultats de l'IMU pour le corridor Pie-IX se trouvent dans le tableau suivant.

Tableau 6 – IMU (M) de Bertaud pour les scénarios de base et SRB pour le corridor Pie-IX

| Seuil de temps | Automobile | | | Transport en commun | | |
|----------------|---------------------|------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------|---------------------------|
| | M, scénario de base | M, scénario SRB Pie-IX | Écart entre les scénarios | M, scénario de base | M, scénario SRB Pie-IX | Écart entre les scénarios |
| 30 minutes | 339 778 | 348 893 | 2,68% | 77 211 | 87 089 | 12,79% |
| 45 minutes | 907 794 | 929 754 | 2,42% | 369 893 | 399 509 | 8,01% |
| 60 minutes | 1 518 403 | 1 525 794 | 0,49% | 723 596 | 749 682 | 3,61% |

Comme dans le cas du Grand Montréal, l'accessibilité augmente dans le scénario SRB pour le transport en commun et l'automobile (Tableau 6). Cependant, au contraire des changements marginaux au niveau régional, des améliorations considérablement élevées de l'accessibilité en transport en commun sont observées pour le corridor. Les valeurs du M de Bertaud sont beaucoup plus élevées le long du corridor que dans l'ensemble de la région. Cela s'explique par le fait que le corridor est le plus directement touché par le projet, de son emplacement central dans la région, de sa proximité à la station de métro Pie-IX existante et de ses correspondances avec de nombreuses lignes d'autobus.

Le nombre d'emplois accessibles en automobile à l'habitant moyen du corridor augmente de 2,68% au seuil de 30 minutes, de 2,42% au seuil de 45 minutes et de 0,49% au seuil de 60 minutes. Le nombre d'emplois disponibles en transport en commun pour un individu moyen résidant dans le corridor augmente de 12,79% à l'intervalle de 30 minutes, de 8,01% à l'intervalle de 45 minutes et de 3,61% à l'intervalle de 60 minutes. En chiffres absolus, il s'agit d'une augmentation de 9 115 emplois en automobile à 30 minutes, 21 960 à 45 minutes et 7 391 à 60 minutes. En transport en commun, ces chiffres s'élèvent à 9 878 à 30 minutes, 29 616 à 45 minutes et 26 086 à 60 minutes. Ces gains sont plus élevés que ceux à l'échelle de la région. À fins de rappel, ces derniers se chiffraient à 0,62%, 0,40% et 0,23% respectivement en automobile et à 1,01%, 1,11% et 0,64% en transport en commun.

Le nombre plus élevé d'emplois accessibles en automobile et en transport en commun dans le corridor par rapport à la région est probablement attribuable à la proximité du corridor Pie-IX avec le centre-ville de Montréal. De plus, puisqu'il est situé au centre de la région, les opportunités à chaque point cardinal sont plus accessibles qu'elles ne le seraient pour un individu situé en périphérie de la région. Il en résulte 749 682 emplois disponibles en transport en commun et 1 525 794 emplois disponibles en automobile le long du corridor à la suite de l'implantation du SRB Pie-IX. Comparativement, 384 521 emplois sont disponibles en transport en commun et 1 131 243 en automobile à l'échelle de la région.

L'écart entre le nombre d'emplois disponibles en transport en commun et en automobile au seuil de 60 minutes est plus faible pour le corridor. Le nombre d'emplois disponibles en automobile pour le corridor est deux fois moins élevé que le nombre d'emplois disponibles en transport en commun. Au niveau régional, ce facteur est plutôt de trois. Cela suggère une plus grande parité du transport en commun le long du corridor qu'à travers la région. Cela correspond à la description de la zone et au fait que l'accessibilité au transport en commun est nettement pire dans les communautés les plus périphériques de la région par rapport aux parties plus centrales.

L'IAM est calculé à l'échelle du corridor en utilisant les parts modales en pointe du matin des secteurs municipaux pour les différentes ZAT et une pondération sur la population. Ces parts modales sont les suivantes : 51,7% pour l'automobile et 31,9% pour le transport en commun. On note une part modale du transport en commun plus élevée dans le corridor qu'à l'échelle de la région, qui était de 20,6%. Inversement, il y a beaucoup moins de déplacements effectués en automobile vis-à-vis la moyenne régionale de 64,7%.

Tableau 7 - L'IAM du corridor Pie-IX

| Seuil de temps | Scénario de base | Scénario SRB Pie-IX | Écart entre les scénarios |
|-----------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 30 minutes | 200 297 | 208 160 | 3,93% |
| 45 minutes | 587 328 | 608 129 | 3,54% |
| 60 minutes | 1 015 846 | 1 027 989 | 1,20% |

Tout comme pour l'IMU, l'IAM est plus élevé pour l'individu moyen habitant le corridor Pie-IX que pour l'individu moyen habitant la région (Tableau 7). De même que pour l'analyse régionale, le scénario SRB rend un plus grand nombre d'emplois accessibles que le scénario de base aux seuils de 30, 45 et 60 minutes. Au seuil de 30 minutes, le scénario de base présente une valeur d'IAM de 200 297 emplois, tandis que le scénario SRB atteint 208 160 emplois, soit une différence de 3,93%.

Au seuil de 45 minutes, le scénario de base résulte en une valeur d'IAM de 587 328 emplois, tandis que l'IAM monte à 608 129 dans le scénario Pie-IX, soit une augmentation de 3,54%. Au seuil de 60 minutes, le scénario de base a une valeur d'IAM de 1 015 846, par rapport à une valeur de 1 027 989 pour le scénario SRB. Cela équivaut à une différence de 12 143 emplois, ou 1,20%.

Des différences significatives sont observées aux trois seuils temporels entre les résultats à l'échelle du corridor et son homologue régional. Cela est probablement dû aux impacts du SRB et aux changements de configuration des voies qui ont plus d'importance sur le corridor que sur l'ensemble de la région. En effet, cette dernière compte de nombreuses zones qui sont peu ou pas touchées par le projet. Une autre raison de cette disparité pourrait être que les zones en périphérie de la région n'ont pas des services de transport en commun aussi développés que sur l'île de Montréal. Elles n'ont pas non plus la densité d'emploi dont jouit Montréal, en particulier au centre-ville. Même en tenant compte des différences dans les parts modales, la part modale régionale ne représente pas précisément chaque communauté, mais plutôt leur agglomération. Cela signifie que certaines parties éloignées voient leur utilisation du transport en commun surestimée et, par conséquent, leur IAM sous-estimé.

Malgré cela, le portrait global de l'accessibilité de la région est clair : le SRB Pie-IX augmente l'accessibilité multimodale à l'échelle de la région, mais ces résultats sont particulièrement prononcés le long du corridor où la ligne d'autobus circulera.

L'IAMP est calculé en divisant l'IAM par le nombre total d'emplois et les résultats apparaissent dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8 - L'IAMP pour le corridor Pie-IX

| Seuil de temps | Scénario de base | Scénario SRB Pie-IX | Écart entre les scénarios |
|----------------|------------------|---------------------|---------------------------|
| 30 minutes | 0,1059 | 0,1101 | 3,93% |
| 45 minutes | 0,3106 | 0,3216 | 3,54% |
| 60 minutes | 0,5373 | 0,5437 | 1,20% |

Les valeurs d'IAMP le long du corridor Pie-IX démontrent des augmentations substantielles de l'accessibilité entre le scénario du SRB Pie-IX et le scénario de base, en particulier aux intervalles temporels inférieurs (Tableau 8). L'IAMP du corridor Pie-IX est également supérieur à celui de l'ensemble de la région aux trois intervalles temporels. Au seuil de 60 minutes, un peu plus de la moitié des emplois pondérés par la part modale sont disponibles, contre un peu moins de 43% à l'échelle de la région. Cela est dû en partie aux niveaux plus élevés d'accessibilité au transport en commun et à l'automobile le long du corridor, ainsi qu'à l'emplacement central du corridor dans la région. Ce dernier point fait lui-même partie des raisons pour lesquelles l'accessibilité au transport en commun et à l'automobile est plus élevée dans ces zones. Le SRB Pie-IX entraîne une augmentation de 3,93% de l'IAMP au seuil de 30 minutes, de 3,45% à 45 minutes et de 1,20% à 60 minutes pour le corridor. Cela contraste avec les améliorations respectives de 0,64%, 0,43% et 0,27% à l'échelle de la région.

Les valeurs d'IAMP montrent clairement un avantage marginal pour l'accessibilité de l'ensemble de la région du Grand Montréal, ces avantages étant plus prononcés le long du corridor Pie-IX. Ces résultats illustrent que, malgré certains gains et pertes de la capacité automobile le long du

corridor, les valeurs cibles d'accessibilité multimodale sont attendues à augmenter à la suite de la mise en œuvre du SRB Pie-IX.

Les figures Figure 19 à Figure 21 détaillent les variations en pourcentage de l'accessibilité multimodale entre le scénario de base et SRB Pie-IX à 30, 45 et 60 minutes. Au seuil de 30 minutes, comme illustrée à la figure Figure 19, l'extrémité nord du SRB Pie-IX voit son accessibilité légèrement diminuer. Alors que les ZAT du centre et du sud du corridor connaissent des augmentations mineures à majeures, un bon nombre d'entre elles enregistrent des augmentations de plus de 5%. Plusieurs ZAT subissent des pertes en accessibilité multimodale, mais aucune n'est supérieure à 2%. L'accessibilité multimodale globale augmente à l'intervalle de 30 minutes, bien que cette augmentation ne soit pas uniforme à travers toutes les ZAT du corridor.

Changements au IAM – Corridor Pie-IX, 30 Minutes

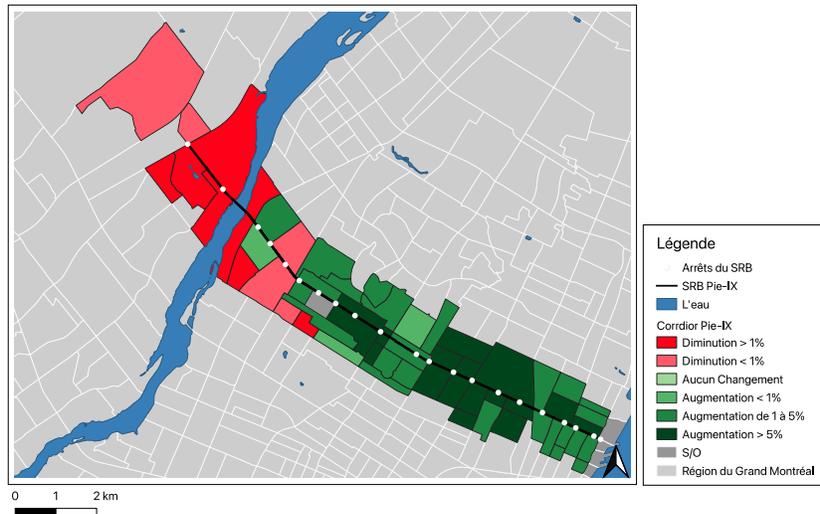


Figure 19 – Changements d'accessibilité multimodale au seuil de 30 minutes pour le corridor Pie-IX

Changements au IAM – Corridor Pie-IX, 45 Minutes

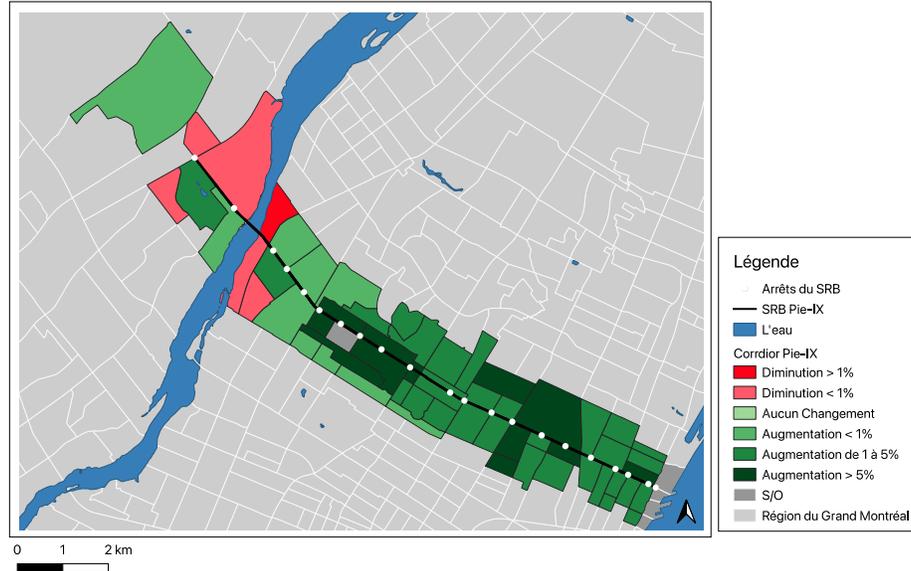


Figure 20 – Changements d’accessibilité multimodale au seuil de 45 minutes pour le corridor Pie-IX

Une image un peu différente apparaît sur la Figure 20, qui présente l'évolution de l'accessibilité multimodale au seuil de 45 minutes. La majorité des ZAT à l'extrémité nord du SRB Pie-IX à Laval et sur la Rive-Nord qui subissent des pertes d'accessibilité à 30 minutes connaissent des augmentations lorsque le seuil passe à 45 minutes.

Le seuil de 45 minutes n'est pas tellement différent de celui de 30 minutes pour les ZAT du centre et du sud du corridor, qui connaissent des augmentations mineures dans les deux situations. Toutefois, certaines ZAT dont les gains étaient importants à 30 minutes, voient ces gains diminuer à 45 minutes, en raison des variations du nombre d'emplois accessibles, qui deviennent proportionnellement moins importantes.

Enfin, la Figure 21 expose les évolutions de l'accessibilité multimodale au seuil de 60 minutes, où seulement une ZAT subit une perte d'accessibilité. L'extrémité nord du SRB Pie-IX reste relativement inchangée. De nombreuses zones qui percevaient des gains d'accessibilité importants dans les scénarios de 30 et 45 minutes connaissent également des gains à 60 minutes.

Changements au IAM – Corridor Pie-IX, 60 Minutes



Figure 21 – Changements d’accessibilité multimodale au seuil de 60 minutes pour le corridor Pie-IX

En conclusion, le corridor du SRB Pie-IX connaît des gains nets d'accessibilité à 60 minutes, tout en subissant de petites diminutions d'accessibilité à 45 et 30 minutes. Ces résultats illustrent comment l’accessibilité est remodelée dans toute la région. Cependant, les changements réels quantifiés dans les tableaux ci-dessus sont marginaux, avec des écarts avant et après l’arrivée du SRB Pie-IX variant de 0,64 % à 0,27% à travers les différents intervalles temporels.

Cette recherche aurait pu être améliorée sur deux aspects clés. La première amélioration consiste à utiliser différentes parts modales pour le scénario avec SRB : celles projetées après la fin du projet plutôt que celles de l’enquête OD. En effet, des changements dans l’offre de transport, qu'il s'agisse de l'offre routière ou celle du transport en commun, influencent la demande en déplacement. Ces effets seraient plus prononcés le long du corridor et n'entraîneraient probablement des différences que marginales au niveau régional.

La deuxième option pour améliorer cette étude aurait été d’intégrer d’autres modes de transport. Aucun changement n’a été apporté aux réseaux cyclables ou piétonniers et, par conséquent, au temps de déplacement ou à l'accessibilité des modes actifs. Cependant leur inclusion aurait produit des valeurs d’IAM et d’IAMP plus précises. Étant donné les faibles parts modales du vélo et de la marche à l’échelle régionale, cela n'affecterait pas significativement les résultats. Toutefois, dans certaines zones de l’île de Montréal, les parts modales de la marche et du vélo sont plus élevées, ce qui pourrait avoir un impact sur l’IAMP dans une certaine mesure.

Cette étude de cas démontre l'efficacité de l’IAMP en tant qu'outil d'évaluation de projet. Les impacts d’une nouvelle ligne de service rapide par bus sur l'accessibilité à l’échelle de la région

et le long du corridor de transport en commun ont été évalués. En intégrant plusieurs modes dans le calcul plutôt que de les traiter de manière comparative, les interactions entre ces derniers sont prises en compte. Les indicateurs proposés permettent de créer des cibles et des référentiels simples et de fixer des objectifs liés à l'atteinte de niveaux d'accessibilité multimodale acceptables.

La création d'un objectif quantifiable permettrait de mesurer les changements d'accessibilité au fil du temps, à mesure que les villes grandissent et se développent. Les nouvelles infrastructures de transport pourraient être surveillées grâce à l'IAMP. Bien que cette étude de cas illustre l'efficacité de l'indicateur pour l'évaluation de projets, celui-ci peut être utilisé à d'autres titres.

L'IAMP pourrait être utilisé pour créer des objectifs d'accessibilité dans les plans de transport, en examinant la situation actuelle de l'accessibilité, puis en envisageant l'accessibilité future. Cela peut aussi être fait en conjonction avec le transport en commun rapide à long terme et les plans de développement ou de croissance. De nombreuses villes incluent des objectifs de parts modales dans leurs plans directeurs de transport. L'IAMP peut être utilisé pour évaluer comment l'accessibilité à l'emploi changerait à la suite de l'atteinte de ces futurs objectifs de parts modales si aucun changement n'est apporté aux systèmes de transport ou à l'aménagement du territoire.

Enfin, l'IAMP pourrait être utilisé dans des villes ou des régions de tailles similaires afin de trouver des différences régionales dans l'accessibilité multimodale. Enfin, comme on le verra dans la deuxième étude de cas, l'accessibilité multimodale peut être utilisée dans l'évaluation des impacts d'un projet sur l'équité. Cela permet de déterminer qui bénéficie de ces projets et comment les individus et les communautés socio-économiques défavorisés ou marginalisés sont touchés.

6 Évaluation de l'équité en utilisant l'accessibilité multimodale dans le Grand Montréal

6.1 Introduction

Les projets d'infrastructures de transport sont réalisés pour rapprocher les gens, lieux et opportunités et améliorer la mobilité et l'accessibilité des populations. Comme ces projets nécessitent des investissements et que les budgets ne sont pas illimités, ils doivent être priorisés selon des besoins réels. Il s'agit non seulement de savoir quelles zones et groupes en bénéficieront, mais aussi si ces groupes sont ceux qui en ont le plus besoin. Alors que l'équité est reconnue comme une considération importante dans les projets et investissements publics, elle devient nécessaire dans l'évaluation de l'accessibilité. Elle constitue un moyen de comprendre les impacts d'un projet sur différents groupes de populations et segments de la société.

Plusieurs études ont démontré que les personnes et les ménages à faible revenu ont des temps de trajet plus longs, sont moins susceptibles de posséder un véhicule et sont plus dépendants au transport en commun (Antipova, 2020; Li et. al, 2019; Hu, 2017). Les personnes qui bénéficient d'une plus grande accessibilité au transport en commun ont des niveaux d'emploi plus élevés et sont plus rarement au chômage (Alam, 2009; Korsu et Wengelenski, 2010; Matas, Raymond, & Roig, 2010). Cela est également le cas pour les minorités raciales dans les villes américaines (McLafferty & Preston, 2019).

Considérant que les individus défavorisés et marginalisés sont ceux qui bénéficient le plus d'une offre de transport en commun de qualité, il est juste de se poser les questions suivantes : qui bénéficie des nouveaux investissements en transport et cela affecte-t-il ceux qui en dépendent le plus?

Cette deuxième étude de cas examine donc comment les avantages, sous forme de gains d'accessibilité, sont répartis entre différents niveaux de revenu. La composition socio-économique et les variations d'accessibilité à la suite de l'implantation du SRB Pie-IX dans les arrondissements le long du corridor sont également étudiées.

6.2 Description de l'étude de cas

Cette deuxième étude de cas se base sur le scénario de la première (section 5), c'est-à-dire, la mise en œuvre du SRB sur Pie-IX, mais vise des objectifs de recherche différents. Plutôt que d'évaluer uniquement les changements d'accessibilité causés par le projet, elle examine comment différents groupes socio-économiques sont touchés par ces changements d'accessibilité. Les facteurs socio-économiques et les variations d'accessibilité multimodale dans les arrondissements du corridor Pie-IX sont ensuite approfondis.

L'essentiel des détails sur le projet du SRB Pie-IX est couvert dans la description de la première étude de cas. Il est néanmoins important de noter que plusieurs des arrondissements traversés par le SRB sont parmi les plus pauvres et défavorisés de Montréal. Le SRB Pie-IX passe par ou est

adjacent à cinq arrondissements de Montréal : Montréal-Nord, Saint-Léonard, Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension, Rosemont–La Petite-Patrie et Mercier–Hochelaga-Maisonneuve. C’est aussi le cas des quartiers Duvernay et Saint-Vincent-de-Paul de Laval. Aux fins de cette analyse, ces quartiers de Laval ont été fusionnés en un seul afin d’obtenir une population plus comparable à celles des arrondissements de Montréal.

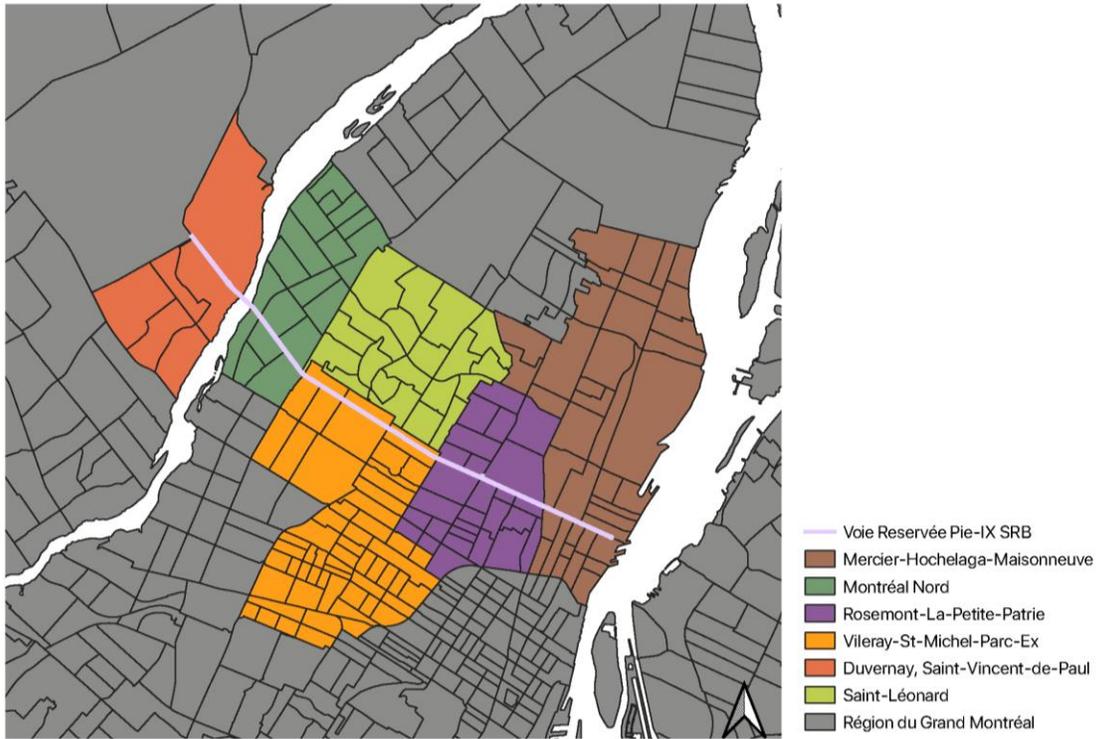


Figure 22 - Arrondissements du corridor du SRB Pie-IX

À la lumière des résultats de la première étude de cas, il est attendu que l’accessibilité s’améliore légèrement au niveau de la région métropolitaine et sur l’île de Montréal et de façon marquée dans les cinq arrondissements de Montréal. Comme souligné précédemment, les changements dans la configuration des voies automobiles auront un impact sur la partie est de Laval. Ainsi, pour le tronçon entre Laval et Montréal, les gains de temps pour les déplacements en transport en commun se feront au détriment des temps de déplacement en automobile.

Le profil de ces arrondissements et quartiers est affiché dans le Tableau 9 et comparé à celui de la Ville de Montréal et du Grand Montréal. Des indicateurs sommaires du statut socio-économique et le pourcentage de travailleurs se déplaçant plus de 30 et 60 minutes pour se rendre au travail y sont présentés.

Tableau 9 - Profils des arrondissements et des quartiers traversés par ou adjacents au SRB Pie-IX

| Arrondissement / quartier | % de travailleurs avec des trajets domicile-travail de + de 30 min. | % de travailleurs avec des trajets domicile-travail de + de 60 min. | Revenu moyen des ménages (avant taxes) | % d'immigrants | % de minorités visibles |
|---|---|---|--|----------------|-------------------------|
| Montréal-Nord | 56% | 19% | \$42 548 | 42% | 48,7% |
| Saint-Léonard | 56% | 15% | \$51 797 | 49% | 42,8% |
| Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension | 58% | 10% | \$43 139 | 42% | 46,7% |
| Mercier–Hochelaga-Maisonneuve | 57% | 10% | \$48 544 | 21% | 21,6% |
| Rosemont–La Petite-Patrie | 56% | 7% | \$48 349 | 22% | 19,2% |
| Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul (Laval) | 48% | 11% | \$73 962 | 22% | 19,4% |
| Ville de Montréal | 52% | 10% | \$50 227 | 34% | 34,2% |
| Grand Montréal | 49% | 11% | \$61 790 | 23% | 22,6% |

Le premier détail à noter est que les cinq arrondissements montréalais ont une proportion plus élevée de travailleurs avec des trajets domicile-travail d'une durée de plus de 30 minutes (56% à 58%) que la moyenne de la Ville de Montréal (52%) et de la région métropolitaine (49%).

Les pourcentages de travailleurs se déplaçant plus d'une heure pour se rendre au travail sont similaires au niveau de la Ville de Montréal, de la région et des arrondissements de Mercier–Hochelaga-Maisonneuve et Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension. Rosemont–La Petite-Patrie voit ce pourcentage réduire alors que c'est le contraire pour Saint-Léonard (15%) et Montréal-Nord (19%). Cela suggère que les habitants de ces deux derniers quartiers se déplacent plus loin ou moins efficacement pour se rendre au bureau.

Comme l'accessibilité automobile à partir de ces quartiers est relativement bonne, le problème peut être principalement attribuable à une mauvaise accessibilité en transport en commun aux pôles d'emploi. Si les arrondissements ne sont pas bien desservis par le transport en commun rapide, il est logique de voir leurs temps de déplacement moyens augmenter. Les zones à faible revenu comptent souvent de nombreux résidents occupant des emplois à faible revenu, qui ne sont pas toujours situés à proximité de leur lieu de résidence. À New York, les résidents actifs les plus pauvres, souvent des personnes de couleur et des femmes, sont ceux qui voyagent le plus

longtemps pour aller travailler (McLafferty & Preston 2019). Des analyses de régression au niveau des secteurs de recensement ont été réalisées pour comprendre si ce phénomène se produisait similairement dans le Grand Montréal, mais les résultats n'ont pas été concluants. Toutefois, le long du corridor Pie-IX, l'arrondissement de Montréal-Nord accueille la plus forte proportion de résidents voyageant plus d'une heure pour se rendre au travail, tout en ayant le revenu médian par ménage le plus bas et la plus forte proportion de minorités visibles. En revanche, le quartier combiné de Duvernay et St-Vincent-de-Paul présente des proportions similaires à la moyenne régionale de trajets domicile-travail de 30 et plus de 60 minutes, malgré sa proximité géographique avec Montréal-Nord.

La littérature documente que l'inadéquation spatiale est plus répandue chez les travailleurs à faible revenu vivant dans des quartiers à faible revenu. Cela aurait du sens pour Montréal-Nord, compte tenu du faible revenu moyen des ménages. À seulement 42 548\$, le revenu moyen des ménages de Montréal-Nord est faible comparativement à la moyenne municipale de 50 227\$ et à la moyenne régionale de 61 790\$. Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension a également un revenu moyen significativement inférieur aux moyennes municipales et régionales, à 43 139\$. Rosemont–La Petite-Patrie (48 349\$) et Mercier–Hochelaga-Maisonneuve (48 544\$) ont des revenus moyens légèrement inférieurs à la moyenne municipale et bien inférieurs à la moyenne régionale. Saint-Léonard est légèrement au-dessus de la moyenne municipale et bien en dessous de la moyenne régionale, à 51 797\$. La seule partie du corridor où les revenus moyens des ménages sont significativement plus élevés que la moyenne régionale est pour le quartier combiné Duvernay et St-Vincent-de-Paul, avec un revenu moyen des ménages de 73 962\$. Cela représente plus de 12 000\$ au-dessus de la moyenne régionale. Cette valeur est aussi significativement plus élevée que celle de l'arrondissement montréalais le plus proche, Montréal-Nord, dont le revenu moyen de 42 548\$ est inférieur de 31 414\$. Alors que la plupart des arrondissements le long du corridor représentent des zones socio-économiques défavorisées, Duvernay, St-Vincent-de-Paul en fait exception.

Trois des arrondissements, Montréal-Nord, Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension et Saint-Léonard, comptent une proportion beaucoup plus élevée d'immigrants (respectivement 42%, 42% et 49%) que les moyennes municipale et régionale. C'est aussi le cas pour les minorités visibles (48,7%, 46,7%, et 42,8% chacun). Pour la Ville de Montréal, ces proportions sont d'environ 34% pour les deux catégories et 23 % pour le Grand Montréal. Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul et Rosemont–La Petite-Patrie sont deux zones avec un pourcentage de minorités visibles et d'immigrants légèrement inférieur à la moyenne régionale (environ 22% d'immigrants et respectivement 19,4% et 19,2% de minorités visibles). Comme le démontrent les chiffres sommaires, les arrondissements le long du corridor du SRB à Montréal sont un mélange de secteurs à faible revenu et à revenu moyen. Certains ont des proportions significativement plus élevées d'immigrants et de minorités visibles et des populations avec des trajets domicile-travail de plus d'une heure. La Figure 22 situe les arrondissements autour du corridor du SRB Pie-IX sur une carte.

Tout cela suggère que les améliorations d'accessibilité le long du corridor du SRB Pie-IX profiteraient aux groupes à faible revenu, qui passent généralement plus de temps à se déplacer

pour le travail, quel que soit le mode de transport. Réduire les temps de trajet domicile-travail augmenterait le nombre d'emplois pouvant être atteints dans un délai raisonnable. Les zones le long du corridor comptent également un pourcentage élevé de minorités visibles et d'immigrants. L'amélioration de leur accessibilité au moyen du SRB Pie-IX démontre les bénéfices potentiels du projet en termes d'équité. Ces bénéfices seront encore plus significatifs lorsque le prolongement de la ligne bleue sera terminé. Toutefois, les changements de temps de trajet résultant de ce projet n'ont pas été inclus dans l'analyse.

6.3 Méthode et données

Méthodologiquement, l'accessibilité multimodale calculée dans cette étude de cas a été évaluée de manière similaire à la première étude de cas : les calculs se basent sur l'IMU de Bertaud (équation 5,3), l'équation 3 calcule l'IAM en appliquant les pondérations de la part modale au IMU et enfin, l'IAM est divisé par le nombre total d'emplois pour obtenir l'IAMP (équation 4).

Cette dérivation de l'IAMP est fondamentalement la même que la première étude de cas, bien qu'il y ait quelques distinctions importantes. Dans la première étude de cas, les parts modales au niveau de la région métropolitaine ont été utilisées (64,7% pour l'automobile et 20,6% pour le transport en commun), excepté pour l'analyse du corridor Pie-IX. Dans cette deuxième étude, les parts modales au niveau municipal sont appliquées aux secteurs de recensement associés et ce sont ces valeurs spécifiques qui sont incluses dans le calcul des indicateurs. Cette approche plus précise prend en considération la place plus importante de l'automobile dans les zones en périphérie de la région et l'utilisation accrue du transport en commun dans les quartiers centraux. Cela dépeint probablement un portrait plus précis de l'accessibilité. Une autre différence importante dans les deux études de cas concerne les données socio-économiques. Alors que la première étude tire ses données démographiques de l'enquête OD de 2013, la deuxième étude utilise le recensement de 2016.

Les données utilisées dans cette analyse proviennent de nombreuses sources identiques à celles de la première étude de cas. Les ZAT et les temps de trajet entre chaque ZAT proviennent de la Direction de la modélisation des systèmes de transport du MTMD. Ces données sont basées sur le modèle de transport régional de 2013 pour Montréal. Comme pour la première étude de cas, les données sur la part modale proviennent de l'enquête OD de 2018. Les données socio-économiques, y compris celles sur l'emploi, proviennent du recensement canadien de 2016. Les données associées aux secteurs de recensement sont le revenu médian des ménages, le taux de mesure de faible revenu, la proportion de minorités visibles, de populations autochtones et d'immigrants. Il convient de noter que la mesure de faible revenu se rapporte à la proportion de ménages gagnant annuellement moins de la moitié du revenu médian des ménages de taille similaire de la région.

L'autre différence principale entre les deux études de cas provient de la différence d'unités d'analyse géographique. Les ZAT et les secteurs de recensement ne concordent pas toujours parfaitement dans l'espace. Alors que certaines ZAT sont géographiquement alignées avec les SR, certaines ne le sont pas et, par conséquent, les limites des deux unités se chevauchent. Comme

les données démographiques étaient disponibles au niveau des secteurs de recensement, elles ont dû être appariées aux ZAT. Chaque secteur de recensement a été associé à sa ZAT la plus proche pour mieux préserver l'intégrité des données socio-économiques. Cela a été fait au prix d'une approximation légèrement plus élevée des temps de trajet entre les secteurs de recensement. En effet, certains secteurs de recensement partagent la même ZAT (966 secteurs de recensement ont été liés à 913 ZAT). Une approximation des temps de trajet a été jugée préférable aux approximations des variables socio-économiques qui se seraient produites si les ZAT avaient plutôt été liées à leur secteur de recensement le plus proche. Ceci est différent de la façon dont la première analyse a été effectuée, où toutes les analyses ont été effectuées à l'aide des ZAT. Cela conduit à des résultats légèrement différents pour les valeurs d'IAMP globales, comme indiqué ci-dessous dans la section des résultats.

6.4 Résultats et discussion

L'IAM et l'IAMP sont calculés pour les scénarios de base et du SRB Pie-IX pour les arrondissements situés le long du corridor, la Ville de Montréal et le Grand Montréal : des gains d'accessibilité multimodale sont observés pour toutes ces régions ou sous-régions. Les variations de l'IAM et de l'IAMP, calculées au seuil temporel de 60 minutes, sont illustrées dans le Tableau 10 – Variations de l'IAM et l'IAMP à 60 minutes. Le seuil de 60 minutes a été sélectionné, car Bertaud, parmi d'autres, suggère qu'il constitue la limite de durée acceptable d'un trajet domicile-travail.

Tableau 10 – Variations de l'IAM et l'IAMP à 60 minutes

| Zone | IAM | | | | IAMP | |
|--------------------------------------|------------------|---------------------|--------------|---------------|------------------|---------------------|
| | Scénario de base | Scénario SRB Pie-IX | Écart absolu | Écart relatif | Scénario de base | Scénario SRB Pie-IX |
| Ville de Montréal | 1 039 705 | 1 042 157 | 2 452 | 0,236% | 0,5496 | 0,5509 |
| Grand Montréal | 908 127 | 910 383 | 2 256 | 0,248% | 0,4801 | 0,4812 |
| Montréal-Nord | 857 010 | 857 221 | 211 | 0,025% | 0,4530 | 0,4532 |
| Saint-Léonard | 1 083 895 | 1 089 580 | 5 685 | 0,525% | 0,5730 | 0,5760 |
| Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension | 989 822 | 991 932 | 2 110 | 0,213% | 0,5233 | 0,5244 |
| Mercier–Hochelaga-Maisonneuve | 1 112 815 | 1 121 354 | 8 539 | 0,767% | 0,5883 | 0,5928 |
| Rosemont–La Petite-Patrie | 1 081 949 | 1 089 076 | 7 127 | 0,659% | 0,5720 | 0,5757 |
| Duvernay et Saint-Vincent-de-Paul | 988 953 | 1 000 879 | 11 926 | 1,206% | 0,5228 | 0,5291 |

Les arrondissements de Montréal situés le long du corridor connaissent de changements importants dans le nombre absolu d'emplois accessibles suivant la mise en place du SRB Pie-IX. L'IAM moyen, ou le nombre d'emplois pondérés en fonction de la part modale de transport disponible pour la personne moyenne en âge de travailler à Montréal, augmente de 2 452 dans le scénario SRB Pie-IX, passant de 1 039 705 à 1 042 157. Cela correspond à une augmentation de 0,236 % du nombre d'emplois accessibles en moins d'une heure. La région du Grand Montréal profite également de l'arrivée du SRB Pie-IX, comme le suggère l'augmentation de l'IAM de 2 256 (0,248%) passant de 908 127 à 910 383. Comme attendu, l'augmentation de l'IAM est la plus marquée le long du corridor SRB Pie-IX, tant en valeur absolue que relative. Les plus grandes variations absolues et relatives d'IAM à 60 minutes ont lieu à Duvernay et Saint-Vincent-de-Paul, avec un gain de 11 926, ou 1,206 %. Ces gains sont entièrement dus aux améliorations apportées par le transport en commun, comme le montrent les tableaux suivants, qui ventilent les résultats. Duvernay et Saint-Vincent-de-Paul subissent une perte nette marginale d'accessibilité en automobile, mais enregistrent un gain important d'accessibilité en transport en commun.

Les gains d'accessibilité les plus importants sont ensuite enregistrés dans Mercier-Hochelaga-Maisonneuve, qui avait l'IAM de base le plus élevé, soit 1 112 815 et qui est passé à 1 121 354 dans le scénario SRB Pie-IX (gain de 0,767%). Rosemont-La Petite-Patrie connaît une augmentation de 7 127 emplois (0,659%) dans le scénario du SRB Pie-IX par rapport au scénario de base, passant de 1 081 949 à 1 089 076. Saint-Léonard voit son IAM augmenter de 5 685 (0,525%), passant de 1 083 895 à 1 089 580. L'IAM de Villeray-Saint-Michel-Parc-Extension augmente de 2 110 (0,213%) dans le scénario SRB, passant d'une valeur de 989 822 de base à 991 932.

Le plus petit gain d'accessibilité survient à Montréal-Nord, où l'IAM sans SRB de 857 010 n'augmente qu'à 857 221, soit de 211 emplois (0,025%). Ces augmentations sont non seulement les plus faibles en valeurs absolues, mais également en valeurs relatives. Les pertes d'accessibilité en automobile dans certaines parties de Montréal-Nord sont à peine compensées par les améliorations de l'accessibilité en transport en commun, contrairement au phénomène observé dans les quartiers Duvernay et Saint-Vincent-de-Paul de Laval. Là, les augmentations d'accessibilité en transport en commun dépassent largement les pertes d'accessibilité en automobile.

Tableau 11 et Tableau 12 présentés ci-dessous décomposent l'IAM en ses éléments constitutifs pour l'automobile et le transport en commun : l'IMU (*M*) de Bertaud, la part modale de l'arrondissement, puis le nombre d'emplois pondérés par la part modale pour chaque mode. Le 11 présente ces données pour le scénario SRB, tandis que le Tableau 12 concerne le scénario de base. En divisant l'IAM en ses composantes, on peut observer la manière dont les valeurs d'IAM sont définies, l'accessibilité des zones et en déduire les comportements de ceux qui y vivent.

Tableau 11 - Répartition des composantes de l'IAM - Scénario SRB Pie-IX

| Zone | Automobile | | | Transport en commun | | | IAM |
|--------------------------------------|--------------|-------------|-----------------|---------------------|-------------|-----------------|-----------|
| | M de Bertaud | Part modale | Part Modale * M | M de Bertaud | Part modale | Part Modale * M | |
| Ville de Montréal | 1 632 623 | 53,1% | 866 238 | 745 462 | 26,9% | 200 275 | 1 042 157 |
| Région du Grand Montréal | 1 209 483 | 69,5 % | 840 455 | 418 516 | 16,7% | 69 928 | 910 383 |
| Montréal-Nord | 1 196 469 | 61,1% | 731 038 | 558 310 | 22,6% | 126 178 | 857 221 |
| Saint-Léonard | 1 362 103 | 69,7% | 949 386 | 700 969 | 20% | 140 193 | 1 089 580 |
| Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension | 1 740 525 | 40,1% | 698 117 | 927 607 | 32,6% | 302 400 | 991 932 |
| Mercier–Hochelaga-Maisonneuve | 1 529 926 | 50,1% | 766 850 | 763 054 | 30% | 229 328 | 970 376 |
| Rosemont–La Petite-Patrie | 1 758 016 | 50% | 879 008 | 817 385 | 25,7% | 210 068 | 1 089 076 |
| Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul | 1 194 499 | 78% | 931 709 | 427 282 | 16,1% | 68 792 | 1 000 502 |

Tout d'abord, les résultats du M de Bertaud pour l'automobile traduisent les niveaux élevés d'accessibilité automobile dans les différentes zones de la région. En moyenne, l'accessibilité automobile pour la Ville de Montréal est très élevée pour les deux scénarios, soit de plus de 1 600 000 emplois. Au niveau de la région métropolitaine, les 1 209 483 emplois accessibles représentent plus de 80% des emplois totaux de la région, qui totalisent 1 891 640. Ces résultats ne sont pas surprenants en raison du caractère central de la Ville de Montréal et donc de l'accessibilité élevée de ses emplois. Les emplois des rives sud et nord de l'île de Montréal devraient également être largement accessibles en automobile. Le Grand Montréal dans son ensemble présente des valeurs de M élevées pour l'automobile, bien qu'elles soient inférieures à celles de la Ville de Montréal, soit plus de 1 200 000 dans chaque scénario. Cela s'explique en grande partie par le réseau routier du Grand Montréal ainsi que par le modèle de développement des cinquante dernières années, soit la périurbanisation de l'emploi. Néanmoins, les zones situées en périphérie de l'île de Montréal n'ont pas nécessairement accès aux zones situées de

l'autre côté de l'île, ce qui contribue à un M inférieur à celui de la Ville de Montréal, qui, elle, est située au centre.

Tableau 12 - Répartition des composantes d'IAM - Scénario de base

| Zone | Automobile | | | Transport en commun | | | IAM |
|--------------------------------------|--------------|-------------|-----------------|---------------------|-------------|-----------------|-----------|
| | M de Bertaud | Part modale | Part Modale * M | M de Bertaud | Part modale | Part Modale * M | |
| Ville de Montréal | 1 629 908 | 53,1% | 864 797 | 741 665 | 26,9% | 199 254 | 1 039 706 |
| Région du Grand Montréal | 1 206 823 | 69,5 % | 838 607 | 416 076 | 16,7% | 69 520 | 908 127 |
| Montréal-Nord | 1 203 009 | 61,1 % | 735 038 | 539 697 | 22,6% | 121 971 | 857 010 |
| Saint-Léonard | 1 357 066 | 69,7 % | 945 875 | 690 100 | 20,0% | 138 020 | 1 083 895 |
| Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension | 1 739 588 | 40,1 % | 697 741 | 922 196 | 32,6% | 300 636 | 989 822 |
| Mercier–Hochelaga-Maisonneuve | 1 517 407 | 50,1 % | 760 575 | 757 601 | 30,0% | 227 689 | 962 986 |
| Rosemont–La Petite-Patrie | 1 747 358 | 50,0 % | 873 679 | 810 390 | 25,7% | 208 270 | 1 081 949 |
| Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul | 1 194 982 | 78,0 % | 932 087 | 355 548 | 16,1% | 57 243 | 989 330 |

Duvernay et Saint-Vincent-de-Paul présentent la plus petite valeur de M parmi tous les arrondissements du corridor du SRB Pie-IX, soit un peu moins de 1 200 000. Montréal-Nord se situe à environ 1 200 000, un peu plus que Duvernay et Saint-Vincent-de-Paul, mais beaucoup moins que les autres arrondissements. Saint-Léonard possède la deuxième valeur de M la plus élevée pour l'automobile, avec environ 1 350 000 dans les deux scénarios. Mercier–Hochelaga-Maisonneuve se chiffre à environ 1 520 000 dans chaque scénario, tandis que Rosemont–La Petite-Patrie et Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension avoisinent des valeurs de 1 740 000.

Un bref examen des parts modales démontre que, malgré l'importance relative de l'automobile dans la Ville de Montréal, seulement 53,1% des individus utilisent l'auto pour se rendre à leur travail. Ceci est très similaire à ce qui est observé à Rosemont–La Petite-Patrie (50%) et à

Mercier–Hochelaga-Maisonneuve (50,1%). La part modale de l'automobile dans Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension est plus faible, soit 40,1%, tandis qu'à Montréal-Nord et Saint-Léonard elle est plus élevée, soit 61,1% et 69,7% respectivement.

Pour une zone comme Duvernay et Saint-Vincent-de-Paul, où l'automobile est prédominante (part modale de 78%), le nombre d'emplois accessibles en automobile pondéré par la part modale est très élevé, soit autour de 932 000 dans les deux scénarios. Bien que le M de l'automobile soit le deuxième plus bas de tous les arrondissements examinés, l'IAM est le deuxième plus élevé, ce qui illustre un des avantages d'utiliser une mesure multimodale. Une mesure traditionnelle d'opportunités cumulatives impliquerait des valeurs plus faibles d'accessibilité automobile à Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul. Toutefois, en pondérant par la part modale, Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul se classe au deuxième rang pour ce qui est des emplois disponibles, car la grande majorité des résidents se déplacent en automobile.

Le plus grand nombre d'emplois accessibles en automobile pondéré par la part modale se trouve à Saint-Léonard avec 945 875 dans le scénario de base et 949 386 dans le scénario du SRB Pie-IX. Cela est dû en grande partie à la part modale élevée de l'automobile et à la bonne accessibilité en voiture à Saint-Léonard. Rosemont–La Petite-Patrie connaît également une augmentation du nombre d'emplois accessibles en automobile, passant de 873 679 à 879 008. Les valeurs pour Rosemont–La Petite-Patrie sont plus faibles, bien que les valeurs de M pour les deux scénarios soient les plus élevées. Cela s'explique par la part modale plus faible de l'automobile dans cette zone. La moyenne de la Ville de Montréal est la deuxième plus élevée, passant de 864 797 dans le scénario de base à 866 238 dans le scénario SRB Pie-IX. Mercier–Hochelaga-Maisonneuve, Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension et Montréal-Nord présentent des valeurs similaires, soit 766 850, 698 117 et 731 038 respectivement pour le scénario SRB. Bien que Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension ait les deuxièmes valeurs de M plus élevées pour l'automobile, leur part modale auto n'est pas élevée, ce qui entraîne des valeurs d'emplois pondérées par des parts modales plus faibles.

Ensuite, en examinant le M de Bertaud pour le transport en commun, différents niveaux d'accessibilité sont observés dans le corridor Pie-IX. Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension et Rosemont–La Petite-Patrie sont en tête, avec des valeurs de 927 607 et 817 385 respectivement pour le scénario du SRB Pie-IX. Cela s'explique par la densité des emplois dans les zones offrant un service de transport en commun de qualité et par la couverture des réseaux de transport en commun structurant et d'autobus. En effet, en plus d'être deux arrondissements bien desservis par le transport en commun, ils sont aussi les deux plus proches du centre-ville, où se trouve la plus grande densité d'emplois.

Mercier–Hochelaga-Maisonneuve suit ensuite avec 763 054 emplois, valeur à peine plus élevée que la moyenne de la Ville de Montréal (745 462). Saint-Léonard, Montréal-Nord et Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul, qui n'ont pas de transport en commun rapide et qui sont situés plus loin du quartier des affaires de Montréal, ont des valeurs de M plus faibles dans les deux scénarios. Néanmoins, pour les trois zones, les valeurs de M augmentent de façon significative à la suite de l'implantation du SRB, en particulier à Montréal-Nord et à Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul. Ces

valeurs pour le transport en commun sont généralement entre 30 et 60% des valeurs respectives des arrondissements pour l'automobile.

Les différences de valeurs de M pour le transport en commun entre les scénarios sont claires. Dans le cas du SRB, Montréal-Nord connaît une augmentation d'environ 20 000 emplois, Saint-Léonard en gagne plus de 10 000, Rosemont–La Petite-Patrie près de 7 000, Mercier–Hochelaga-Maisonneuve environ 6 000 et Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension plus de 5 000. Les gains d'emploi les plus importants ont été enregistrés à Duvernay et Saint-Vincent-de-Paul, qui en ont gagné plus de 70 000. Les parts modales du transport en commun révèlent que la plupart des arrondissements le long du corridor du SRB Pie-IX ont une utilisation similaire du transport en commun à la moyenne de la Ville de Montréal (26,9%), avec Rosemont–La Petite-Patrie (25,7%), Montréal-Nord (22,6%) et Saint-Léonard (20%) légèrement inférieurs, et Mercier–Hochelaga-Maisonneuve (30%) et Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension (32,6%) légèrement supérieurs. Les moyennes régionales (16,7%) et de Duvernay et Saint-Vincent-de-Paul (16,1) sont toutes deux inférieures à celles des autres arrondissements du corridor examiné. Il en résulte donc une variation assez importante du nombre moyen d'emplois disponibles par arrondissement.

Dans le scénario de base, Duvernay et Saint-Vincent-de-Paul comptent le plus petit nombre d'emplois accessibles, avec 57 243, mais ce chiffre augmente à 68 792 avec le SRB Pie-IX. Malgré la forte amélioration de la valeur de M pour le transport en commun, la part modale de ce mode étant faible, le nombre d'emplois pondérés accessibles reste proportionnellement plus faible que dans les autres arrondissements du corridor du SRB. De son côté, Montréal-Nord présente le deuxième plus petit nombre d'emplois pondérés accessibles en transport en commun dans le scénario de base, avec 121 971, chiffre qui s'améliore à 126 179 suivant l'arrivée du SRB Pie-IX. Saint-Léonard passe de 138 020 à 140 193 entre les deux scénarios, Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension de 230 652 à 232 006, Rosemont–La Petite-Patrie de 208 270 à 210 068 et Mercier–Hochelaga-Maisonneuve de 227 689 à 229 328.

Ces résultats démontrent un manque d'accessibilité en transport en commun à Montréal-Nord par rapport aux autres arrondissements. Bien que sa part modale du transport en commun soit plus élevée que celle de Saint-Léonard, elle compte moins d'emplois accessibles par ce mode dans les deux scénarios étudiés. D'un autre côté, cela met en évidence les bénéfices du projet du SRB Pie-IX, car la condition de Montréal-Nord s'améliore considérablement (gagne plus de 4 000 emplois), tandis que celle de Saint-Léonard s'améliore environ deux fois moins (gagne environ 2 000 emplois).

Les valeurs d'IAM présentées ici mettent en lumière plusieurs réalités importantes concernant le transport dans l'est de Montréal. La première est la grande différence entre l'IAM des arrondissements situés le long du corridor Pie-IX et les moyennes municipale et régionale. Alors que la Ville de Montréal affiche un IAM de plus de 1 042 000 dans le scénario SRB Pie-IX, certains arrondissements le long du corridor Pie-IX présentent une valeur supérieure à 1 121 000, tandis que d'autres ne dépassent pas 857 221. L'IAM de Montréal-Nord est nettement inférieur à celui de tous les autres arrondissements examinés dans l'étude. En fin de compte, l'investissement pour le SRB Pie-IX génère des améliorations au M du transport en commun, et donc à l'IAM, dans

ces parties moins accessibles de la ville et de la région. On constate que ces investissements profitent considérablement à des zones comme Montréal-Nord, mais pas autant qu'à sa voisine du nord, à Laval.

Dans cette optique, le projet présente une grande valeur en termes d'équité, car il augmente le nombre d'emplois accessibles dans les zones qui ont actuellement la moins bonne accessibilité. En outre, cet avantage ne semble pas avoir d'impact négatif sur l'accessibilité globale de la région, bien que certaines zones connaissent une légère diminution de leur accessibilité multimodale. Malgré les avantages du projet du SRB Pie-IX en termes d'équité, les zones à faible revenu et les plus défavorisées situées le long du corridor Pie-IX n'ont toujours pas le même niveau d'accessibilité que la moyenne régionale. Cela suggère que plus d'efforts pourraient être déployés pour améliorer l'accessibilité en transport et l'aménagement du territoire de ces zones.

Il convient de noter que l'IAMP au niveau régional se chiffre dans cette deuxième étude de cas à 0,4801 dans le scénario de base et à 0,4812 avec le SRB Pie-IX. Ce résultat peut être comparé aux valeurs régionales de 0,4281 et 0,4292 obtenues dans la première étude de cas. Les différences entre ces résultats découlent de trois distinctions spécifiques entre les études. Dans la première étude de cas, la valeur de l'IAMP à l'échelle de la région a été calculée en utilisant des parts modales pour la région : 64,7% pour les automobiles et 20,7% pour le transport en commun. Cela diffère de la deuxième étude de cas, qui se base sur les parts modales des secteurs municipaux individuels. En effet, les banlieues de Montréal, dont plusieurs ont des parts modales du transport en commun beaucoup plus faibles et des parts modales de l'automobile plus élevées, présentent des valeurs d'IAMP plus élevées lorsque les parts modales de chaque secteur municipal sont utilisées. En revanche, les arrondissements du cœur de la Ville de Montréal, dont certains sont plus accessibles en transport en commun qu'en automobile, voient leur part modale en transport en commun être reflétée et leur IAM et IAMP augmenter en conséquence. Une autre différence entre les études de cas provient de la légère approximation utilisée dans la deuxième étude. Comme expliqué précédemment, afin de préserver les données au niveau des secteurs de recensement sur les variables d'équité, les secteurs de recensement ont été appariés à leur ZAT la plus proche, ce qui a conduit à une légère approximation des temps de parcours, car quelques secteurs de recensement partagent la même ZAT. Enfin, la région couverte par le système de ZAT de MOTREM-13 inclut beaucoup plus de zones excentrées à l'extérieur de la région métropolitaine de recensement de Montréal, qui ont par conséquent des niveaux d'accessibilité moins élevés.

La Figure 23 présente les variations globales d'IAM entre le scénario de base et celui du SRB Pie-IX, au seuil de 60 minutes et au niveau des arrondissements du corridor du SRB Pie-IX. Les gains d'accessibilité les plus élevés ont lieu à Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul à Laval, suivi par Mercier-Hochelaga-Maisonneuve. Les gains les plus faibles d'IAM, malgré des augmentations importantes du *M* du transport en commun, sont enregistrés pour Montréal-Nord.

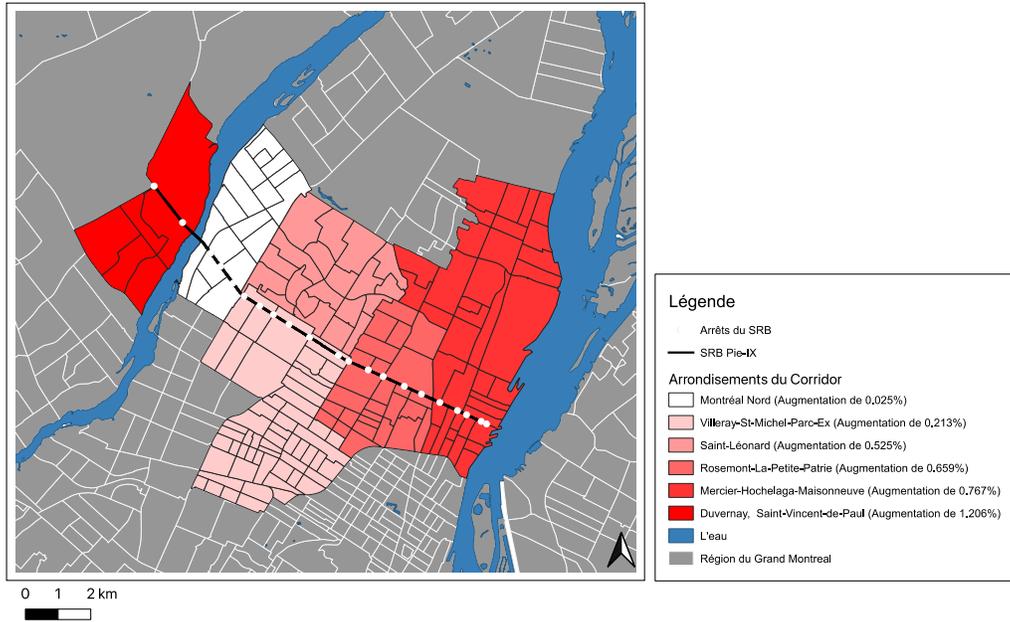


Figure 23 - Variations d'IAM à 60 minutes pour les arrondissements du corridor du SRB Pie-IX

La Figure 24 affiche les variations d'IAM pour chaque secteur de recensement de la région métropolitaine. Cela permet d'avoir un aperçu général des gains et des pertes d'accessibilité dans la région entière.

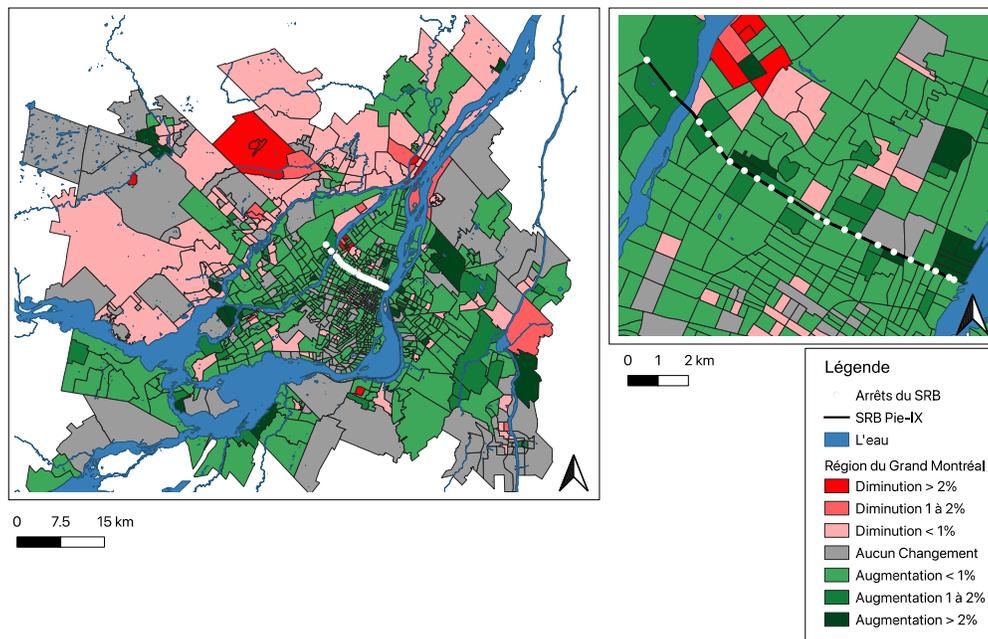


Figure 24 - Changements de IAM à 60 minutes pour les SR du Grand Montréal

Sur les 970 secteurs de recensement analysés dans l'étude, 637 voient leur accessibilité multimodale augmenter à la suite de la mise en œuvre du SRB Pie-IX, 169 ne sont pas impactés et 164 connaissent une diminution d'accessibilité. Comme le démontre la Figure 24, ce sont les

zones situées le long du corridor du SRB Pie-IX qui connaissent les plus grandes améliorations en matière d'accessibilité. Les pertes d'accessibilité se manifestent dans environ un secteur de recensement sur six (17%). D'un autre côté, 65% des secteurs de recensement subissent des gains d'accessibilité. L'ampleur de ces augmentations et diminutions mérite d'être mentionnée. Parmi les secteurs de recensement perdant de l'accessibilité, seuls 22 voient leur accessibilité multimodale diminuer de plus de 1 %, 11 de plus de 2 % et 6 de plus de 4 %. En comparaison avec les gains d'accessibilité multimodale, 80 secteurs de recensement enregistrent des gains supérieurs à 1 %, 30 des gains supérieurs à 2 % et 11 des gains supérieurs à 4 %. Même lorsque les secteurs de recensement perdent en accessibilité, il s'agit généralement de pertes marginales. Si de nombreux secteurs de recensement gagnant en accessibilité enregistrent des gains marginaux, un nombre important d'entre eux enregistrent des gains plus importants.

L'accessibilité de nombreuses zones éloignées du corridor reste inchangée. De plus, plusieurs zones sans population, telles que les parcs, ne subissent aucun changement en raison de l'absence de population pour le calcul des pondérations de la part modale et de la part de la population. Les zones connaissant une diminution de leur accessibilité sont situées sur la Rive-Nord, à Laval et à Montréal, notamment à Montréal-Nord, mais également dans certaines parties de Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension et dans l'ouest de l'île. Toutefois, la majorité des sous-régions d'analyse connaissent une augmentation de leur accessibilité, y compris la plupart des zones de Montréal et une grande partie sur la Rive-Sud.

Une autre analyse d'équité a été menée dans le cadre de cette étude de cas en divisant tous les secteurs de recensement de la région métropolitaine de Montréal en quintiles, en fonction de cinq catégories socio-économiques distinctes. Ces quintiles ont été calculés pour chaque variable socio-économique, de sorte que les secteurs de recensement qui se situent dans le quintile le plus bas d'une catégorie ne se trouvent pas nécessairement dans le quintile le plus bas d'une autre catégorie. Pour évaluer les changements en pourcentage de l'indice d'accessibilité multimodale par catégorie de revenu médian des ménages, le premier quintile inclut les secteurs de recensement avec le revenu médian le plus faible, tandis que le cinquième quintile inclut le revenu le plus élevé. Ainsi, le premier quintile des catégories de revenu médian des ménages et de taux de mesure de faible revenu est considéré comme le plus défavorisé, tandis que le cinquième quintile est le moins défavorisé.

Les variations de l'IAM par secteur de recensement sont présentées dans le tableau ci-dessous. Pour les trois autres catégories, à savoir les proportions de minorités visibles, de population autochtone et d'immigrants, le premier quintile contient la plus faible proportion de chaque catégorie, tandis que le cinquième quintile contient la proportion la plus élevée.

Tableau 13 – Variations de l'accessibilité multimodale (IAM) par secteur de recensement, regroupés par quintiles

| Quintile | Variation de l'IAM en fonction du | Variation de l'IAM par taux de | Variation de l'IAM en fonction de la | Variation de l'IAM en fonction de la | Variation de l'IAM en fonction de la |
|----------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|----------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|

| | revenu médian des ménages | mesure de faible revenu | proportion de minorités visibles | proportion de la population autochtone | proportion de la population immigrée |
|-----------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------------|--|--------------------------------------|
| 1 ^{er} | 0,303 % | 0,233 % | 0,178 % | 0,281 % | 0,081 % |
| 2 ^{er} | 0,301 % | 0,337 % | 0,200 % | 0,260 % | 0,368 % |
| 3 ^{er} | 0,248 % | 0,257 % | 0,347 % | 0,193 % | 0,313 % |
| 4 ^{er} | 0,245 % | 0,303 % | 0,293 % | 0,319 % | 0,280 % |
| 5 ^{er} | 0,233 % | 0,200 % | 0,265 % | 0,289 % | 0,235 % |

La ventilation de l'IAM en fonction du revenu médian des ménages démontre que les secteurs de recensement avec des revenus médians des ménages faibles sont ceux qui enregistrent les gains les plus élevés en accessibilité, soit de 0,303%. Le deuxième quintile de revenu médian le plus faible connaît le deuxième changement le plus important de l'IAM, avec une amélioration moyenne de 0,301%. Les quintiles suivants connaissent des changements de plus en plus faibles, respectivement de 0,248%, 0,245% et 0,233%.

La variation relative de l'IAM selon le taux de la mesure de faible revenu montre que le 2^e quintile, ou le groupe de secteurs de recensement ayant le deuxième taux de faible revenu des ménages le plus bas, connaît la plus grande amélioration d'accessibilité, soit 0,337%. Le 4^e quintile enregistre la deuxième plus grande amélioration, se chiffrant à 0,303%. Les autres quintiles connaissent tous de plus petites augmentations, le 3^e s'améliorant en moyenne de 0,257%, le 1^{er} 0,233% et le 5^e de 0,200%. Bien que l'on puisse s'attendre à des résultats similaires entre l'IAM selon le revenu médian des ménages et le taux de mesure de faible revenu, la réalité est légèrement différente : les mêmes quintiles entre ces deux catégories ne se sont pas améliorés de la même manière.

Le regroupement selon le pourcentage de minorités visibles permet de constater que l'IAM des zones du 3^e quintile a subi les gains les plus élevés, avec 0,34 %. Les 4^e et 5^e quintiles connaissent des gains d'IAM de 0,293% et 0,265% respectivement, tandis que les deux premiers quintiles, soit les zones avec les plus faibles proportions de minorités visibles, se sont améliorés de 0,178% et 0,200% respectivement.

Enfin, en découpant les données en fonction de la proportion de la population autochtone, aucune tendance claire ne se dégage. Les gains d'accessibilité les plus importants sont enregistrés dans les zones où la proportion de population autochtone est la plus élevée, soit 0,319% et 0,289% pour les 4^e et 5^e quintiles. Le 1^{er} quintile s'améliore de 0,281% et le 2^e de 0,260%, positionnant le 3^e quintile en dernière place, à 0,193%.

La dernière variable, la proportion de la population immigrée, dépeint une image différente des autres catégories socio-économiques. L'IAM du premier quintile s'améliore de 0,081 %, ce qui représente la plus faible amélioration parmi les cinq quintiles, toutes catégories confondues. Le 2^e quintile observe le gain le plus élevé de toute l'analyse, à 0,368%. Enfin, le 3^e quintile enregistre une augmentation de 0,313%, le 4^e de 0,280% et le 5^e de 0,235%.

En examinant ces variables et l'impact de la mise en œuvre du SRB Pie-IX sur les différents groupes sociaux, plusieurs conclusions clés peuvent être tirées. Premièrement, tous les groupes constatent une amélioration de leur accessibilité suivant l'arrivée du SRB Pie-IX. Souvent, l'opposition aux projets découle d'une perception selon laquelle certains groupes sociaux n'en bénéficient pas suffisamment. Bien qu'il soit vrai que le SRB entraînera une légère baisse de l'accessibilité multimodale dans certains secteurs de recensement, le projet est bénéfique pour tous les groupes sociaux à l'échelle régionale.

Le deuxième point clé révélé par l'analyse de ces variables est que ce sont généralement les zones économiquement défavorisées qui bénéficient le plus de l'implantation du SRB Pie-IX. Ces avantages sont en partie dus à la localisation de proximité de ces zones par rapport au corridor du SRB Pie-IX, qui leur permet de bénéficier de temps de trajet plus courts et donc d'une plus grande accessibilité. Une autre raison qui explique ces avantages est que l'IAM est une mesure pondérée en fonction de la part modale. Étant donné que les habitants des zones à faible revenu et moins favorisées sont plus susceptibles d'utiliser les transports en commun (ce qui se reflète dans les parts modales plus élevées de transport en commun), les résultats d'IAM démontrent de gains d'accessibilité plus élevés dans ces zones. Les bénéfices marqués du projet pour les quintiles ayant la plus forte proportion de minorités visibles, d'autochtones et d'immigrants ainsi que le taux de faible revenu et le revenu médian des ménages indiquent que le SRB Pie-IX a une grande valeur en termes d'équité. Bien que chaque groupe tire avantage du projet, les améliorations les plus prononcées sont observées chez les groupes considérés comme défavorisés ou marginalisés.

L'étude de cas révèle que le projet du SRB Pie-IX présente une forte valeur d'équité. Le projet lui-même n'a que peu d'incidences en termes de compromis sur l'accessibilité : peu de zones voient leur accessibilité réduite et celles qui subissent des pertes ne sont que faiblement impactées. Les zones situées le long du corridor Pie-IX, dont beaucoup peuvent être considérées comme marginalisées en raison de divers facteurs, gagnent en accessibilité grâce au projet. De manière plus générale, les zones à faible revenu et celles comptant une proportion plus élevée de minorités visibles, d'autochtones et d'immigrants connaissent des augmentations d'accessibilité plus importantes et semblent bénéficier davantage du projet. Malgré la valeur d'équité de ce projet, il est clair que l'accessibilité dans l'est de Montréal est loin d'être satisfaisante : les arrondissements situés le long du corridor Pie-IX ont des valeurs d'IAM nettement inférieures aux moyennes de la ville et de la région. Il serait donc intéressant de réaliser l'analyse de nouveau lorsque les données de modélisation du projet structurant de l'est (auparavant le « REM de l'est ») ou du prolongement de la ligne bleue vers Anjou seront livrés, afin d'examiner plus en détail comment l'accessibilité évoluera pour les résidents de l'est de Montréal.

7 Discussion et recommandations

7.1 Analyses de sensibilité

Des analyses de sensibilité sont réalisées afin d'évaluer l'influence de fluctuations des données d'entrées sur les résultats des études de cas sur le SRB Pie-IX (sections 5 et 6). La première analyse concerne la part modale et examine comment un transfert modal de la voiture vers le transport en commun (TC) le long du corridor du boulevard Pie-IX influence l'IAM et l'IAMP. Une deuxième analyse examine l'évolution de l'IAM et l'IAMP en réponse à une intensification hypothétique des emplois le long du corridor du SRB Pie-IX.

7.1.1 Part modale auto-TC

La première analyse de sensibilité observe les impacts sur l'IAM à la suite d'une modification des parts modales auto et TC le long du corridor du SRB Pie-IX. Trois scénarios sont analysés et présentés dans les tableaux ci-dessous : le premier avec une modification marginale de la part modale (0,1 % - Tableau 14), le deuxième avec une modification modérée (0,5 % - Tableau 15) et le dernier avec une modification importante (1 % - Tableau 16). Seules les parts modales de l'automobile et du transport en commun sont altérées : celle du transport en commun augmente au détriment de celle de l'automobile.

Cette analyse n'inclut que les arrondissements accueillant le SRB Pie-IX ou adjacents (Figure 22). Cela s'explique par le fait que les parts modales les plus impactées par le projet seront celles des zones autour de celui-ci en raison de l'amélioration significative des temps de parcours TC. D'un autre côté, peu de changements sont prévus au niveau des parts modales à l'échelle régionale et les arrondissements en dehors de la zone du SRB Pie-IX. Dans les tableaux suivants, l'écart entre l'IAM du scénario hypothétique (analyse de sensibilité), du scénario de base et du scénario du SRB Pie-IX est présenté. Les résultats concernent l'accessibilité multimodale en 60 minutes.

Tableau 14 – Analyse de sensibilité : modification de 0,1% de la part modale

| Zone | Part modale auto | Part modale TC | IAM | Écart avec l'IAM du scénario de base | Écart avec l'IAM du scénario SRB Pie-IX |
|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------|------------|---|--|
| Montréal-Nord | 61,0 % | 22,7% | 856 222 | -788 | -999 |
| Saint-Léonard | 69,6 % | 20,1% | 1 088 918 | +5023 | -662 |
| Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension | 40,0 % | 32,7% | 999 537 | +1160 | -980 |
| Mercier–Hochelaga-Maisonneuve | 50,0 % | 30,1% | 993 001 | +4737 | -3177 |

| Zone | Part modale auto | Part modale TC | IAM | Écart avec l'IAM du scénario de base | Écart avec l'IAM du scénario SRB Pie-IX |
|---------------------------------|-------------------------|-----------------------|------------|---|--|
| Rosemont–La Petite-Patrie | 49,9 % | 25,8% | 1 088 135 | +6186 | -941 |
| Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul | 77,9% | 16,2% | 999 734 | + 10 404 | -768 |

Tableau 15 – Analyse de sensibilité : modification de 0,5% de la part modale

| Zone | Part modale auto | Part modale TC | IAM | Écart avec l'IAM du scénario de base | Écart avec l'IAM du scénario SRB Pie-IX |
|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------|------------|---|--|
| Montréal-Nord | 60.6 % | 23,1% | 854 030 | -2980 | -3191 |
| Saint-Léonard | 69,2 % | 20,5% | 1 086 274 | +2379 | -3306 |
| Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension | 39,6 % | 33,1% | 996 286 | -2091 | -4231 |
| Mercier–Hochelaga-Maisonneuve | 49,6 % | 30,5% | 991 574 | +3310 | -4604 |
| Rosemont–La Petite-Patrie | 49,5 % | 26,2% | 1 084 373 | +2424 | -4703 |
| Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul | 77,5% | 16,6% | 996 666 | + 7336 | -3836 |

Tableau 16 – Analyse de sensibilité : modification de 1% de la part modale

| Zone | Part modale auto | Part modale TC | IAM | Écart avec l'IAM du scénario de base | Écart avec l'IAM du scénario SRB Pie-IX |
|---------------|-------------------------|-----------------------|------------|---|--|
| Montréal-Nord | 60,1 % | 23,6% | 850 839 | -6171 | -6382 |

| Zone | Part modale auto | Part modale TC | IAM | Écart avec l'IAM du scénario de base | Écart avec l'IAM du scénario SRB Pie-IX |
|--------------------------------------|------------------|----------------|-----------|--------------------------------------|---|
| Saint-Léonard | 68,7 % | 21,0% | 1 082 968 | -927 | -6612 |
| Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension | 39,1 % | 33,6% | 992 221 | -6156 | --8296 |
| Mercier–Hochelaga-Maisonneuve | 49,1 % | 31,0% | 987 740 | -524 | -8438 |
| Rosemont–La Petite-Patrie | 49,0 % | 26,7% | 1 079 670 | -2279 | -9406 |
| Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul | 77,0% | 17,1% | 992 829 | + 3499 | -7673 |

Les résultats présentés dans les trois tableaux précédents suggèrent qu'à mesure que la part modale du transport en commun augmente et que celle de l'auto diminue, les avantages de l'accessibilité multimodale s'affaiblissent et finissent par devenir négatifs. En effet, une modification importante (1%) des parts modales auto-TC se traduit par des niveaux inférieurs d'accessibilité multimodale pour tous les arrondissements à l'exception de Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul. Cela reflète le fait que moins d'emplois sont accessibles en transport en commun qu'en automobile dans ces zones. Ainsi, une amélioration des temps de parcours TC et des gains d'accessibilité associés ne compenseraient pas les pertes d'accessibilité en voiture. Bien que cela puisse sembler contre-intuitif et défavorable, cela témoigne de la culture automobile dans la région du Grand Montréal, où les destinations sont plus accessibles en voiture qu'en transport en commun.

Un changement important (1%) ou modéré (0,5%) de la part modale auto-TC dans les arrondissements étudiés est peu probable et l'évolution marginale (0,1%) semble être le scénario le plus réaliste des trois testés. Ce dernier conduirait à l'amélioration de l'accessibilité multimodale par rapport au scénario de base, sauf à Montréal-Nord. Le scénario modéré (0,5%) entraînerait lui aussi une amélioration de l'accessibilité multimodale par rapport au scénario de base, mais seulement dans quatre des six arrondissements étudiés. Enfin, le scénario analysant un changement de 1% de la part modale entraîne une diminution de l'accessibilité par rapport au scénario de base dans cinq des six arrondissements. Même si l'accessibilité à l'emploi peut diminuer dans certains scénarios, il est peu probable qu'une personne passe de la voiture au transport en commun si la durée de son trajet augmente.

7.1.2 Nombre d'emplois

L'analyse de sensibilité suivante (Tableau 17) étudie la réponse du modèle à la suite d'un changement du nombre d'emplois. Deux scénarios sont analysés : tous deux impliquant une augmentation du nombre d'emplois dans les secteurs de recensement des arrondissements accueillant le SRB Pie-IX.

Le premier scénario suppose une augmentation modérée des emplois dans les secteurs de recensement, soit 2%. Le deuxième scénario suppose une augmentation de 5%, définie comme une forte augmentation. Un gain d'emploi de 2% dans les secteurs de recensement du corridor équivaut à une augmentation de 4 426 emplois, tandis que l'un gain de 5% équivaut à la création de 11 090 emplois. Ces deux scénarios sont modélisés avec le SRB Pie-IX, car une amélioration de l'accessibilité TC créée par ce nouveau service de TC serait le catalyseur de la création d'emplois dans le secteur. Les résultats concernent l'accessibilité multimodale en 60 minutes.

Tableau 17 – Analyse de sensibilité – modification du nombre d'emplois

| Zone | IAM – SRB Pie-IX : sans changement du nombre d'emplois | IAM – SRB Pie-IX : – augmentation de 2% du nombre d'emplois | Écart entre scénario sans changement et avec augmentation de 2% | IAM – SRB Pie-IX : – augmentation de 5% du nombre d'emplois | Écart entre scénario sans changement et avec augmentation de 5% |
|--------------------------------------|---|--|--|--|--|
| Ville de Montréal | 1 042 157 | 1 043 999 | 1 842 | 1 048 592 | 6 435 |
| Région du Grand Montréal | 910 383 | 911 649 | 1 266 | 915 340 | 4 957 |
| Montréal-Nord | 857 221 | 860 102 | 2 881 | 865 467 | 8 246 |
| Saint-Léonard | 1 089 580 | 1 092 483 | 2 903 | 1 098 399 | 8 819 |
| Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension | 991 932 | 994 513 | 2 581 | 999 174 | 7 242 |
| Mercier–Hochelaga-Maisonneuve | 970 376 | 973 009 | 2 633 | 978 081 | 7 705 |
| Rosemont–La Petite-Patrie | 1 089 076 | 1 091 657 | 2 581 | 1 096 581 | 7 505 |
| Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul | 1 000 502 | 1 002 554 | 2 052 | 1 008 303 | 7 801 |

Une augmentation du nombre d'emplois le long du corridor du SRB Pie-IX entraîne sans surprise une augmentation de l'IAM dans tous les arrondissements concernés. Les impacts sur l'IAM ne sont pas égaux entre les arrondissements : Saint-Léonard semble bénéficier le plus de la croissance des emplois, suivi de près par Montréal-Nord. Les arrondissements de Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension et de Rosemont–La Petite-Patrie, situés au centre de la région et dont les parts de marché de l'automobile sont plus faibles, enregistrent les gains d'IAM les plus faibles à la suite d'une augmentation des emplois. Les résultats d'IAM obtenus signifient malgré tout que la majorité des nouveaux emplois du corridor sont accessibles en moins d'une heure en voiture ou en TC.

7.2 Limites de l'étude

Les approches adoptées dans le cadre de cette étude présentent plusieurs limites. Des mesures plus robustes pourraient être obtenues à travers des modifications de la méthodologie ou par l'utilisation de données désagrégées, plus précises et plus à jour.

Une première limite concerne les parts modales. Au moment de la réalisation de l'étude, les données disponibles les plus désagrégées étaient au niveau des arrondissements (ARTM, 2020). Des données encore plus désagrégées, par exemple au niveau des secteurs de recensement, contribueraient à améliorer la précision des résultats. Ce niveau de détail utilisé pour la deuxième étude de cas représente tout de même une amélioration quant à la première étude de cas, qui se basait sur des données au niveau régional ou sur le corridor du SRB Pie-IX.

L'absence de données concernant l'évolution des parts modales avant et après la mise en service du SRB Pie-IX constitue une autre limite. Le SRB Pie-IX entraînera probablement des changements limités des parts modales, principalement dans les ZAT le long du corridor puisque ce sont dans celles-ci que les temps de parcours en transport en commun se verraient les plus positivement influencés. Comme le démontre la première analyse de sensibilité (section 7.1.1), un changement des parts modales auto-TC dans ces secteurs de recensement ne modifie que marginalement l'IAM.

Une amélioration au modèle consisterait à attribuer aux ZAT une valeur pondérée des emplois au lieu d'une valeur reliée au SR dont le centroïde était le plus proche. Cela générerait une modélisation plus fine du nombre réel d'emplois dans chaque ZAT. Pour chaque ZAT dont les limites physiques ne correspondent pas exactement à un SR, une pondération selon l'espace physique qu'elle occupe dans chaque SR qu'elle croise pourrait être appliquée au nombre d'emplois dans chacun des SR. Ce nombre serait ensuite additionné entre les différents SR croisés pour obtenir le nombre total d'emplois assignés à la ZAT.

L'IAM pourrait être utilisé pour analyser les impacts sur l'accessibilité à l'emploi résultant de changements de la capacité ou de la configuration du réseau de transport qui influencent les parts modales. Une dernière limite liée à la part modale est que la marche et le vélo n'ont pas été considérés. Leur exclusion aux analyses s'explique par le fait qu'aucun changement n'était apporté aux réseaux cyclables ou piétonniers par le projet du SRB Pie-IX. Toutefois, pour une compréhension complète de l'IAM, ces modes actifs devraient être inclus, en particulier si les changements d'infrastructure affectent les réseaux associés (par exemple, les pistes cyclables comme le Réseau express vélo de la Ville de Montréal).

Les analyses de sensibilité étaient limitées par leur incapacité à prévoir les changements de temps de parcours en voiture ou en transport collectif. En effet, des augmentations de 2% ou 5% du nombre d'emplois dans une ZAT pourraient modifier légèrement ou modérément les temps de parcours vers ces zones, en fonction du nombre absolu d'emplois ajoutés. Cela aurait à son tour un impact sur les résultats d'accessibilité. Faute de pouvoir prévoir rapidement et

précisément l'influence de ces temps de parcours sur le réseau dans son ensemble, cela n'a pas été abordé plus en détail.

Une autre limite majeure de l'étude concerne l'approximation des temps de parcours résultant d'une disponibilité limitée de données démographiques. En effet, la majorité des données pertinentes à l'analyse n'étaient disponibles qu'au niveau des secteurs de recensement, alors que la composante du temps de trajet du modèle était calculée au niveau des ZAT. L'accent mis sur la composante de l'équité a conduit à la décision de préserver l'intégrité des données démographiques au détriment de la précision des temps de parcours. Les secteurs de recensement ont été appariés à la ZAT la plus proche. La majorité des ZAT ont été associées à un seul secteur de recensement, mais d'autres à deux SR, ce qui a résulté à des temps de parcours similaires entre différents ZAT, ce qui ne reflète pas la réalité. Ce problème pourrait être résolu dans le cadre de futures recherches en obtenant des données socio-économiques et démographiques sur un niveau de découpage géographique similaire à celui des données de temps de parcours.

7.3 Recommandations générales

Le développement et l'application des mesures d'IAM et d'IAMP dans les études de cas précédemment présentées mènent à la formulation d'une série de recommandations pour leur utilisation future. Ces recommandations valent aussi bien pour l'évaluation de scénarios que pour d'autres applications et servent à préciser les calculs des indicateurs afin de simplifier leur mise en application.

- L'IAM et l'IAMP doivent être calculés pour les heures de pointe du matin pour tous les modes, car cette période a tendance à être la plus congestionnée et à impliquer le plus d'usagers de la route. Bien que les générer pour les heures de pointe d'après-midi soit possible, cela conduirait à une surestimation de la mobilité automobile et donc, de l'accessibilité. Pour éviter cette surestimation, le coefficient de congestion aux temps de parcours doit être appliqué.
- Pour déterminer l'accessibilité globale de façon précise, tous les modes de déplacement doivent être pris en compte, même si certains ne sont pas touchés directement par les changements d'infrastructures. Les deux études de cas de ce rapport n'incluent que les modes touchées par le SRB Pie-IX et excluent le vélo et la marche. Si ces modes avaient été considérés dans l'analyse, l'IAM serait plus élevé au niveau régional, plus particulièrement dans les zones où les parts modales du vélo et de la marche sont élevées (comme Rosemont–La Petite-Patrie, le Plateau-Mont-Royal et Ville-Marie).
- L'IAM et l'IAMP sont bien configurés pour inclure les futurs modes de déplacement, sachant que la micromobilité et la mobilité partagée deviennent viables et de plus en plus populaires.
- Lorsqu'elles sont disponibles, les projections de part modale peuvent être utilisées en remplacement des valeurs actuelles ou passées (par exemple, s'il est prévu qu'un nouvel investissement sur le réseau de transport – un nouveau projet de transport en commun

rapide ou un prolongement – modifie considérablement la part modale d'une région). Cela permettrait de mieux comprendre les impacts du projet à différents niveaux.

- Il est recommandé d'utiliser les données les plus récentes disponibles et si possible, de la même année que l'évaluation. La première étude de cas utilise des données démographiques de 2013, tandis que la seconde se base sur des données de 2016 provenant d'une autre source. Dans les deux cas, les valeurs de parts modales datent de 2018. Bien que ceci n'ait probablement pas causé d'énormes différences, il est préférable d'utiliser des données d'une même année si l'on veut générer des résultats d'accessibilité plus précis.
- Le degré de précision de l'IAM et de l'IAMP augmente plus les sous-unités géographiques d'analyse sont petites. En effet, les temps de parcours d'un centroïde à un autre seront plus précis pour un plus grand nombre de personnes vivant dans les zones. Cette logique peut aussi être appliquée aux parts modales : plus les données sont désagrégées, plus les résultats d'accessibilité seront précis. Le cas d'étude présenté précédemment démontre justement que l'utilisation des parts modales des secteurs municipaux mène à des différences non négligeables dans les valeurs d'IAM comparativement avec l'utilisation des parts modales régionales. Ce dernier cas pourrait entraîner une sous-estimation de l'accessibilité dans les zones dominées par l'automobile.
- L'analyse des emplois et de la population d'une région devrait être attentive aux éléments se trouvant à l'extérieur des frontières. L'une des limites des modèles présentés ici est qu'ils traitent une région comme un système fermé, faisant fi des interactions réelles entre les zones à proximité. Des endroits comme Granby, Drummondville, Sorel-Tracy et Cornwall se trouvant à l'extérieur de la région métropolitaine, ils sont exclus de l'analyse malgré la distance relativement courte qui les sépare de la région. Cela conduit à une sous-estimation de l'IAM en périphérie de la région, qu'il ne faut pas négliger lors de la description et de l'interprétation des résultats.

7.4 Utilisation future de l'IAM et de l'IAMP

L'IAM et l'IAMP sont bien adaptés à l'évaluation de scénarios dans les projets de transport. Ils peuvent en effet déterminer comment les temps de parcours et l'accessibilité moyenne pondérée par la part modale évoluent avec la mise en œuvre de nouvelles infrastructures. D'autres intrants que les temps de trajet peuvent être modifiés dans les modèles, ce qui rend l'IAM et l'IAMP polyvalents et utiles. Ils peuvent non seulement l'être dans la planification à court et long terme des transports, mais aussi dans celles de l'aménagement du territoire et des politiques publiques.

Apporter des changements aux infrastructures de transport et comparer les scénarios avant et après n'est pas la seule application des indicateurs. Une évaluation peut être effectuée à la suite de l'évolution des parts modales, même si aucun changement n'est apporté à l'infrastructure. Cette possibilité peut être particulièrement utile si l'on veut étudier l'impact des parts modales sur l'accessibilité réelle. De nombreux plans de transport municipaux comprennent des objectifs de parts modales pour réduire la congestion et aider à atteindre les objectifs en matière de changement climatique et de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Ces objectifs

comprennent généralement un transfert modal de l'auto solo vers le transport en commun, la marche, le vélo et le covoiturage. Bien qu'il soit important de fixer de tels objectifs, il convient de reconnaître que les investissements d'infrastructure appropriés sont nécessaires. Sans ces investissements pour soutenir une plus grande mobilité via ces modes alternatifs, l'atteinte des objectifs se fera aux dépens de l'accessibilité. En évaluant les impacts de variations des parts modales sur l'IAM, les coûts d'une réduction de l'accessibilité peuvent s'ajouter aux analyses avantages-coûts. Cela permettrait d'identifier les investissements nécessaires pour améliorer la mobilité et l'accessibilité à l'emploi via les modes durables.

Une autre évaluation de scénario dans laquelle l'IAM et l'IAMP peuvent être utilisés est l'évolution de l'utilisation du sol. Lorsque les villes ou les provinces créent ou mettent à jour des plans de croissance ou des règlements de zonage, elles modélisent souvent l'impact sur l'utilisation du sol. Parfois, ces changements sont modélisés pour inclure les changements et le nombre d'emplois et de lieux de résidence dans des sous-unités d'analyse spécifiques. Dans ces cas-là, l'IAM et l'IAMP peuvent être calculés avec les nouveaux chiffres. Cela permettrait d'évaluer comment l'accessibilité à l'emploi changera à la suite des modifications d'utilisation du sol et des changements subséquents à l'emploi et aux lieux de résidence.

Enfin, ces concepts peuvent être utilisés dans un scénario où une combinaison des entrées est modifiée, comme dans un modèle de croissance globale ou de planification à long terme. Des changements sont à anticiper tout au long de la durée de vie de l'infrastructure et selon les flux de trafic, l'évolution des parts modales, des emplacements et densités d'emploi et des lieux de résidence. L'impact sur l'accessibilité de fluctuations prévues ou souhaitées à ces intrants pourrait être déterminé afin de projeter l'accessibilité multimodale à l'emploi dans le temps en fonction des évolutions anticipées d'un territoire. Cela en fait un outil extrêmement utile pour l'évaluation de plans.

7.5 Application de l'IAM par catégorie d'emploi

L'IAM pourrait également être affiné à des secteurs d'emploi spécifiques afin de permettre la mesure de l'accessibilité à certains types d'emploi ou niveaux de salaire. Cette possibilité d'application est supportée dans la présente section à l'aide d'un exemple : celui du calcul d'accessibilité aux emplois à faible salaire réalisé à partir des deux méthodes détaillées ci-dessous.

La première méthode consiste à identifier et classer les zones géographiques d'emplois à faible salaire puis à mesurer l'accessibilité multimodale à ces zones avec comme origines les lieux de résidence des travailleurs à faible revenu. Cela pourrait être effectué à l'aide des données du Consortium par secteur industriel. Des critères de sélection devraient être définis afin de caractériser une zone géographique comme étant une zone d'emploi à faible salaire ou une zone résidentielle à faible revenu. En ce qui concerne les zones d'emplois à faible salaire, leur identification pourrait se baser sur des seuils de nombre minimum d'opportunités d'emploi et de salaire médian maximum au sein de la zone. Quant aux zones résidentielles à faible revenu, des

critères potentiels seraient le nombre de ménages résidant dans la zone ainsi que le revenu médian maximal de ces ménages.

Il serait souhaitable de connaître les comportements de déplacement des résidents à faible revenu des zones identifiées, car leur choix modal pourrait être influencé par les coûts associés à la possession d'une automobile. En cas de manque de données sur la part modale de ces groupes, les données au niveau de la zone d'analyse complète pourraient être utilisées. La méthodologie de base pour le calcul de l'IAM, présentée dans les études de cas de ce rapport, serait applicable : les emplois accessibles en 60 minutes par chaque mode et à partir de chaque origine sont pondérés en fonction des parts modales et additionnés.

La deuxième méthode proposée se concentre sur l'accessibilité aux emplois plutôt que sur l'accessibilité aux zones d'emplois. Cela nécessite toutefois de connaître l'emplacement et les salaires de tous les emplois dans les zones géographiques ciblées. Si cette information est connue, les emplois dont les salaires dépassent un certain seuil maximal peuvent être exclus pour ne conserver que les emplois considérés à faible salaire. Des données d'enquête, potentiellement celles des enquêtes origine-destination, pourraient être agrégées afin d'obtenir l'information souhaitée : plus précisément, en reliant les zones de destination des travailleurs de l'enquête avec les fourchettes salariales déclarées. L'accessibilité multimodale à ces emplois peut ensuite être calculée en pondérant à partir des parts modales des unités géographiques d'analyse.

Chacune de ces méthodes permettrait d'illustrer de manière différente l'accessibilité aux emplois à faible revenu. L'avantage de la première est qu'elle met l'accent sur le lien entre les zones résidentielles à faible revenu et celles d'emploi à faible salaire. Bien qu'elle ne considère pas les emplois et les travailleurs individuellement, elle permet d'identifier les endroits où la proportion d'emplois à faible revenu est élevée et ceux accueillant une proportion élevée de travailleurs à faible revenu. Cela facilite l'analyse d'accessibilité entre les zones les plus défavorisées et leurs destinations d'emploi les plus probables. Ces liens pourraient être confirmés en les comparant aux données des enquêtes origine-destination.

L'avantage de la deuxième méthode est qu'elle crée une mesure d'opportunité cumulative plus typique aux emplois à faible salaire. Plutôt que de cibler les zones résidentielles à faible revenu, elle permet d'analyser l'accessibilité aux emplois à faible salaire à partir de toute origine. Cette approche reconnaît donc que les zones à revenus moyens et élevés peuvent accueillir des résidents à faible revenu.

Dans les deux cas, l'IAM est recommandé comme mesure d'accessibilité, plutôt que l'IAMP. L'IAMP représentant un ratio entre le nombre d'emplois accessibles pondérés en fonction des parts modales et le nombre total d'emplois dans une région, il est moins adapté lorsque de sous-ensembles de types d'emplois sont ciblés. Les approches présentées pourraient être affinées grâce à des données plus fines ou obtenues via des enquêtes.

Cui et al. (2019) présentent une idée similaire en examinant la relation entre les temps de parcours en automobile et en TC et l'accessibilité aux origines et aux destinations. Deboosere et

El-Geneidy (2018) offrent un autre exemple, qui analyse spécifiquement l'accessibilité des travailleurs à faible revenu aux emplois à faible salaire. Si ce type d'application de l'IAMP est souhaité dans le futur, ces recherches constituent des références en termes de méthodologie.

7.6 Application de l'accessibilité multimodale à d'autres opportunités

Les mesures d'IAM et d'IAMP étant par définition adaptées au calcul d'accessibilité à l'emploi, il serait incorrect de les utiliser pour l'accessibilité à d'autres types d'opportunités. Cependant, calculer l'accessibilité multimodale à d'autres destinations que le travail pourrait être extrêmement pertinent. Les ajustements pour ce faire sont proposés ici, sur la base de deux exemples concrets.

Deux types de destinations non liées à l'emploi sont proposés : les magasins d'alimentation et les espaces verts. Dans les deux cas, une donnée fondamentale doit être connue : les parts modales des déplacements vers chaque type de destination. L'IAM et l'IAMP s'appuient sur les parts modales observées pour les trajets vers le travail, mais un individu peut avoir des habitudes de déplacement très différentes pour le magasinage ou les loisirs (Patterson & Farber, 2015). Si l'on suppose des parts modales connues pour ces destinations, des analyses similaires à celles réalisées dans le présent rapport pourraient être entreprises.

L'accessibilité aux épiceries est, comme l'indique la littérature, un sujet important et bien étudié (Paez et al., 2010). Le fait de pouvoir accéder à des aliments abordables et de bonne qualité est un élément caractérisant la qualité de vie d'un quartier. Dans le cas des épiceries, un seuil de temps de parcours de 20 minutes est plus approprié que celui de 60 minutes utilisé dans les études de cas précédentes. En pondérant le nombre de magasins d'alimentation par unité géographique avec les parts modales, les zones ayant une faible accessibilité aux épiceries pourraient être identifiées. Pour aller plus loin, les commerces pourraient être classifiés selon leur niveau de prix afin d'obtenir des résultats pour différents types de magasins d'alimentation : haut de gamme, ordinaires et à prix réduit. Aucune analyse intégrant plusieurs modes de transport pour l'évaluation de l'accessibilité aux magasins d'alimentation n'a été trouvée dans la littérature, ce qui suggère sa pertinence.

L'accessibilité aux espaces verts et aux parcs est également un critère important pour la qualité de vie (Xu et al., 2018, Yamu & Frankhauser, 2015) et l'équité et la justice sociales, car ces espaces influencent positivement le bien-être physique et mental d'une personne. Une approche multimodale pour l'analyse de l'accessibilité à ce type de destination serait similaire à celle proposée pour l'accessibilité aux épiceries : des pondérations basées sur les parts modales connues des déplacements vers ces destinations pourraient être appliquées aux zones géographiques, tandis que la superficie des espaces verts dans ces zones pourrait être additionnée. Le même seuil de temps de parcours de 20 minutes serait approprié pour ce type de destination. La quantité d'espaces verts accessibles par plusieurs modes serait alors calculée, révélant le niveau d'accessibilité des différentes zones géographiques. Les résultats pourraient être désagrégés par type d'espaces verts : espaces naturels, terrains de sport et parcs, tout en reconnaissant que tous les parcs ne sont pas équivalents. Les approches multimodales n'ayant

pas encore été appliquées lors d'études d'accessibilité aux parcs, la proposition précédente semble à propos.

7.7 Utilisation des concepts pour la définition d'objectifs en planification des transports

L'une des questions centrales soulevées par cette recherche concerne l'utilisation de l'IAMP proposé pour la définition d'objectifs ambitieux. Une discussion plus approfondie sur cette question est souhaitable. Nous pensons qu'un objectif quantitatif, une cible vers laquelle les praticiens et politiciens peuvent tendre serait de circonstance dans le domaine de la planification des transports. Compte tenu de la myriade d'avantages liés à l'augmentation de l'accessibilité et de la mobilité des travailleurs, cet objectif devrait être d'augmenter l'IAMP d'une ville le plus possible, afin qu'il atteigne une valeur de « 1 ». Tout emploi devrait être accessible en moins d'une heure pour tout individu, et ce, par tous les modes de transport.

Il est bien sûr important de prendre en considération le contexte de chaque ville. Il serait impossible pour toutes les villes d'atteindre cet objectif. Les régions avec des empreintes géographiques plus étendues, où il est physiquement impossible de rendre tous les emplois accessibles en moins d'une heure par tous les modes de transport, devraient simplement se concentrer sur l'augmentation de l'IAMP plutôt que sur l'atteinte d'un objectif numérique spécifique (valeur de « 1 »). L'augmentation de l'IAMP devrait se faire de manière équitable en évaluant les changements apportés aux systèmes de transport et à l'aménagement du territoire en fonction de leurs impacts sur la population dont l'accessibilité à l'emploi est la plus faible. Trois façons d'augmenter l'IAMP à une échelle municipale sont proposées : améliorer la mobilité des résidents, augmenter le nombre de résidences dans les zones à forte accessibilité et augmenter le nombre d'emplois dans les zones facilement accessibles en transport en commun.

La première des trois étapes vise à réduire les temps de trajet pour tous les modes de transport vers le plus d'opportunités possibles. Cela peut être réalisé en construisant de nouvelles infrastructures de transport en commun, comme démontré dans les autres sections de ce rapport. Le prolongement des infrastructures actuelles, comme celui de la ligne bleue du métro de Montréal, représente une autre manière d'améliorer les temps de parcours. Enfin, des mesures prioritaires au transport en commun, telles que les voies d'évitement, la signalisation prioritaire et les voies réservées aux autobus, pourraient influencer positivement les temps de parcours.

Il est également nécessaire d'améliorer les déplacements à la marche, malgré la lenteur de ce mode par rapport aux autres. En effet, ces déplacements contribuent à améliorer les niveaux d'accessibilité dans les zones à forte densité d'emplois. De plus, tous les déplacements en transport en commun et de nombreux déplacements en voiture commencent et se terminent par la marche, ce qui démontre l'importance d'installations piétonnes de qualité. Des trottoirs et espaces piétonniers plus larges dans les zones à forte densité d'emploi et de population réduisent les conflits et améliorent les temps de parcours piétons.

L'accessibilité à vélo peut être elle aussi améliorée, selon trois axes principaux : de nouvelles infrastructures cyclables, l'expansion des services de vélos en libre-service et l'adoption des vélos électriques. Comme pour les infrastructures piétonnes, le développement des équipements cyclables doit se concentrer dans les zones où le potentiel d'amélioration de l'accessibilité est le plus élevé. La création de ces nouvelles infrastructures ne doit pas allonger le temps de parcours des autres modes de transport afin d'éviter qu'elle ne se traduise par une augmentation nette des temps de trajet multimodaux. Des moyens pour y arriver pourraient être d'implanter des voies cyclables sur des stationnements ou des rues locales, ce qui aurait moins d'impact sur la circulation et offrirait davantage de confort aux cyclistes que sur les artères plus fréquentées. L'expansion des vélos en libre-service et la multiplication de leurs stations devraient permettre des distances à pied plus courtes aux extrémités du trajet, améliorant ainsi le temps de parcours total de ces déplacements. L'amélioration des temps de parcours à vélo pourrait enfin passer par l'adoption généralisée des vélos électriques. En permettant des vitesses plus élevées grâce à leur batterie, ces vélos réduisent la durée des trajets et augmentent le nombre d'opportunités accessibles.

Enfin, la question d'améliorer les temps de parcours à voiture doit être soigneusement étudiée pour répondre aux objectifs de développement durable tout en considérant que les voitures ne disparaîtront pas de sitôt dans les villes d'Amérique du Nord. Malgré le caractère moins durable de ce mode comparativement aux modes collectifs et actifs, garantir des temps de trajet acceptables est important pour ceux qui en dépendent pour se rendre au travail en raison de la forme urbaine régionale. Comme le relève la littérature sur l'inadéquation géographique, une bonne accessibilité à voiture s'agit d'une considération importante en termes d'équité. Toutefois, comme il est souvent difficile et trop contraignant d'améliorer la capacité des routes existantes dans les villes, la réponse ne réside peut-être pas dans l'amélioration des temps de parcours en voiture, mais plutôt dans leur statu quo. Existe-t-il un équilibre entre le temps de parcours des individus restreints à utiliser la voiture et l'atteinte des objectifs de transport durable ainsi que l'amélioration des temps de parcours des autres modes de transport? L'objectif devrait être de réduire les temps de trajet des modes de transport durables sans diminution nette de l'accessibilité multimodale.

Outre les systèmes de transport, l'aménagement stratégique du territoire contribue à l'amélioration de l'IAM et de l'IAMP d'une ville. Un exemple de bonne pratique est l'intensification des unités résidentielles dans les zones à forte accessibilité en transport en commun ou actifs, où les infrastructures de transport ont la capacité de gérer la croissance sans impact sur les temps de parcours. Ce développement résidentiel soutient les transports collectifs et facilite les déplacements sans voiture, ce qui résulte en une bonne accessibilité régionale globale, indépendamment des changements apportés aux systèmes de transport.

Au contraire, le développement résidentiel dans les quartiers dépendants à l'automobile, sans modification des systèmes de transport, entraîne souvent de la congestion, allonge les temps de parcours et réduit l'accessibilité globale. Une option pour ces zones pourrait être de développer jusqu'à ce que les infrastructures de transport approchent leur capacité.

Une synergie peut être atteinte lorsque l'aménagement du territoire est planifié conjointement avec les réseaux de transport. Cette démarche est généralement entreprise par les autorités municipales ou régionales chargées de l'aménagement du territoire afin de soutenir les nouveaux investissements dans les transports en commun et d'en maximiser le potentiel. Dans le cas du SRB Pie-IX, et en gardant à l'esprit l'objectif de densifier les zones les plus accessibles, des modifications au zonage et à la désignation des terrains à proximité des stations seraient intéressantes. Les zones à forte accessibilité en transports collectifs et actifs au sud du corridor pourraient être densifiées.

Le nombre et la répartition spatiale des emplois constituent une autre donnée d'entrée de l'IAM et de l'IAMP. Pour maximiser les indicateurs, les emplois doivent être situés dans des zones très accessibles par tous les modes de transport. Ici encore, la question des voitures et des limites en termes de capacité doit être adressée. Un nombre trop élevé d'emplois dans des quartiers orientés vers la voiture finira par créer de la congestion et réduire le nombre de personnes pouvant accéder aux opportunités. Bien que les pôles d'emploi doivent être accessibles par tous les modes de transport, la création d'emplois au sein de zones accessibles par des modes durables doit être encouragée. Cela permettra de minimiser les effets sur les temps de parcours en voiture et sur l'accessibilité à voiture, tout en préservant la possibilité de conduire pour ceux qui n'ont pas le choix. Les zones d'emploi du secteur tertiaire, accueillant les commerces de détail et les bureaux, devraient être situées à proximité de réseaux de transport en commun efficaces et aménagées de façon à améliorer les déplacements à pied et à vélo. Cela évitera de générer davantage de déplacements en voiture. Pour une ville comme Montréal, cela se traduirait par le soutien à la création d'emplois à proximité des transports en commun avec une emphase sur le centre-ville, où les emplois sont déjà nombreux. Un projet comme celui du SRB Pie-IX pourrait conduire à des plans d'augmentation des emplois autour des stations, particulièrement celles avec une correspondance aux lignes verte et bleue du métro. Cela serait bénéfique non seulement aux résidents des secteurs, qui auraient un bon accès à ces nouveaux emplois, mais également aux personnes habitant le long des lignes de métro.

Le couplage des changements des systèmes de transport avec ceux des densités résidentielles et d'emploi contribuera à l'atteinte de l'objectif d'offrir des services accessibles à tous. Augmenter l'IAM et l'IAMP pour tous et s'assurer que les modifications apportées aux systèmes de transport et aux zones résidentielles et d'emploi profitent à ceux qui ont les niveaux d'accessibilité multimodale les plus faibles représentent un objectif clair à atteindre pour améliorer l'accès à l'emploi, la mobilité de la main-d'œuvre et faciliter les déplacements durables, tout en tenant compte de la croissance démographique.

8 Conclusion

Ce rapport formule de nouvelles mesures d'accessibilité permettant de calculer le nombre d'emplois accessibles en intégrant plusieurs modes de déplacement. Des valeurs d'accessibilité multimodale pondérées en fonction de la population et de la part modale des déplacements sont produites. La méthode proposée diffère de la façon dont l'accessibilité est généralement calculée et ouvre de nouvelles voies d'exploration dans la planification de l'accessibilité et des transports. Un historique complet du concept d'accessibilité, la dérivation des formules et de la méthodologie proposée sont fournis.

Les nouvelles méthodes innovantes sont testées dans deux études de cas. Dans la première, les impacts de l'implantation du SRB Pie-IX dans l'est de Montréal sur l'accessibilité multimodale de la région du Grand Montréal et du corridor Pie-IX sont estimés. La deuxième étude de cas utilise une méthodologie un peu différente pour examiner comment ces changements d'accessibilité se traduisent à travers différents groupes sociaux et économiques ainsi que dans les arrondissements et les quartiers situés au long du SRB Pie-IX. La première étude de cas révèle que l'accessibilité multimodale augmente légèrement dans toute la région, mais de manière plus significative le long du corridor du SRB. Elle révèle également que les gains d'accessibilité sont proportionnellement plus élevés au seuil de 30 et 45 minutes qu'à celui de 60 minutes.

La deuxième étude de cas démontre que le projet du SRB Pie-IX a un effet positif sur les populations plus désavantagées, car les arrondissements adjacents qui en bénéficient le plus ont tendance à être surreprésentés par des populations marginalisées. Elle révèle également que les quintiles de revenus les plus faibles jouissent le plus des gains d'accessibilité du projet. Les deux études permettent de conclure que si certaines zones connaissent de légères diminutions d'accessibilité au seuil de 60 minutes, la majorité des zones étudiées sont touchées par des augmentations importantes et significatives de l'accessibilité multimodale.

L'IAM et l'IAMP sont des outils qui peuvent être utiles dans l'évaluation de scénarios pour une planification plus précise et permettant de mieux comprendre les compromis en matière d'accessibilité. Ils peuvent également s'appliquer aux plans de transport à long terme pour évaluer les changements d'accessibilité liés à plusieurs facteurs, tels que les changements prévus dans la part modale de transport, dans les lieux de travail ou de résidence ou dans l'infrastructure de transport.

9 Références

- Alam, B. M. (2009). Transit Accessibility to Jobs and Employment Prospects of Welfare Recipients without Cars: A Study of Broward County, Florida, Using Geographic Information Systems and an Econometric Model. *Transportation Research Record*, 2110(1), 78–86. <https://doi.org/10.3141/2110-10>
- Allen, J., & Farber, S. (2019). Benchmarking Transport Equity in the Greater Toronto and Hamilton Area (GTHA). *Findings*, 9934. <https://doi.org/10.32866/9934>
- Antipova, A. (2020). Analysis of Commuting Distances of Low-Income Workers in Memphis Metropolitan Area, TN. *Sustainability*, 12(3), 1209. <https://doi.org/10.3390/su12031209>
- Atuesta, L. H., Ibarra-Olivo, J. E., Lozano-Gracia, N., & Deichmann, U. (2018). Access to employment and property values in Mexico. *Regional Science and Urban Economics*, 70, 142–154. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2018.03.005>
- Autorité régionale de transport métropolitain. *Enquête Origine Destination 2018*. 2020
- Bederman, S. H., & Adams J. S. (1974). Job Accessibility and Underemployment. *Annals of the Association of American Geographers*, 64(3), 378-386. <https://www.jstor.org/stable/2562358>
- Bertaud, A. (2018). *Order Without Design: How Markets Shape Cities*. MIT Press.
- Borja, K., & Dieringer, S. (2019). Availability of affordable healthy food in Hillsborough County, Florida. *Journal of Public Affairs*, 19(3). <https://doi.org/10.1002/pa.1866>
- Burns, L. D., & Golob, T. F. (1976). The role of accessibility in basic transportation choice behavior. *Transportation*, 5, 175-198.
- Cascetta, E., Carteni A, & Montanino, M. (2013). A New Measure of Accessibility Based on Perceived Opportunities. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 87, 117–132. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.598>
- Cascetta, E., Carteni A, & Montanino, M. (2016). A behavioral model of accessibility based on the number of available opportunities. *Journal of Transport Geography*, 51, 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.11.002>
- Casey, R., Chaix, B., Weber, C., Schweitzer, B., Charreire, H., Salze, P., Badariotti, D., Banos, A., Oppert, J. M., & Simon, C. (2012). Spatial accessibility to physical activity facilities and to food outlets and overweight in French youth. *International Journal of Obesity (2005)*, 36(7), 914–9. <https://doi.org/10.1038/ijo.2012.10>

- Cervero, R. (1995). Why Go Anywhere? *Scientific American*, 273(3), 118–120. JSTOR.
- Cervero, R. (2005). *Accessible Cities and Regions: A Framework for Sustainable Transport and Urbanism in the 21st Century* (UCB-ITS-VWP-2005-3; p. 44). UC Berkley Center for Future Urban Transport. http://www.reconnectingamerica.org/assets/Uploads/2005_ucb_its_vwp.pdf
- Cho, S., & Choi, K. (2020). Transport accessibility and economic growth: Implications for sustainable transport infrastructure investments. *International Journal of Sustainable Transportation*, 1–12. <https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1774946>
- Chung, C., Myers, S. L., & Saunders, L. (2001). Racial differences in transportation access to employment in Chicago and Los Angeles, 1980 and 1990. *The American Economic Review*, 91(2), 174–177.
- Cui B., Boisjoly G., El-Geneidy A., Levinson D. (2019). Accessibility and the journey to work through the lens of equity. *Journal of Transport Geography*, 74, 269-277.
- Deboosere, R., Boisjoly, G., & El-Geneidy, A. Understanding the relationship between changes in accessibility to jobs, income and unemployment in Toronto, Canada. Paper presented at the 97th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., USA
- Deboosere, R., & El-Geneidy, A. (2018). Evaluating equity and accessibility to jobs by public transport across Canada. *Journal of Transport Geography*, 73, 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.10.006>
- Ewing, R. (1995). Measuring Transportation Performance. *Transportation Quarterly*, 91–104.
- Geurs, T. K., & van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127-140. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005>
- Giuliano, G., Gordon, P., Pan, Q., & Park, J. Y. (2010). Accessibility and residential land values: Some tests with new measures. *Urban Studies*, 47(14), 3103–3130.
- Guagliardo, M. F., Ronzio, C. R., Cheung, I., Chacko, E., & Joseph, J. G. (2004). Physician accessibility: an urban case study of pediatric providers. *Health & Place*, 10(3), 273-283. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2003.01.001>
- Guan, C., & Peiser, R. (2018). Accessibility, urban form, and property value: A study of Pudong, Shanghai. *Journal of Transport and Land Use*, 11(1). <https://doi.org/10.5198/jtlu.2018.1318>

- Guo, S., Song, C., Pei, T., Liu, Y., Ma, T., Du, Y., Chen, J., Fan, Z., Tang, X., Peng, Y., & Wang, Y. (2019). Accessibility to urban parks for elderly residents: Perspectives from mobile phone data. *Landscape and Urban Planning*, 191. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103642>
- Haynes, R., Lovett, A., & Sünnerberg G. (2003). Potential Accessibility, Travel Time, and Consumer Choice: Geographical Variations in General Medical Practice Registrations in Eastern England. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 35(10), 1733–1750. <https://doi.org/10.1068/a35165>
- Hu, L. (2017). Job accessibility and employment outcomes: which income groups benefit the most? *Transportation : Planning - Policy - Research - Practice*, 44(6), 1421–1443. <https://doi.org/10.1007/s11116-016-9708-4>
- Ingram, D. R. (1971). The concept of accessibility: a search for an operational form. *Regional Studies*, 5(2), 101–107. <https://doi.org/10.1080/09595237100185131>
- Jones, A. P., Haynes, R., Sauerzapf, V., Crawford, S. M., Zhao, H., & Forman, D. (2008). Travel times to health care and survival from cancers in Northern England. *European Journal of Cancer*, 44(2), 269–274. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2007.07.028>
- Kain, J. (1962). The journey-to-work as a determinant of residential location. *Papers of the Regional Science Association*, 9(1), 137-160.
- Kelbaugh, D. (1997). The new urbanism. *Journal of Architectural Education (1984-)*, 51(2), 142–144.
- Lembcke, A. C., & Menon, C. (2017). *The impact of road infrastructure investment on incumbent firms in Korea* (OECD Regional Development Working Papers No. 2017/01; OECD Regional Development Working Papers, Vol. 2017/01). <https://doi.org/10.1787/e72fdcb6-en>
- Li, X., Chen, H., Shi, Y., & Shi, F. (2019). Transportation Equity in China: Does Commuting Time Matter? *Sustainability* 11(21), 5884. <https://doi.org/10.3390/su11215884>
- Liu, D., Kwan, M.-P., & Kan, Z. (2021). Analysis of urban green space accessibility and distribution inequity in the City of Chicago. *Urban Forestry & Urban Greening*, 59. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127029>
- Luo, W, & Qi, Y. (2009). An enhanced two-step floating catchment area (E2SFCA) method for measuring spatial accessibility to primary care physicians. *Health & Place*, 15(4), 1100-1107. doi:10.1016/j.healthplace.2009.06.002
- Matas, A., Raymond, J.-L., & Roig, J.-L. (2010). Job accessibility and female employment probability: The cases of Barcelona and Madrid. *Urban Studies*, 47(4), 769–787.

- Mattson, J. (2011). Transportation, distance, and health care utilization for older adults in rural and small urban areas. *Transportation Research Record*, 2265(1), 192–199. <https://doi.org/10.3141/2265-22>
- McLafferty, S., & Preston, V. (2019). Who has long commute times to low-wage jobs? Gender, race, and access to work in the New York Region. *Urban Geography*, 40(9), 1270-1290. <http://doi.org/10.1080/02723638.2019.1577091>
- Michael, I., & David, L. (2017). Accessibility dynamics and location premia: Do land values follow accessibility changes? *Urban Studies*, 54(2), 364–381. <https://doi.org/10.1177/0042098015595012>
- Miller, H. J. (1991). Modelling accessibility using space-time prism concepts within geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, 5(3), 287–301. <https://doi.org/10.1080/02693799108927856>
- Miller, H. J. (1999). Measuring space-time accessibility benefits within transportation networks: basic theory and computational procedures. *Geographical Analysis*, 31(1), 1–26. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1999.tb00408.x>
- Morris, J. M., Dumble, P. L., & Wigan, M. R. (1979). Accessibility Indicators for Transport Planning. *Transportation Research Part A*, 13(2), 91-109. [https://doi.org/10.1016/0191-2607\(79\)90012-8](https://doi.org/10.1016/0191-2607(79)90012-8)
- Mulley, C. (2014). Accessibility and residential land value uplift: Identifying spatial variations in the accessibility impacts of a bus transitway. *Urban Studies*, 51(8), 1707–1724.
- Munshi, T. (2020). Accessibility, infrastructure provision and residential land value: Modelling the relation using geographic weighted regression in the city of Rajkot, India. *Sustainability*, 12(20), 8615–8615. <https://doi.org/10.3390/su12208615>
- Neutens, T. (2015). Accessibility, equity and health care: review and research directions for transport geographers. *Journal of Transport Geography*, 43, 14–27. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.12.006>
- Owen, A., Murphy, B., & Levinson, D. (2017). Access Across America: Transit 2016. *Center for Transportation Studies*, University of Minnesota. <http://cts-d8resmod-prd.oit.umn.edu:8080/pdf/cts-17-07.pdf>
- Paez, A., Morency, C., Mercado, R., Farber, S., & Roorda, M. (2010). Accessibility to health care facilities in montreal island: an application of relative accessibility indicators from the perspective of senior and non-senior residents. *International Journal of Health Geographics*, 9(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-9-52>

- Páez Antonio, Mercado, R. G., Farber, S., Morency, C., & Roorda, M. (2010). Relative Accessibility Deprivation Indicators for Urban Settings: Definitions and Application to Food Deserts in Montreal. *Urban Studies*, 47(7), 1415–1438.
- Paez, A., Farber, S., Mercado, R., Roorda, M., & Morency, C. (2013). Jobs and the single parent: An analysis of accessibility to employment in Toronto. *Urban Geography*, 34(6), 815–842. <https://doi.org/10.1080/02723638.2013.778600>
- Pagano, E., Di Cuonzo, D., Bona, C., Baldi, I., Gabriele, P., Ricardi, U., Rotta, P., Bertetto, O., Appiano, S., Merletti, F., Segnan, N., & Ciccone, G. (2007). Accessibility as a major determinant of radiotherapy underutilization: a population based study. *Health Policy*, 80(3), 483–491. <https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2006.05.006>
- Parks, V. (2009). Access to work: the effects of spatial and social accessibility on unemployment for native-born black and immigrant women in Los Angeles. *Economic Geography*, 80(2), 141–172. <https://doi.org/10.1111/j.1944-8287.2004.tb00305.x>
- Patterson, Z., & Farber, S. (2015). Potential path areas and activity spaces in application: A review. *Transport Reviews*, 35(6), 679–700.
- Patterson, Z., Bensmihen, A., & Hermanson, G. (2021, January). *The Multimodal Accessibility Benchmark (MAB) in Transportation Planning* [Poster Presentation]. Transportation Research Board, Washington, DC.
- Preston, V., McLafferty, S., & Liu, X. F. (1998). Geographical barriers to employment for American-born and immigrant workers. *Urban Studies*, 35(3), 529–545. <https://doi.org/10.1080/0042098984899>
- Reyes, M., Páez, A., & Morency, C. (2014). Walking accessibility to urban parks by children: A case study of Montreal. *Landscape and Urban Planning*, 125, 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.02.002>
- Rojas, C., Páez, A., Barbosa, O., & Carrasco, J. (2016). Accessibility to urban green spaces in Chilean cities using adaptive thresholds. *Journal of Transport Geography*, 57, 227–240. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.10.012>
- Schipperijn, J., Cerin, E., Adams, M. A., Reis, R., Smith, G., Cain, K., Christiansen, L. B., Dyck, D. van, Gidlow, C., Frank, L. D., Mitáš Josef, Pratt, M., Salvo, D., Schofield, G., & Sallis, J. F. (2017). Access to parks and physical activity: An eight country comparison. *Urban Forestry & Urban Greening*, 27, 253–263. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.08.010>

- Schuurman, N., Crooks, V. A., & Berube, M. (2010). Measuring potential spatial access to primary health care physicians using a modified gravity model. *Canadian Geographer*, 54(1), 29–45. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.2009.00301.x>
- Shaw, H. (2012). Access to healthy food in Nantes, France. *British Food Journal*, 114(2), 224–238.
- Stegman, M. (1969). Accessibility models and residential location. *Journal of the American Institute of Planners*, 35(1), 22-29.
- Stewart, J.Q. (1948) Demographic gravitation: evidence and applications. *Sociometry*. 1948 Feb 1;11(1/2):31-58.
- Turner, C. (1972). A Model Framework for Transportation and Community Plan Analysis. *Journal of the American Institute of Planners*, 38(5), 325-331.
- Vracarevic, B. (2019). Space, agglomeration economies and urban development. *Glasnik Srpskog Geografskog Drustva*, 99(2), 79–98. <https://doi.org/10.2298/GSGD1902079V>
- Wachs, M, & Kumagai, T. G. (1973). Physical accessibility as a social indicator. *Socio-Economic Planning Sciences*, 7(5), 437-456.
- Waity, J. F. (2016). Spatial Inequality in Access to Food Assistance in Indiana. *Sociological Inquiry*, 86(1), 103–126. <https://doi.org/10.1111/soin.12098>
- Walker, R. E., Block, J., & Kawachi, I. (2014). The spatial accessibility of fast food restaurants and convenience stores in relation to neighborhood schools. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 7(2), 169–182. <https://doi.org/10.1007/s12061-013-9095-6>
- Wang, F., McLafferty, S., Escamilla, V., & Luo, L. (2008). Late-Stage Breast Cancer Diagnosis and Health Care Access in Illinois. *The Professional geographer: the journal of the Association of American Geographers*, 60(1), 54–69. <https://doi.org/10.1080/00330120701724087>
- Xu, C., Haase, D., Pribadi, D. O., & Pauleit, S. (2018). Spatial variation of green space equity and its relation with urban dynamics: A case study in the region of Munich. *Ecological Indicators*, 93, 512–523. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.024>
- Yamu, C., & Frankhauser, P. (2015). Spatial accessibility to amenities, natural areas and urban green spaces: using a multiscale, multifractal simulation model for managing urban sprawl. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 42, 1054-1078. <https://doi.org/10.1068/b130171p>