

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

**L'ACCESSIBILITÉ EN TRANSPORT : MÉTHODES ET INDICATEURS**

AUDREY GODIN

DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION  
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES  
(GÉNIE CIVIL)

AVRIL 2012

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé:

L'ACCESSIBILITÉ EN TRANSPORT : MÉTHODES ET INDICATEURS

Présenté par : GODIN Audrey

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

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

M. TRÉPANIÉ Martin, Ph.D., président

Mme MORENCY Catherine, Ph.D., membre et directeur de recherche

M. BERGERON Daniel, M.Sc.A., membre

## REMERCIEMENTS

Par la présente, je souhaite remercier tous ceux qui m'ont accompagnée dans la rédaction de ce mémoire. Un grand merci à mon mari Sven qui m'a encouragée, avec amour, dans mes démarches depuis le commencement. L'équipe de recherche, dont Hubert Verreault, Louiselle Sioui et Pierre-Léo Bourbonnais, a grandement contribué à l'avancement de mes travaux. Merci à Catherine Morency pour ses idées et les diverses opportunités qu'elle m'a offertes.

"La crainte de l'Éternel est le commencement de la science". La Bible, Proverbe 1:7.

Merci

## RÉSUMÉ

De nos jours, les indicateurs, quel que soit le type, sont largement utilisés par les planificateurs urbains. Ceux-ci sont des outils clés permettant de décrire l'état des lieux, visualiser l'impact d'investissements et de politiques ou établir des cibles à différents horizons. Dans le domaine du transport, plusieurs indicateurs sont utilisés tels que part modale des différents modes, consommation d'essence, couverture des réseaux de transport, kilométrage parcouru, etc. Ce mémoire s'intéresse particulièrement aux indicateurs d'accessibilité. Une définition classique de l'accessibilité est la facilité avec laquelle on accède à une activité à partir d'un lieu donné et d'un mode (Dalvi et Martin 1976). Or, deux problématiques sont soulevées quant aux indicateurs d'accessibilité : l'ambiguïté entourant la définition de l'accessibilité et la difficulté de proposer des indicateurs d'accessibilité adéquats. Les indicateurs existants sont multiples. Or, peu ont la capacité d'évaluer la variabilité de l'offre de service en fonction de l'heure de la journée, du type de jour et de la localisation, ou encore d'évaluer la compétitivité entre les modes. De plus, les nouvelles technologies et données disponibles permettent de faciliter le calcul d'indicateurs.

Ce mémoire propose donc d'abord une réflexion sur la typologie des indicateurs d'accessibilité. C'est-à-dire que ce mémoire propose une nouvelle classification des indicateurs sous quatre branches principales, les indicateurs individuels, universels, zonaux et ciblés. Cette typologie a également pour objectif d'orienter la proposition de méthodologie et d'indicateurs. Le mémoire poursuit avec la présentation de multiples méthodes, outils et indicateurs sensibles aux problématiques actuelles. La finalité est d'aider les planificateurs urbains à se doter d'indicateurs leur permettant d'évaluer l'accessibilité d'un lieu ou d'un territoire. Les indicateurs peuvent également servir à évaluer le gain potentiel d'accessibilité d'un projet ou à illustrer le gain suite à des modifications sur le réseau. Les indicateurs sont une représentation mathématique de l'accessibilité qui permet de quantifier le niveau d'accès d'un individu, d'un lieu, d'une zone ou d'un aménagement. Les indicateurs proposés sont basés sur diverses bases de données telles que les GTFS de la STM et les relevés GPS de Communauto, etc.

Un premier outil, orienté vers le transport collectif, a été développé à l'aide la combinaison des GTFS et des interfaces visuelles de Google API (carte Google). Celui-ci permet d'obtenir rapidement la superficie accessible à une personne en transport collectif à partir d'un

lieu défini vers tous les autres lieux accessibles en un espace de temps défini et une période définie (heure, jour et date). Un deuxième outil calcule des superficies d'accès, mais pour les modes automobile, vélo et marche. C'est le calculateur de trajet Google qui est utilisé comme calculateur de base. Les temps de parcours obtenus ne tiennent toutefois pas compte de la congestion (automobile), une méthode est donc proposée pour ajuster ces temps. Ainsi, une série d'indicateurs peut découler de ces outils, en commençant par un indicateur de compétitivité entre les modes, soit la superficie d'accès en TC en 15 minutes par rapport à celle en auto ou à la marche.

## ABSTRACT

Indicators are largely used by urban planners. They help to describe current situations, to visualize future impacts of investments and politics, or to establish targets or standards for actual or future horizons. In the transport domain, different indicators are often used like mode share, gas consumption, public transit network coverage, etc. This research focuses on accessibility measures. Accessibility is a central concept when one wants to assess the efficiency of the linkages between home/activity locations and transportation services. Ensuring good accessibility to activity opportunities is part of current sustainability visions and this involves the capacity to measure how transportation services and networks support mobility needs at various locations and in different time periods. Since individuals have diverse mobility needs, it is important to evaluate the level of accessibility using time and space varying measures to take into account differentials in travel conditions and transit supply.

This research offers some discussion over the various scales and types of accessibility measures as well as examples of measures estimated using scheduled-based transit supply. First, results of a measurement tool focusing on transit are presented. It was developed using visual interfaces from Google API and transit supply via GTFS (General transit feed specification) files made available by transit agencies. This tool allows to rapidly estimate the area that can be reached from a starting point within a specified travel time depending on time of departure and specific day of travel. Outputs can be visualized and used to estimate indicators (reachable area for instance). A second tool is also presented, this one allowing comparison of accessibility by car, walk and cycling using network-based paths. Again Google calculator is used to obtain times and distances to sets of destinations dispersed around the starting point and then to produce isochronic surfaces. Indicators and results are discussed.

## TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS .....	III
RÉSUMÉ.....	IV
ABSTRACT .....	VI
TABLE DES MATIÈRES .....	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	X
LISTE DES FIGURES.....	XII
LISTE DES ANNEXES.....	XVI
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS .....	XVII
INTRODUCTION.....	1
1.1    Contexte .....	3
1.2    Problématique.....	8
1.2.1    Typologie des indicateurs d’accessibilité.....	9
1.2.2    Comment mesurer l’accessibilité? .....	10
1.3    Objectifs de la recherche .....	11
CHAPITRE 2    REVUE DE LITTÉRATURE.....	14
2.1    Historique et définition de l’accessibilité.....	14
2.2    Mobilité et accessibilité.....	15
2.3    Les facteurs qui influencent l’accessibilité .....	16
2.3.1    Utilisation du sol .....	16
2.3.2    Forme urbaine .....	17
2.3.3    Qualité des alternatives de transport .....	17
2.4    Méthodologies et indicateurs conventionnels .....	17
2.4.1    Méthode d’opportunités .....	18

2.4.2	Infrastructure .....	21
2.4.3	Modèle d'utilité aléatoire .....	21
2.5	Méthodologies et indicateurs non conventionnels .....	21
2.5.1	Méthode des distances.....	22
2.5.2	Superficie d'accès (visualisation).....	23
2.5.3	Prisme espace-temps .....	23
2.5.4	Tortuosité .....	24
2.6	Méthode descriptive de la forme urbaine .....	24
2.6.1	Connexité .....	24
2.6.2	Connectivité .....	25
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE.....		26
3.1	Schéma conceptuel de l'accessibilité .....	26
3.1.1	Les données .....	28
3.1.2	Les pôles de l'accessibilité et méthode d'évaluation .....	28
3.1.3	Individuelle.....	29
3.1.4	Universelle .....	30
3.1.5	Zonale et ciblée .....	30
3.2	Structure de la méthodologie.....	38
3.2.1	Structure générale.....	38
3.2.2	Structure des chapitres 5, 6 et 7.....	41
CHAPITRE 4 SYSTÈME D'INFORMATION .....		42
4.1	Les données .....	42
4.1.1	Les données « General transit feed specification » (GTFS).....	42
4.1.2	Le recensement canadien .....	46

4.1.3	Enquête origine-destination 2008.....	46
4.1.4	Relevé GPS de Communauto .....	47
4.1.5	Limites des données .....	47
4.2	Territoire à l'étude.....	48
CHAPITRE 5 INDICATEURS STATIQUES .....		49
5.1	Mode : Transport collectif.....	49
5.1.1	Mesure d'opportunités : Fréquence de service à l'arrêt (Passages-arrêts) .....	50
CHAPITRE 6 INDICATEURS DYNAMIQUES .....		87
6.1	Mode : Transport collectif.....	88
6.1.1	Mesure de superficie : arrêts accessibles.....	88
6.1.2	Limites et perspectives des méthodes et indicateurs TC.....	102
6.2	Modes : Auto, vélo ou marche .....	103
6.2.1	Mesure de superficie : destinations multiples .....	104
6.2.2	Mesure de superficie : ajustement des temps de parcours automobile .....	119
6.2.3	Limites et perspectives des méthodes et indicateurs .....	121
CHAPITRE 7 INDICATEURS CINÉTIQUES.....		126
7.1	Réseaux (modes) : auto, vélo ou marche.....	126
7.1.1	Mesure de tortuosité .....	126
CONCLUSION .....		132
Contributions .....		132
Limites et perspectives .....		135
RÉFÉRENCES .....		139
ANNEXE .....		144

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Exemples d'application des indicateurs pondérés .....	20
Tableau 2. Objets relatifs au transport classés d'après les métaclasse de Trépanier (2002) .....	31
Tableau 3. Quantité, variété et flexibilité (temporelle ou spatiale).....	33
Tableau 4. Classification de l'indicateur SA30-auto .....	35
Tableau 5. Période des données GTFS de la STM.....	46
Tableau 6. Classification des indicateurs de performance globale du réseau .....	54
Tableau 7. Classification des indicateurs de visualisation de l'offre spatiale et temporelle .....	57
Tableau 8. Classification des indicateurs de densité de passages-arrêts par zone .....	62
Tableau 9. Classification des indicateurs de passages-arrêts par personne.....	66
Tableau 10. Résultats par intervalle de passages-arrêts par personne.....	67
Tableau 11. Classification de l'indicateur de population à moins de 500 m d'un arrêt haute fréquence .....	71
Tableau 12. Classification des indicateurs de densité désagrégée de passages-arrêts .....	76
Tableau 13. Équivalence de densité à nombre de passages-arrêts pour un S de 750 m.....	82
Tableau 14. Densité de passages-arrêts par ménage 2009 – 2010, 12h, semaine STM.....	82
Tableau 15. Densité de passages-arrêts par ménage et possession automobile 2009 – 2010, 12h, semaine STM.....	85
Tableau 16. Composante de programmation sur le web .....	90
Tableau 17. Paramètres de l'outil.....	91
Tableau 18. Classification des indicateurs de superficie d'accès TC .....	96
Tableau 19. Classification des indicateurs de superficie d'accès avec flexibilité spatiale .....	99
Tableau 20. Superficies, ménages et personnes à moins de 20 minutes de l'un des trois centres commerciaux .....	101
Tableau 21. Liste des champs de la table 1 .....	109

Tableau 22. Classification des indicateurs de courbe de temps de parcours (carte isochrone)....	113
Tableau 23. Classification de l'indicateur de superficie d'accès .....	116
Tableau 24. Superficies et rapport de superficie par mode .....	118
Tableau 25. Superficies et rapport de superficie par mode .....	121
Tableau 26. Classification de l'indicateur de tortuosité moyenne d'accès depuis un rayon de $X_m$ .....	127
Tableau 27. Densité de passages-arrêts par zone .....	148

## LISTE DES FIGURES

Figure 1. Structure du mémoire.....	2
Figure 2. Maillage routier, secteur Ville-Marie, Montréal (vieux quartiers) .....	4
Figure 3. Conséquences de l'arrivée de l'industrie automobile sur le transport et l'utilisation du sol .....	5
Figure 4. Maillage routier, Pierrefonds, Montréal (quartier récent).....	6
Figure 5. Évolution du nombre d'autos par ménage sur le territoire comparable de la grande région métropolitaine de Montréal, Enquête Origine-Destination 2008, faits saillants.....	7
Figure 6. Évolution du nombre de déplacements auto sur le territoire comparable de la grande région métropolitaine de Montréal, Enquête Origine-Destination 2008, faits saillants.....	7
Figure 7. Schéma conceptuel de l'accessibilité .....	27
Figure 8. Pôles de l'accessibilité.....	29
Figure 9. Schéma de classification des indicateurs par méthode statique.....	32
Figure 10. Schéma de classification des indicateurs, pour les objets de type dynamique .....	34
Figure 11. Schéma de classification des indicateurs, pour objets de type cinétique.....	36
Figure 12. Schéma explicatif de la tortuosité.....	36
Figure 13. Schéma de la méthodologie générale.....	39
Figure 14. Structure de découpage des chapitres 5, 6 et 7 .....	41
Figure 15. Pays, états ou provinces munis du système Google Transit par GTFS, février 2011 ...	43
Figure 16. Villes munies de GTFS en Europe, février 2011 .....	43
Figure 17. Schéma relationnel de la base de données GTFS .....	44
Figure 18. Structure du chapitre 5: INDICATEURS STATIQUES .....	49
Figure 19. Algorithme de construction de la base de données de passages-arrêts.....	52
Figure 20. Fichier résultat du nombre de passages par arrêt par tranche de 30 minutes (exemple) .....	53

Figure 21. Arrêts par nombre de passages-arrêts aux 30 minutes sur 24h et cumul des passages-arrêts .....	55
Figure 22. Arrêts par nombre de passages-arrêts aux 30 minutes sur 24h (%), semaine.....	55
Figure 23. Arrêts par nombre de passages-arrêts aux 30 minutes sur 24h et cumul des passages-arrêts .....	56
Figure 24. Passages-arrêts entre 8h00 et 8h30, GTFS STM Novembre 2010 .....	58
Figure 25. Passages-arrêts entre 12h00 et 12h30, GTFS STM Novembre 2010 .....	58
Figure 26. Passages-arrêts entre 22h00 et 22h30, GTFS STM Novembre 2010 .....	59
Figure 27. Passages-arrêts entre 2h00 et 2h30 AM, GTFS STM Novembre 2010.....	59
Figure 28. Arrêts avec au moins 3 passages/30 minutes en 2009 et 2010 .....	61
Figure 29. Cartes de densité de passages-arrêts par secteur et par heure, Semaine STM, Novembre 2010 .....	64
Figure 30. Cartes de densité de passages-arrêts par secteurs et par heure, Samedi STM, Novembre 2010 .....	65
Figure 31. Densité de passages-arrêts et ratio de passages-arrêts par personne sur 24h, Semaine STM, Novembre 2010.....	67
Figure 32. Représentation des résultats de passages-arrêts par personne, 24h .....	68
Figure 33. Cartes des passages-arrêts/personne par secteur de l'EOD 2008, semaine STM, novembre 2010.....	69
Figure 34. Résultat de la superposition d'espace tampon à la couche de recensement .....	72
Figure 35. Population montréalaise à moins de 500 m d'un arrêt à haute fréquence (%), semaine STM, novembre 2010.....	73
Figure 36. Densité désagrégée de passages-arrêts .....	78
Figure 37. Comparaison entre indicateurs de densité désagrégée de passages-arrêts entre novembre 2010 et juillet 2011, STM .....	79

Figure 38. Pourcentage des ménages en fonction de la densité entre 12h et 12h30, STM, Novembre 2009-2010.....	83
Figure 39. Densité moyenne de passages-arrêts autour des ménages 2010, 12h, semaine STM...	84
Figure 40. Différence de densité moyenne de passages-arrêts autour des ménages 2009-2010, semaine STM.....	84
Figure 41. Pourcentage cumulé des ménages par densité de passage-arrêt .....	85
Figure 42. Ménages en fonction de la densité passages-arrêts et du revenu du ménage entre 12h et 12h30, STM, Novembre 2010.....	86
Figure 43. Schéma de la structure du chapitre: INDICATEURS DYNAMIQUES.....	87
Figure 44. Schéma méthodologique de l'algorithme de recherche d'arrêts accessibles .....	93
Figure 45. Interface web, exemple de résultat pour une durée de 15 min à 16h à partir de l'intersection des rues Saint-Denis et Mont-Royal .....	95
Figure 46. Schéma et équation du temps d'accès à l'origine .....	96
Figure 47. Superficie d'accès à partir de l'intersection Saint-Denis/Mont-Royal Est pour une durée de 15min, à 16h00 un jour de semaine .....	97
Figure 48. Superficie d'accès selon la durée, 8h00 AM, semaine, Hôpital Sainte-Justine.....	98
Figure 50. Superficies, ménages et personnes à moins de 20 minutes de l'un des 3 centres commerciaux .....	101
Figure 51. Création de l'environnement .....	106
Figure 52. Cercles concentriques autour du marqueur d'origine.....	107
Figure 53. Polygones des trajets vers toutes les destinations.....	108
Figure 54. Exemple de table.....	109
Figure 55. Exemple de la table 2.....	110
Figure 56. Exemple de la fonction de visualisation par étiquette de temps de parcours (min)....	111
Figure 57. Exemple de visualisation par échelle de coloration.....	112

Figure 58. Carte isochrone pour le mode marche à partir du croisement des rues Saint-Denis et .....	114
Figure 59. Courbe de temps de parcours.....	114
Figure 60. Carte de courbes de l'automobile (bleu) superposées à celle de la marche (rouge) pour le même point d'origine .....	115
Figure 61. Nombre de personnes à moins d'un certain temps d'accès de l'intersection, mode : Auto.....	116
Figure 62. Superficie accessible en 15 minutes par mode à partir de l'intersection Saint-Denis/Mont-Royal Est.....	118
Figure 63. Superficie accessible en 15 minutes par mode .....	120
Figure 64. Erratum dans la superficie accessible totale .....	124
Figure 65. Schéma de la structure du chapitre 7 .....	126
Figure 66. Tortuosité moyenne à 500 et 1000 m de l'intersection Brunswick et Salaberry (Pointe-Claire) à vélo .....	129
Figure 67. Tortuosité moyenne à 500 et 1000 m de l'intersection Brunswick et Salaberry (Pointe-Claire).....	129
Figure 68. Distribution des destinations par intervalle de tortuosité à 500 m et 1000 m du point d'intérêt .....	130
Figure 69. Schéma conceptuel des objectifs et contributions du mémoire .....	133
Figure 70. Fichier résultat du nombre de passage par arrêt par tranche de 30 minutes (exemple) .....	150
Figure 71. Arrêts à haute fréquence, STM novembre 2010 service de semaine, 8h00 AM .....	151
Figure 72. Union de la couche des tampons de 500 m.....	152
Figure 73. Opération de la fonction CLIP de ArcGIS.....	153
Figure 74. Résultat de l'utilisation de la fonction CLIP sur la couche de recensement.....	154

**LISTE DES ANNEXES**

ANNEXE .....	144
Cartographie des densités de passages-arrêts par zone 24h .....	144
Intégrale de la méthodologie de la création d'une base de données de passages-arrêts .....	149
Intégrale de la méthodologie pour le calcul d'indicateur de type population à moins de 500 m d'un arrêt haute fréquence.....	151

## **LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS**

AMT	Agence métropolitaine de transport
API	Interface de programmation d'applications
AVM	Auto, vélo et marche
BD	Base de données
EOD	Enquête origine-destination
GTFS	General transit feed specification
STM	Société de transport de Montréal
TC	Transport collectif

## INTRODUCTION

De nos jours, les indicateurs, quel que soit le type, sont largement utilisés par les planificateurs urbains. Ceux-ci sont des outils clés permettant de décrire l'état des lieux, visualiser l'impact d'investissements et de politiques ou établir des cibles à différents horizons. Dans le domaine du transport, plusieurs indicateurs sont utilisés tels que part modale des différents modes, consommation d'essence, couverture des réseaux de transport, kilométrage parcouru, etc. En fait, l'importance grandissante de la mobilité durable oblige les planificateurs à recourir à des indicateurs afin d'identifier plus clairement des objectifs à atteindre qui sont, autrement, difficilement quantifiables.

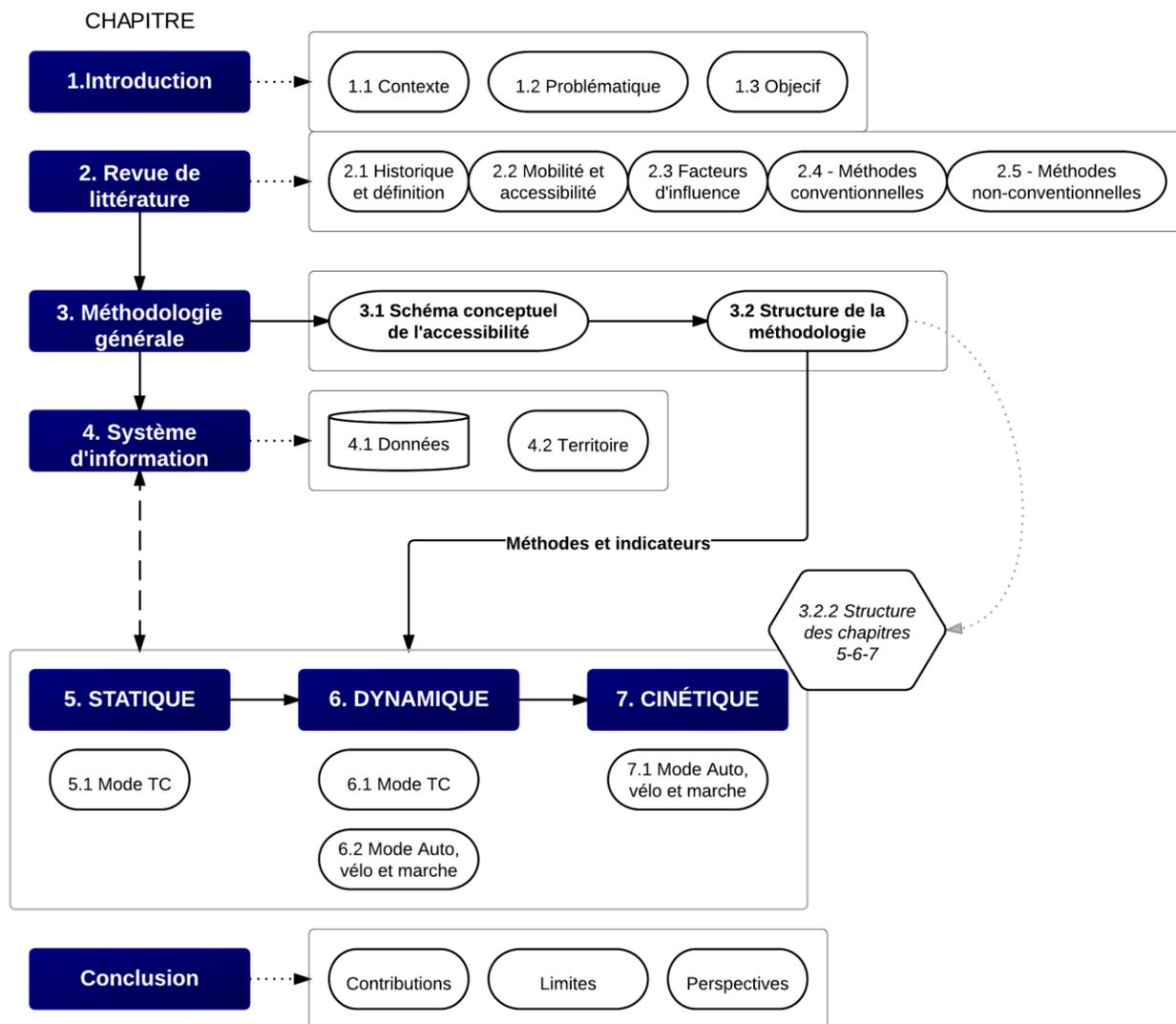
L'accès à un lieu joue un rôle sur le développement urbain du voisinage, sur l'économie du secteur et sur la qualité de vie des résidents du quartier. L'accessibilité peut donc être un indicateur social, économique, d'attractivité et de performance des différents réseaux. Une définition classique de l'accessibilité est la facilité avec laquelle on accède à une activité à partir d'un lieu donné et d'un mode. Les indicateurs d'accessibilité servent souvent à prévoir l'impact d'investissements majeurs et de nouvelles politiques sur le niveau d'accès pour différentes personnes (Handy et Niemeier 1997; Litman 2007).

Les services de transport collectif sont actuellement au cœur de plusieurs discussions en raison du rôle possible qu'ils peuvent jouer pour améliorer le niveau de durabilité des comportements de déplacement. La qualité de l'offre de service de transport en commun influence grandement le niveau d'accessibilité. En effet, les zones bien desservies par le transport en commun sont généralement plus denses autant au niveau commercial que résidentiel. Les quartiers plus denses deviennent plus attractifs pour un certain type de clientèle, influençant ainsi le niveau d'accessibilité des résidents via l'augmentation du nombre d'activités potentielles à proximité (Mercier et Stoiber 2010).

Les indicateurs d'accessibilité sont multiples. Or, peu ont la capacité d'évaluer la variabilité de l'offre de service en fonction de l'heure de la journée, du type de jour, de la localisation, etc. La variabilité de l'offre est un élément important dans la représentation de l'accès d'une municipalité. Est-ce qu'une municipalité à une bonne accessibilité lorsque ses services de transport collectif sont concentrés en pointe? Est-ce que les usagers bénéficient de flexibilité? Comment l'attractivité du mode est-elle influencée par une variabilité trop grande de

l'offre de service? Ce sont des questions qui méritent d'être abordées dans un contexte où la recherche d'accessibilité par les décideurs est au cœur des investissements.

Ce mémoire a donc pour objectif de proposer des indicateurs d'accessibilité, ainsi que leur méthodologie, qui soient sensibles aux problématiques actuelles. Le mémoire s'articule donc autour de cet objectif. La structure de ce mémoire est présentée à la figure suivante.



**Figure 1. Structure du mémoire**

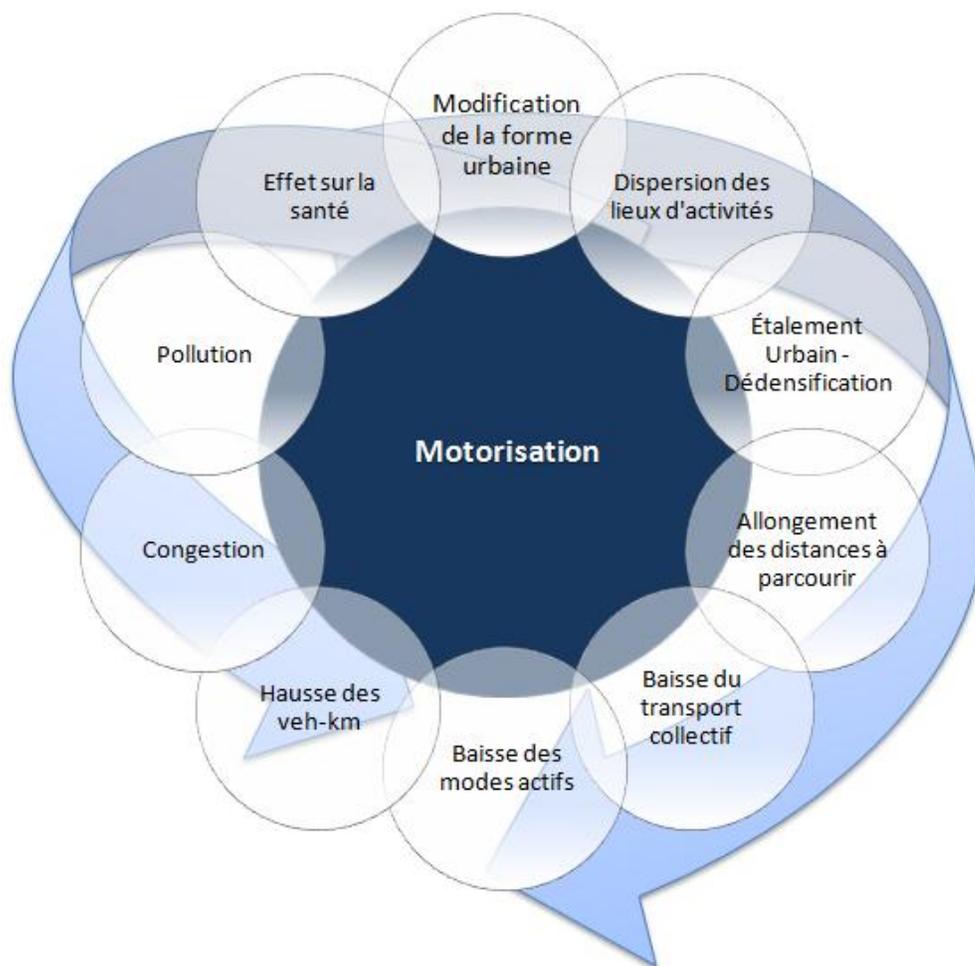
Dans cette introduction, le contexte dans lequel s'inscrit ce mémoire est présenté, suivi de la problématique générale et des objectifs. Une brève revue de littérature expose les différentes définitions de l'accessibilité, les facteurs qui influencent le niveau d'accessibilité ainsi qu'une revue des méthodes et indicateurs existants. Le chapitre 3 est consacré à la présentation d'une

proposition de classification des indicateurs d'accessibilité illustrée sous forme de schéma conceptuel. Ce schéma sert également de structure méthodologique du mémoire et de cadrage du projet (voir 0). Des mesures d'accessibilité ne peuvent être calculées sans données. Le chapitre 4 fait état du système d'information exploité. Suivant le schéma conceptuel, trois grandes classes méthodologiques d'indicateurs ressortent, les méthodes statiques, dynamiques et cinétiques. Les indicateurs reliés à ces méthodes sont décrits dans les chapitres subséquents (chapitre 5,6 et 7). Le mémoire se termine par une conclusion incluant les contributions, les limites et les perspectives.

## **1.1 Contexte**

L'arrivée massive de l'industrie automobile a drastiquement altéré le niveau d'accessibilité locale. L'automobile a permis d'accéder à de nouvelles destinations et de faciliter l'accès à d'autres. Anciennement, avant les années 1930, le design urbain dépendait des déplacements par modes actifs de sorte que la majorité des résidents de secteurs en milieu urbain bénéficiait des services fondamentaux à distance de marche de leur domicile. Ce type de forme urbaine favorise une utilisation judicieuse du sol, une mixité entre commerce et résidence, une densification de la population ainsi qu'un réseau routier doté d'une bonne connectivité. À Montréal par exemple, les quartiers datant d'avant la 2<sup>e</sup> guerre mondiale demeurent organisés de cette façon (Handy 1994; Handy et Niemeier 1997; Handy 2002). Ils ont généralement un réseau routier quadrillé et des espaces commerciaux jumelés à des résidences. La carte ci-après illustre le maillage du réseau routier des quartiers centraux de Montréal.





**Figure 3. Conséquences de l'arrivée de l'industrie automobile sur le transport et l'utilisation du sol**

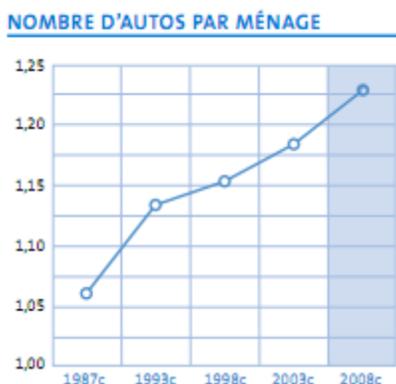
En ces termes, la motorisation a donné suite à des changements dans la forme urbaine étant donné la vitesse grandissante de déplacement permise par l'automobile. Il y a mise en place de voies rapides pour l'automobile (grands boulevards, autoroutes, etc.). Les nouveaux quartiers, généralement en périphérie du centre-ville, ont une configuration différente. C'est-à-dire que les quartiers résidentiels, commerciaux et industriels sont dans des secteurs distincts et dispersés sur le territoire. Il y a très peu de mixité. Les routes sont parfois sinueuses se traduisant par une très faible connexité du réseau local (présence de cul-de-sac, de détour, etc.). Ceci a pour principal effet d'augmenter les distances de marche notamment. En d'autres termes, le design urbain est orienté vers l'automobile et non vers les modes actifs. La carte suivante montre le maillage routier du secteur de Pierrefonds à Montréal démontrant son caractère récent par ses routes sinueuses.



**Figure 4. Maillage routier, Pierrefonds, Montréal (quartier récent)**

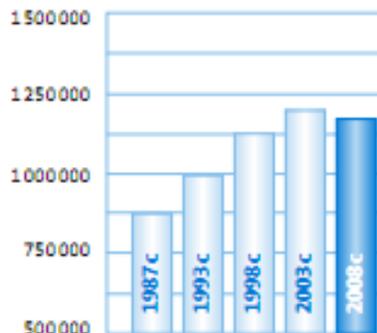
La motorisation mène à une dispersion des lieux d'activités et, par le fait même, à l'étalement urbain et à la dédensification. Ces effets ont pour principale conséquence l'allongement des distances à parcourir créant ainsi de l'autodépendance puisque les modes actifs ne permettent plus d'accéder aux lieux d'activités efficacement et les options de transport collectif sont parfois inexistantes ou non-compétitives.

Selon le rapport sur les faits saillants de l'enquête Origine-Destination de Montréal, le parc automobile aurait augmenté de 10% en l'espace de 5 ans, soit de 2003 à 2008 (AMT 2008). Le taux de motorisation est en hausse depuis plusieurs années confirmant la tendance de dépendance automobile observée par McNeil (2011) et Handy (2002). Le graphique, directement tiré de ce même rapport, montre l'évolution de la motorisation dans la grande région métropolitaine de Montréal (territoire comparable 1987-2008).(AMT 2008)



**Figure 5. Évolution du nombre d'autos par ménage sur le territoire comparable de la grande région métropolitaine de Montréal, Enquête Origine-Destination 2008, faits saillants**

Le second graphique traduit le nombre de déplacements automobiles effectués par la population des secteurs comparables de 1987 à 2008. Bien qu'il y ait une baisse de 1% en 2008 par rapport à 2003, ce nombre était en hausse de 1,4% par année depuis 1987. Il est à noter que cette baisse a été observée pour un territoire comparable de 1987. En réalité, le nombre de déplacements automobiles a probablement augmenté, car le territoire urbanisé s'est étalé à l'extérieur du territoire comparable. (AMT 2008)



**Figure 6. Évolution du nombre de déplacements auto sur le territoire comparable de la grande région métropolitaine de Montréal, Enquête Origine-Destination 2008, faits saillants**

L'évolution des véhicules-kilomètres parcourus par l'ensemble de la population n'est pas documentée pour Montréal à ce jour. Or, les deux figures précédentes laissent croire qu'il y a eu une tendance à la hausse, car si la flotte de voitures et le nombre de déplacements ont augmenté au fil des années, il est raisonnable de penser que les véhicules-kilomètres parcourus aussi.

Aux conséquences de la motorisation s'ajoutent la congestion, la pollution et les effets sur la santé. La motorisation n'est pas la seule cause de ces effets, mais elle y contribue.

Cette situation peut être inquiétante. Les conséquences de la motorisation amènent à se questionner sur la viabilité de ce type d'aménagement. McNeil (2011) explique comment une banlieue de Portland, voyant les aspects non viables de sa forme urbaine largement définie par la voiture, tente de réduire sa dépendance à l'automobile. Pour ce faire, leur plan de transport prévoit des mesures de mixité d'utilisation du sol. À son tour, le plan de transport de Montréal de 2007 prévoit diminuer la dépendance automobile : « Assurer les besoins de mobilité de tous les Montréalais, en faisant de leur ville un endroit agréable à vivre ainsi qu'un pôle économique prospère et respectueux de son environnement. Pour ce faire, Montréal veut réduire la dépendance à l'automobile en misant sur un usage accru du transport en commun et des modes actifs. ». (Montréal 2008 ) Contrairement à Portland, c'est en misant davantage sur la qualité des alternatives de transport que la ville de Montréal espère contrer l'autodépendance.

L'intérêt émergent pour la thématique de l'accessibilité s'explique par ce questionnement de viabilité puisqu'il avait déjà été démontré qu'une meilleure accessibilité a pour effet général de diminuer l'autodépendance et les véhicules-kilomètres (Handy 1994; Handy 2002). À ce point, nous pouvons nous interroger sur le concept même de l'accessibilité.

Brièvement, la notion d'accessibilité répond aux objectifs d'évaluation de la performance de la liaison entre le réseau de transport et les activités ou le domicile. Assurer une bonne accessibilité, vers différents types d'activités, est une partie intégrante de la vision actuelle du développement durable. Ceci implique la nécessité d'être en mesure d'évaluer la performance des services et des infrastructures de transport vis-à-vis la mobilité offerte vers différents lieux à différentes périodes. Or, la définition de mesures pour décrire l'accessibilité comporte son lot de difficultés.

## 1.2 Problématique

Il existe plusieurs problématiques quant à l'accessibilité. Deux d'entre elles sont relevées ici, soit l'ambiguïté relative à la notion d'accessibilité et la difficulté de mesurer l'accessibilité.

### 1.2.1 Typologie des indicateurs d'accessibilité

La première problématique réelle est que le terme accessibilité fait référence à une variété de définitions. Par exemple, le mot accessibilité peut faire référence à l'accessibilité des personnes à mobilité réduite (accessibilité universelle) tout comme la description de l'accessibilité d'un lieu, par exemple un hôpital, via le transport collectif (accessibilité d'un point d'intérêt). En d'autres termes, l'accessibilité en soi est un concept vague constitué de plusieurs aspects. Il est possible de comparer l'accessibilité à l'ingénierie. L'ingénierie est un grand ensemble dans lequel se retrouve une variété de disciplines qui ne sont pas forcément interreliées comme le génie civil et le génie électronique. Une recherche sur une banque d'articles scientifiques quelconque permet de constater rapidement qu'avec les mots clés « accessibilité » et « transport » une variété d'articles à sujets divers sont référés. Les indicateurs qui en découlent peuvent autant mesurer le nombre d'emplois accessibles en moins de 30 minutes d'un domicile que le nombre de personnes ayant accès à un arrêt d'autobus à moins de 500 m ou encore du kilométrage effectué par jour par les autobus à plancher bas. Alors, qu'est-ce que l'accessibilité? À quoi réfère-t-elle? Quelles en sont les composantes principales?

Cette recherche vise donc d'abord à offrir une nouvelle typologie d'indicateurs d'accessibilité. De cette manière, les différentes composantes de l'accessibilité sont explicitées. Cette typologie est en fait une classification des différents éléments composant l'accessibilité. Les ouvrages antérieurs portant sur la classification des indicateurs sont peu nombreux et souvent non représentatifs de l'ensemble des composantes de l'accessibilité. Dans le cas de Robert Case, son article de 2010 classe les indicateurs en deux grandes catégories, les coups d'œil comprenant les mesures d'accessibilité calculées à partir de l'ensemble des destinations possibles et les cibles qui représentent les indicateurs qui décrivent l'accessibilité d'un lieu en particulier (Case 2010).

D'autres ont tendance à séparer les indicateurs en quatre catégories de méthodologie (voir 2.4 Méthodologies et indicateurs conventionnels ) (Geurs et Ritsema van Eck 2001):

- Opportunités
- Infrastructure
- Utilité
- Individuelle

Ce classement est juste, mais les indicateurs n'appartenant pas à cette liste ne sont pas pris en compte. Cette classification ne tient pas compte des indicateurs relatifs à l'accessibilité

universelle ou encore ceux associés à l'aménagement d'un territoire. En outre, il y a place à l'amélioration quant à la définition de typologie des indicateurs d'accessibilité.

### **1.2.2 Comment mesurer l'accessibilité?**

La seconde problématique est en fait liée à la première. Les indicateurs d'accessibilité sont des outils permettant de décrire de manière quantitative l'accessibilité, d'un lieu, d'une personne, d'un territoire ou d'un mode de transport. Plusieurs facteurs sont à considérer dans l'appréciation de l'accessibilité rendant la proposition d'indicateurs plus difficile. Les facteurs peuvent être, par exemple, l'utilisation du sol, la performance du transport collectif, la connexité du réseau pédestre, l'aménagement, etc. La question est: comment mesurer l'accessibilité ou bien comment définir ce qui est accessible de ce qui ne l'est pas? Il s'avère que plusieurs indicateurs sont nécessaires pour offrir une qualification juste de l'accessibilité. Le choix d'indicateur peut également dépendre de l'objectif visé. Les indicateurs ne seront pas les mêmes pour vérifier l'équité d'accessibilité en transport collectif vers le centre-ville que pour évaluer le potentiel de la marche dans un secteur. Parmi les indicateurs d'accessibilité existants, il y figure le nombre d'emplois accessibles pour une durée de déplacement et la proportion d'activité quotidienne accessible à distance de marche ou de vélo par ménage.

La littérature affirme régulièrement que la majorité des indicateurs développés à ce jour sont incapables de bien représenter tous les aspects du transport. En fait, ils sont difficiles à mesurer et leur interprétation par le milieu politique est ardue en raison de leur complexité (Mercier and Stoiber 2010). Les indicateurs, selon le mode, peuvent nécessiter des méthodes de calculs différentes puisque les composantes internes ne sont pas les mêmes. Par exemple, l'accessibilité du transport collectif réfère non seulement à la durée du trajet entre une origine et une destination, mais aussi à la fréquence du service, à son coût, à la connexité entre les réseaux, à la variation de service selon la période de la journée ou de la semaine, à sa sécurité, à la distance de marche, à la diversité des lieux accessibles. Celle de l'automobile dépend également de certains de ces facteurs en plus de la performance du réseau routier (niveau de congestion – variabilité des temps de parcours). Les réseaux cyclables, pédestres et de camions ont aussi leurs particularités. Certains modes sont influencés par les caractéristiques physiques des personnes comme l'âge, le sexe et le niveau de mobilité. En somme, les méthodes et outils divergent donc d'un mode à l'autre, mais également d'une ville à l'autre selon la disponibilité des données.

Plusieurs indicateurs proposés par la littérature qualifient bien certaines sphères de l'accessibilité. Les méthodes pour les mesurer peuvent par contre être améliorées pour faciliter l'usage par les planificateurs. Dans l'exemple des indicateurs d'opportunités cumulées, la problématique d'usage de la méthode provient de la difficulté d'obtenir des temps et distances de parcours réels en tenant compte des effets de la congestion pour l'automobile et des horaires du transport collectif. Pour les modes vélo et marche, la difficulté provient de la codification des réseaux où certains passages pédestres et cyclables sont non identifiés. Il peut y avoir également des frontières qui ne sont pas prises en compte dans le calcul de chemins telles que les autoroutes. Les méthodes d'opportunités actuelles sont agrégées, c'est-à-dire que le territoire est divisé en zones et les temps de parcours sont calculés d'un centroïde à l'autre. Les indicateurs d'opportunités gravitaires sont également issus de méthodes agrégées. La taille et le découpage des zones peuvent avoir un impact sur les indicateurs d'accessibilité résultants.

D'autres problématiques peuvent être soulevées par rapport aux indicateurs actuels :

- Les indicateurs sont fréquemment laissés de côté par le milieu politique en raison de leurs complexités et de la difficulté de compréhension.
- Plusieurs indicateurs ne sont pas sensibles à un changement local de l'offre sur le réseau (fréquence accrue, ajout d'une ligne, changement de configuration des rues, etc.)
- Les indicateurs comparent rarement plusieurs modes entre eux. Généralement, les méthodes s'appliquent à un seul mode.

En somme, il existe une panoplie d'indicateurs, mais aucun ne peut à lui seul mesurer l'ensemble des composantes de l'accessibilité (Litman 2007). L'importance de classifier les indicateurs est justifiée. Ceci permet de connaître les composantes mesurées par chaque indicateur. Le développement de méthodologie et d'indicateurs s'avère souhaitable pour pallier à certains manquements actuels.

### **1.3 Objectifs de la recherche**

Le premier objectif de ce mémoire est de suggérer une nouvelle typologie d'indicateurs d'accessibilité permettant une meilleure classification de ces derniers et une clarification de la

notion d'accessibilité. Cette typologie a également pour objectif d'orienter la proposition de méthodologie et d'indicateurs.

Le second objectif est de proposer des méthodes, des outils et des indicateurs qui décrivent l'accessibilité d'un territoire ou d'un point d'intérêt. **La finalité est d'aider les planificateurs urbains à se doter d'indicateurs leur permettant d'évaluer l'accessibilité d'un lieu ou d'un territoire.** Les indicateurs peuvent également servir à évaluer le gain potentiel d'accessibilité d'un projet ou à illustrer le gain suite à des modifications sur le réseau. Les indicateurs sont une représentation mathématique de l'accessibilité qui permet de quantifier le niveau d'accès d'un individu, d'un lieu, d'une zone ou d'un aménagement.

Les méthodes sont les étapes de calcul et de manipulation nécessaires à l'obtention d'un indicateur quelconque. Celles-ci doivent être validées à la fois par la littérature et par des exemples d'application.

Les outils soutiennent la méthodologie et facilitent le calcul d'indicateurs. L'objectif étant de faciliter la mesure d'indicateurs par une explication claire des méthodes et outils nécessaires. Ces outils devront à leur tour être validés par des exemples d'applications.

À ce titre, des objectifs spécifiques sont poursuivis tels que :

- Proposer une typologie des indicateurs d'accessibilité
  - o Effectuer un schéma de classification des indicateurs d'accessibilité selon les entités observées (zones, point, individu, etc.) et les composantes (forme urbaine, alternative de transport et utilisation du sol)
- Développer un outil visuel (carte) qui génère pour le transport collectif la superficie accessible à partir d'un point, d'une date et d'une heure à l'aide de la base de données d'informations sur les trajets et horaires (GTFS, « General transit feed specification »)
- Développer un outil visuel (carte) qui génère pour les modes auto, vélo et marche la superficie accessible à partir d'un point
- Proposer des indicateurs, et leurs méthodologies, sensibles à la variation de l'offre de service de transport dans le temps et l'espace (ex. densité d'arrêt à haute fréquence de passage d'autobus)

- Proposer des indicateurs qui permettent d'évaluer la compétitivité entre les modes (ex. comparaison du nombre d'emplois accessibles en 30 minutes à partir d'un point pour les modes auto, vélo, marche et autobus)
- Réaliser des exemples d'application qui mettent en valeur les récentes améliorations de service de la STM
- Développer des mesures permettant d'évaluer la performance de la forme urbaine

Les finalités peuvent être multiples, elles seront explicitées au fur et à mesure de la présentation des méthodes, outils et indicateurs.

## CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

### 2.1 Historique et définition de l'accessibilité

La notion d'accessibilité apparaît en premier lieu en 1959 où elle a été définie comme étant le potentiel de possibilité d'interaction (Hansen 1959). De nombreuses définitions se sont ajoutées, la plus couramment utilisée dans la littérature est que l'accessibilité est la facilité avec laquelle on accède à une activité à partir d'un lieu et d'un mode de transport (Dalvi et Martin 1976). En d'autres termes, il s'agit d'une entité qui qualifie l'interaction entre les transports et les activités territoriales (Olaru et Dragu 2001). Certains auteurs proposent que l'accessibilité soit définie : « comme une mesure de la performance d'un réseau de transport au travers de la variation de surplus qu'elle génère pour les différents types d'utilisateurs » (Raux, Mercier et al. 2008). De plus, Geurs et Van Wee (2004), proposent une revue assez complète de définitions. En réalité, les définitions sont multiples et elles varient selon le contexte, la région et l'année. La description d'un indicateur d'accessibilité varie également dans l'espace. Des descriptions d'indicateurs d'accessibilité ont été recensées à l'échelle européenne par le Study Program on European Spatial Development (SPESD) (Joly 1999).

Description allemande [traduction libre] :

L'accessibilité est le principal produit d'un système de transport. Il détermine l'avantage de localisation d'une région par rapport aux autres. Les indicateurs d'accessibilité mesurent les bénéfices des ménages et des entreprises d'une région quant à l'existence et l'utilisation des infrastructures de transport. (Schuermann, C., Spierkermann, K., Wegener, M., 1997).

Description hollandaise [traduction libre]:

L'accessibilité se définit comme étant les possibilités potentielles d'interactions (définition générale). Des définitions connexes sont également employées, telles que la facilité d'interaction spatiale, la potentialité de relation avec les activités ou l'offre, ou plus précisément l'attractivité d'un nœud dans un réseau en tenant compte du poids des autres nœuds et les coûts pour atteindre ces nœuds via le réseau. Cependant, ces descriptions demeurent assez vagues. Dans la pratique, les possibilités d'interprétation sont multiples et varient selon le contexte.

Description anglaise [traduction libre]:

La plupart des mesures d'accessibilité prennent généralement comme unité de base une distance moyenne. Cette structure de base a besoin d'être modifiée, d'abord afin d'assurer une continuité d'accès à travers l'espace, permettant ainsi de considérer les points d'accès aux réseaux, et, deuxièmement, de développer un indicateur permettant de mesurer les impacts économiques des différents marchés du transport.

## **2.2 Mobilité et accessibilité**

Accessibilité et mobilité sont souvent utilisées indistinctement. Ces termes se trouvent régulièrement côte à côte dans la littérature (El-Geneidy, Cerdá et al. 2009). Il est toutefois important de les définir, car ils réfèrent à des concepts bien différents. La mobilité réfère à l'aspect physique du déplacement, soit l'habileté ou la rapidité de partir d'un point pour se rendre à un autre (Hansen 1959; Handy 1994). En d'autres termes, on pourrait dire qu'encourager la mobilité, selon cette définition, c'est encourager la construction d'autoroutes ou la mise en place de transport collectif à haute performance (Litman 2007). Selon cette compréhension, augmenter la mobilité implique aussi l'augmentation de l'accessibilité, car plus on se déplace rapidement, plus on a de choix de destinations.

Certains s'opposent toutefois à cette vision en énonçant qu'augmenter la mobilité amène une hausse des véhicules-kilomètres parcourus par personne et que ceci va à l'encontre des principes de développement durable. Ceux-ci prônent plutôt l'amélioration du niveau d'accessibilité (Handy 2002). En effet, une meilleure accessibilité se traduit souvent par une utilisation plus judicieuse de l'espace et par une diversification des opportunités d'activités et de résidence. Par conséquent, une amélioration du niveau d'accessibilité est une situation souhaitable dans un contexte de développement durable, l'amélioration de l'accessibilité se traduisant par des impacts positifs sur les 3 pôles du développement durable, soit l'économie, l'environnement et la société (Lamalice et Morency 2009; Gutiérrez, Condeço-Melhorado et al. 2010).

D'un point de vue environnemental, la motorisation est certes responsable d'une hausse des émissions polluantes. Une série d'études démontre que la proximité des destinations ainsi que la disponibilité et la praticité des modes alternatifs non motorisés sont les facteurs les plus

influent dans la consommation d'essence (Rendall, Page et al. 2010). Ces composantes seront détaillées ultérieurement.

## **2.3 Les facteurs qui influencent l'accessibilité**

Plusieurs auteurs se sont intéressés aux facteurs clés influençant l'accessibilité. Autrement dit, quels éléments sont les plus susceptibles de faire varier le niveau d'accessibilité. Plusieurs pistes de réflexion peuvent mener à définir ces acteurs. Friedman (1994) démontre qu'un quartier où un pourcentage plus élevé de déplacements sont faits par modes non motorisés et transport public est généralement lié à une meilleure accessibilité. De ce fait, McNeil (2011) énonce que, parmi une dizaine d'ouvrages recensés sur le sujet, l'attribut clé définissant un environnement propice est, selon cinq auteurs, la mixité d'utilisation du sol. Cinq autres auteurs pensent qu'il s'agit plutôt du réseau de rue et sa connexité. L'ensemble de la littérature s'accorde sur le fait que l'utilisation du sol, la forme urbaine et la qualité des alternatives de transport sont les principaux facteurs influençant le niveau d'accessibilité d'un lieu (Handy 2002; Litman 2007; Rendall, Page et al. 2010). D'autres facteurs sont également énoncés tels que l'accès à l'information sur les transports, le coût des déplacements et l'accès à l'utilisation d'un mode par rapport à un autre (ex. accès aux stationnements, aux gares, aux sentiers pédestres). Ces derniers peuvent toutefois être intégrés à l'intérieur des trois principaux facteurs.

### **2.3.1 Utilisation du sol**

L'utilisation du sol correspond ici aux caractéristiques d'utilisation géographique d'un territoire. La densité et la mixité sont des caractéristiques descriptives de l'utilisation du sol. La densité est le nombre de personnes, de services ou d'emplois par superficie. La mixité exprime la variété d'utilisation du sol (résidentiel, commercial, institutionnel, récréative, etc.) à l'intérieur d'une zone. Selon plusieurs, la densité d'utilisation du sol et la mixité ont tendance à améliorer l'accessibilité (Hine and Grico 2003). Ainsi, une utilisation du sol favorisant l'accessibilité impliquerait une baisse de la nécessité de mobilité motorisée (vitesse de déplacements) vers les activités et destinations (Litman 2007; McNeil 2011).

### **2.3.2 Forme urbaine**

La forme urbaine (ou design urbain) fait ici référence à l'agencement des réseaux de transport. Le grand dictionnaire terminologique de l'Office québécois de la langue française décrit le design urbain comme étant l'« Art de la conception et de l'aménagement du mobilier urbain et de la signalétique des espaces collectifs ». Dans cette recherche, la forme urbaine est ce qui caractérise les rues, les corridors de transport collectif, les sentiers pédestres et les pistes cyclables. Ces caractéristiques peuvent varier entre la connectivité, la connexité, le maillage, l'interaction, l'aménagement (signalisation, design), la tortuosité, le niveau de service (congestion), etc. Plusieurs auteurs rassemblent ces éléments par le terme connectivité (Handy 2002; Litman 2007; Rendall, Page et al. 2010).

L'aménagement des réseaux routiers a fait l'objet de nombreuses études. Plusieurs personnes se sont intéressées à la configuration optimale pour fournir la meilleure accessibilité. En fait, les formes urbaines ont suivi plusieurs tendances au fil des années. Généralement, ils dépendent de l'aspect qui a voulu être mis en valeur : l'accessibilité, la tranquillité, la mobilité, la mixité, etc. La configuration urbaine influence l'accessibilité. La distance à parcourir, entre une origine et une destination, varie en fonction de l'agencement des réseaux. La forme urbaine a un effet sur l'accessibilité parce qu'elle influe sur la facilité d'accès (Handy 2002).

### **2.3.3 Qualité des alternatives de transport**

Il est logique que la qualité des alternatives de transport influe sur l'accessibilité, car la définition même de l'accessibilité y réfère (la facilité avec laquelle on accède à une activité à partir d'un lieu et d'un mode de transport). Par le terme qualité des alternatives de transport, la mobilité, les options de transport, l'efficacité, le coût, le niveau de service sont inclus. Tous ces sous-facteurs influencent le niveau d'accessibilité (Litman 2007).

## **2.4 Méthodologies et indicateurs conventionnels**

Les méthodologies proposées sont multiples et ont fait l'objet de nombreuses recherches. Or, la majeure partie des études menées sur l'accessibilité utilise l'une des quatre méthodes présentées ici, soit la méthode d'opportunités cumulées, la méthode gravitaire, les mesures d'infrastructures ou les modèles d'utilité aléatoire. Les paragraphes suivants décrivent brièvement ces méthodologies. Ces méthodes s'appliquent généralement mieux aux modes motorisés. Trois

articles proposent d'ailleurs une revue des indicateurs et des méthodologies de calcul inhérentes : celui de Handy et Niemeier (1997), celui de Geurs et Ritsema van Eck (2001) ainsi que celui de Geurs et Wee (2004).

### 2.4.1 Méthode d'opportunités

Les méthodes d'opportunités sont les plus couramment utilisées dans le domaine de la planification des transports. Elles font la description spatiale des opportunités d'activités accessibles à l'intérieur d'un certain seuil de coût, de distance ou de temps. Il existe deux grandes catégories, les indicateurs d'opportunités cumulées ou les indicateurs gravitaires.

#### 2.4.1.1 Opportunités cumulées

Les indicateurs d'opportunités cumulées se veulent simples. Ils font la somme des activités, par exemple le nombre d'emplois, à l'intérieur d'un seuil de temps ou de distance. Le territoire est divisé en zones. Le coût de transport est calculé à partir d'un temps, d'une distance ou d'un coût d'une zone à l'autre. Ces mesures sont donc agrégées. L'équation de l'indicateur d'accessibilité  $A$  prend généralement la forme suivante.

$$A_i = \sum_{j=1}^n E_j f(c_{ij})$$

Où :

$E_j$  est le nombre d'opportunités dans la zone  $j$ ,

$f(c_{ij})$  est un nombre binaire égal à 1 lorsque la zone est à l'intérieur de la distance/durée/coût accepté,

$n$  = le nombre de zones

Ces indicateurs sont le résultat de plusieurs recherches menées notamment par Oberg (1973) et Wachs et Kumagai (1973). Ils permettent de connaître, pour un résident de la zone  $A$ , le nombre d'opportunités à proximité d'un certain type d'activités. Ces mesures ne tiennent toutefois pas compte de l'effet de la distance. Un emploi à 10km a le même poids que celui à 1km s'ils sont accessibles dans un seuil de 30 minutes. De plus, le choix de l'intervalle de temps est délicat. La littérature ne contient pas de méthode claire pour définir l'intervalle de temps

adéquat (Makri et Folkesson 1999). Plusieurs auteurs proposent des exemples d'applications. (El-Geneidy, Cerdá et al. 2009; Chen, Ravulaparthi et al. 2010; Mercier et Stoiber 2010).

### 2.4.1.2 Opportunités pondérées

Les indicateurs d'opportunités pondérées corrigent l'uniformité de poids des indices d'opportunités en appliquant une mesure de pondération de coût généralisé, de distance ou au temps d'accès de chaque activité. L'attractivité entre zones dépend donc du nombre de lieux d'activités, mais aussi du coût de transport. Cet indicateur demeure agrégé, car le coût de transport est relatif à une zone par rapport à une autre. L'équation de l'indicateur d'accessibilité  $A$  prend généralement la forme suivante.

$$A_i = \sum_{j=1}^n E_j \exp^{-\beta C_{ij}}$$

$E_j$  est le nombre d'opportunités dans la zone  $j$

$C_{ij}$  est le Coût de transport (coût généralisé, temps ou distance) entre la zone  $i$  et  $j$

$\beta$  est un facteur de sensibilité du coût (peut varier selon le mode)

$n$  = nombre de zones

Les indicateurs découlent des modèles gravitaires de distribution de déplacements. Hansen, 1959, est le premier à les avoir proposés. De nombreuses recherches portent sur ces derniers et les exemples d'application sont multiples. Ces indicateurs sont régulièrement jumelés à des indicateurs économiques.

Le tableau suivant propose quelques exemples d'application des indicateurs pondérés.

**Tableau 1. Exemples d'application des indicateurs pondérés**

<i>Auteurs</i>	<i>Contributions</i>
Hansen 1959	Introduction de la méthode gravitaire.
Bonnafeux et Masson 2003	Utilisation d'indicateurs d'accessibilité pour mesurer l'équité spatiale.
Raux, Mercier et al. 2008	Démontre l'apport des SIG dans l'évaluation économique des politiques de transport.
Gutiérrez, Condeço-Melhorado et al. 2010	Méthodologie mesurant le chevauchement spatial de gains d'accessibilité liés aux investissements dans les infrastructures de transport.
Chen, Ravulaparthi et al. 2010	Développement d'indicateurs sensibles à la variation des opportunités accessibles dans le temps et dans l'espace. Ces indicateurs soutiennent le développement de modèles d'activités (« activity-based demand model »).
Mercier et Stoiber 2010	Évaluations comparatives de l'accessibilité vers les opportunités d'emplois de la région lyonnaise (France) pour l'automobile et le transport en commun.
La Mondia, Blackmar et al. 2010	Étude comparative de quatre méthodologies d'indicateurs dont la méthode gravitaire appliquée à l'évaluation de l'accessibilité aux hôpitaux via le transport adapté (Texas).

Ces indicateurs peuvent être fonction de l'origine ou de la destination. À partir d'une origine, l'indicateur dénombre les opportunités accessibles aux résidents d'un secteur comme le nombre d'emplois accessibles en moins de 20 minutes aux résidents du quartier Villeraie (Montréal). Un indicateur de destination dénombre plutôt la population ayant accès à un lieu particulier, tel un hôpital, en moins de 20 minutes. La population peut être segmentée par groupement social ou autres. Par exemple, l'indicateur peut recenser le pourcentage des familles monoparentales ayant accès à une garderie en moins de 15 minutes. (Transport 2008)

Miller (1999) critique ces indicateurs par leur manque de fondement comportemental. Or, plusieurs ont démontré qu'au contraire, ces modèles intègrent le comportement et les préférences individuelles (Raux, Mercier et al. 2008).

## 2.4.2 Infrastructure

Cette méthodologie réfère principalement à une analyse de la performance du réseau. Elle fournit des indicateurs de type niveau de congestion des infrastructures, de temps total perdu ou de vitesse moyenne sur le réseau. Linneker et Spence (1992), proposent un exemple d'application.

## 2.4.3 Modèle d'utilité aléatoire

Elle se base sur la théorie de l'utilité aléatoire (« random utility theory ») qui est la probabilité qu'un individu fasse un choix en fonction de l'utilité de ce choix par rapport à celle des autres choix. Il traduit en fait la probabilité qu'une personne, selon ses caractéristiques, opte pour un mode plutôt qu'un autre. Il s'agit d'un modèle LOGIT où la valeur de sortie, qui est une probabilité, varie entre 0 et 1. L'accessibilité est fonction de l'individu et non d'une localisation quelconque. L'équation de l'indicateur d'accessibilité  $A$  prend généralement la forme suivante.

$$A_i = \ln \left( \sum_k e^{V_{n(c)}} \right)$$

$V_n$  sont les composantes de transport spatiales et temporelles observables d'utilité indirecte pour le choix  $c$  de la personne  $n$ .

$c$  est la liste de choix de la personne  $n$

Le niveau de complexité de ces indicateurs est supérieur. Le principal intérêt de ces indicateurs est qu'ils tiennent compte uniquement de la proximité d'une activité, mais également des préférences de l'individu. Des exemples d'application sont proposés par Geurs et Zondag (2010) et Peters, Shim et al. (2010).

## 2.5 Méthodologies et indicateurs non conventionnels

Bien que les méthodes proposées dans la section précédente soient utilisées dans la majeure partie des études sur l'accessibilité, il existe tout de même d'autres indicateurs d'accessibilité ou de facteurs influençant cette dernière. Certaines méthodes sont mieux adaptées pour décrire l'accessibilité par mode actif. Les paragraphes suivants proposent certains de ces indicateurs.

### 2.5.1 Méthode des distances

Les méthodes de distances consistent à évaluer la distance la plus courte entre un lieu donné et un ensemble d'activités. Elle prend souvent la forme de paniers de biens. Par exemple, dans une étude sur les logements sociaux de Montréal, une distance moyenne était calculée entre les différents logements sociaux vers une série de service. L'indicateur résultant serait donc la distance moyenne entre une épicerie et un logement social de Montréal (Apparicio et Séguin 2006).

Rendall (2010) propose un indicateur d'accessibilité par mode actif (AMA) dont la méthodologie s'appuie sur la proportion d'activité quotidienne accessible à distance de mode actif par ménage (marché et vélo). Un exemple d'application serait, pour un secteur donné, de calculer la proportion de ménage ayant accès, à distance de marche, de vélo et d'auto, à une épicerie, un service de santé ou une école primaire. Un AMA élevé implique que les activités des résidents peuvent être atteintes avec un minimum d'énergie. McNeil (2011) reprend le même type de méthodologie avec quelques différences.

Le Walkscore ([www.walkscore.com](http://www.walkscore.com)) reprend également cette idée en calculant une note sur 100 selon le degré d'accessibilité à pied. Un panier de 10 catégories de bien est prédéfini : épicerie, pharmacie, service de santé, etc. Pour chaque catégorie de biens qui se trouve à moins de 400 mètres du point observé, la note maximale est obtenue (10/10). La note diminue au fur et à mesure que la distance augmente jusqu'à concurrence de 1 mile. La note sur 100 est en fait une somme de la note par catégorie (10 notes pour 10 catégories) (FrontSeat 2012). Le calculateur de Walkscore est disponible sous forme d'application web.

Les créateurs de Walkscore offrent également la possibilité d'obtenir un indicateur similaire pour le transport collectif.

Páez et Moniruzzaman (2011) développent un indicateur du même type. Le seuil de distance varie toutefois selon les caractéristiques sociodémographiques de l'utilisateur et du mode sélectionné. Le mode, le revenu, l'âge et le sexe de la personne influencent la distance d'accès. En fait, ces paramètres sont intégrés à un modèle statistique qui fixe une distance d'accès seuil. Un outil recense ensuite le nombre d'opportunités accessibles par type de service.

## 2.5.2 Superficie d'accès (visualisation)

Mapnificent ([www.mapnificent.net](http://www.mapnificent.net)) est une application web qui génère pour une origine un nuage enveloppant toutes les destinations accessibles en transport collectif pour une durée déterminée. Le résultat s'affiche sous forme de carte. Cette application est disponible pour certaines villes, soit celles qui distribuent leur GTFS librement. Pour un point, il est possible par exemple de connaître la superficie accessible en 15 minutes de transport collectif. L'utilisateur peut modifier quelques paramètres tels que le temps alloué pour effectuer le déplacement, le jour de semaine (semaine, samedi ou dimanche), le jour ou la nuit, etc. (Wehrmeyer 2011). Toutefois, l'outil ne peut être utilisé à des fins de planification pour les raisons suivantes :

- Les méthodes de calcul de chemin ne sont pas détaillées;
- La couche de superficie ne peut être extraite;
- L'heure à laquelle le calcul de surface est réalisé n'est pas connue. Il est posé que le service est constant pour toute la période de jour et de nuit. Il n'est donc pas possible d'observer les variations de service entre les pointes AM et PM et le reste de la journée par exemple.

## 2.5.3 Prisme espace-temps

Les indicateurs proposés jusqu'ici n'intègrent pas les contraintes de temps liés aux périodes d'ouverture et de fermeture des services, ni l'horaire particulier des personnes (Lee et McNally 2002). Les indicateurs espace-temps expriment la faisabilité d'accéder à des opportunités selon les contraintes de temps et d'espace de l'individu et du bien. C'est le volume du prisme espace-temps qui sert de mesure. Plusieurs ouvrages informent, commentent et utilisent ces indicateurs (Pirie 1979; Makri et Folkesson 1999; Lee et McNally 2002).

Le point faible de cette méthodologie est qu'elle nécessite plusieurs données, dont l'utilisation du sol avec les heures d'ouverture des commerces et services, ainsi que des renseignements personnels tels que l'emploi du temps de l'individu et de sa famille (Pirie 1979).

## 2.5.4 Tortuosité

La tortuosité est définie comme étant le rapport entre la distance parcourue réelle sur la distance à vol d'oiseau. Heran (2009) propose un indicateur similaire qu'il nomme taux de desserte.

$$\text{Taux de desserte} = \frac{\text{surface réellement accessible}}{\text{surface accessible à vol d'oiseau}}$$

Ce type d'indicateur mesure la performance de la forme urbaine. L'objectif poursuivi par Heran est de démontrer l'impact de coupure urbaine comme le sont les autoroutes et les chemins de fer sur l'accessibilité par mode actif vers les gares de transport collectif.

## 2.6 Méthode descriptive de la forme urbaine

Des méthodes ont été développées pour décrire les caractéristiques de la forme urbaine. La connexité et la connectivité sont les plus répandues. Elles sont brièvement présentées ici.

### 2.6.1 Connexité

La connexité est définie comme étant un concept topologique qui permet la caractérisation des liens entre les nœuds du réseau. Le concept vient de la théorie des graphes. L'objectif est de caractériser le réseau de transport en déterminant si la connexité est forte ou simple.

Un réseau a une forte connexité lorsque tous les nœuds sont reliés par des liens et qu'il n'y a pas de nœuds isolés. Connexité simple signifie qu'il y a un chemin constitué de liens non orientés (sans tenir compte des directions) qui relie tous les sommets. (Olaru et Dragu 2001; Dragu et Roman 2011). Une valeur de 1 signifie que le réseau a une forte connexité et de 0 s'il n'y en a pas.

Selon Rodrigue, un graphe (réseau) est dit connexe si : « pour toute paire de sommets distincts il existe une chaîne les reliant ». La direction n'a pas d'importance pour qu'un graphe soit connexe. Il existe plusieurs degrés de connexité, selon l'aisance de mouvement au sein du graphe (Rodrigue 1998).

## **2.6.2 Connectivité**

La connectivité se traduit par la multiplicité de chemins (direct ou alternatif) qui relie une origine et une destination. Olaru et Dragu (2001) élaborent quelques méthodologies pour créer des indicateurs de connexité.

## **CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE**

Dans l'introduction, le mémoire soulève une problématique de compréhension et de classification des indicateurs d'accessibilité. Ce mémoire propose donc un schéma conceptuel de l'accessibilité permettant de classer les indicateurs. Des méthodes, outils et indicateurs ont été développés. Ces derniers s'articulent autour de la classification proposée. Ainsi, dans ce chapitre, la première partie sera consacrée à la description du schéma conceptuel et la seconde à la méthodologie générale employée pour le développement d'indicateurs. La structure des chapitres suivants, concernant ces méthodes, outils et indicateurs, sera donc présentée.

### **3.1 Schéma conceptuel de l'accessibilité**

Les sections Problématique et Revue de littérature démontrent l'ambiguïté entourant le concept de l'accessibilité. Bien que cette problématique demeure réelle, il est tout de même possible de proposer une nouvelle typologie d'indicateur sous forme de schéma conceptuel regroupant les composantes de l'accessibilité et les relations qui coexistent entre elles. Étant donné l'existence nombreuse et complexe d'indicateurs d'accessibilité proposés par la littérature, une des finalités de ce schéma est d'en utiliser les embranchements pour effectuer la classification de ces indicateurs. Le schéma assure une structure d'analyse et de compréhension des indicateurs quant aux composantes mesurées. Ce schéma pourrait servir ultérieurement de base pour proposer une série d'indicateurs ayant pour objectif de représenter l'ensemble ou une partie des composantes de l'accessibilité. Ce schéma a été suggéré à la suite d'une analyse des indicateurs d'accessibilité existants et potentiels.

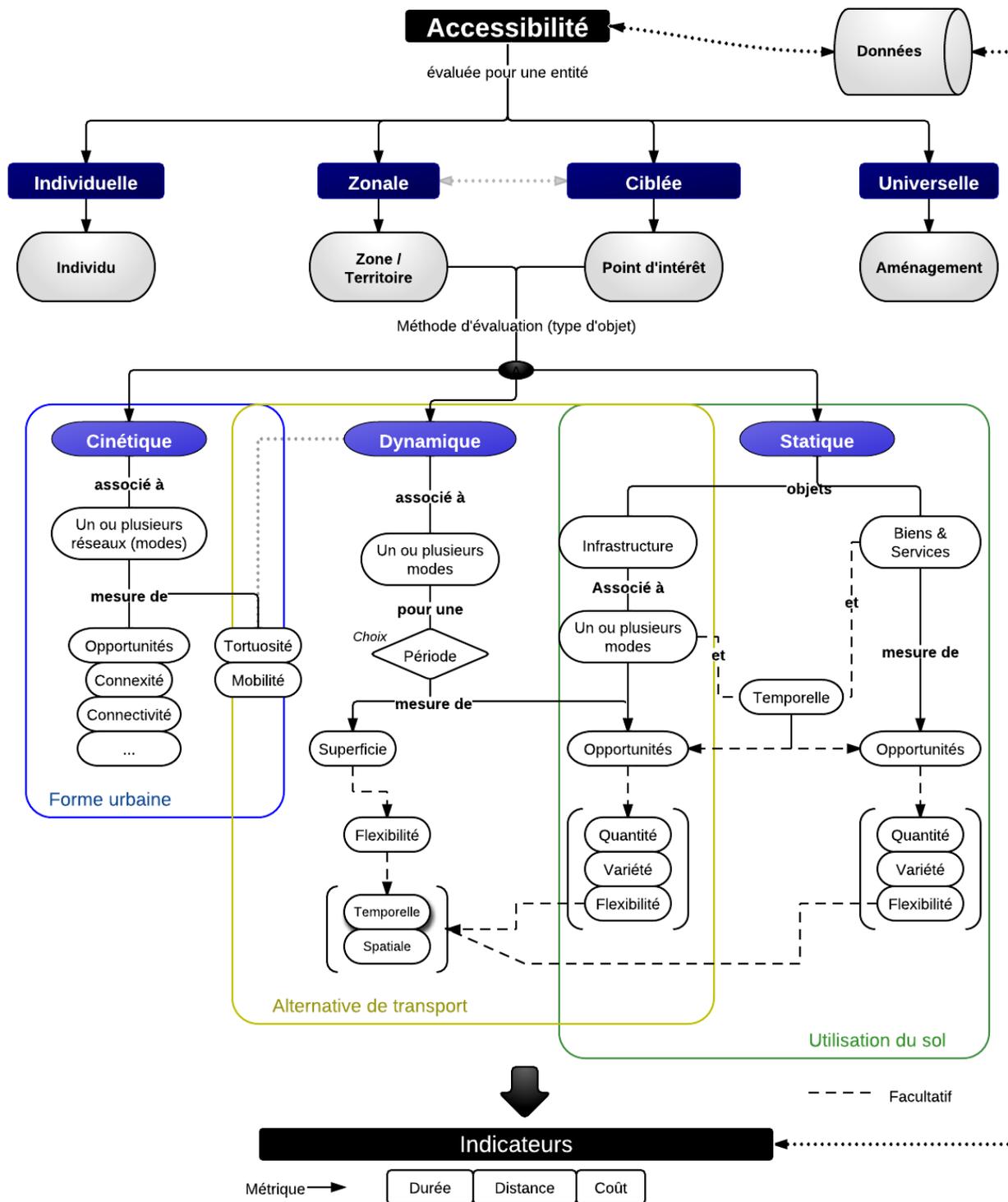


Figure 7. Schéma conceptuel de l'accessibilité

La première subdivision de l'accessibilité est définie conformément à la catégorie d'entités qui sera évaluée par un indicateur. Ces entités sont dites Individuelle, Zonale, Ciblée ou Universelle.

Ces quatre catégories ont été sélectionnées suivant un inventaire des indicateurs existants. La majorité de ces derniers peuvent se classer parmi l'une de ces catégories. Toutes les composantes de l'accessibilité peuvent être abordées à partir de cette ramification. À noter, les entités Individuelle et Universelle ne seront pas subdivisées en sous-embranchements, elles seront explorées de manière globale uniquement.

### **3.1.1 Les données**

Les données sont nécessaires pour obtenir un indicateur quelconque. L'accessibilité ne peut être définie sans la présence de données. Les différentes bases de données alimentent les indicateurs. Les entités du schéma correspondent à ce que l'on désire mesurer, les données sont les contraintes relatives à l'obtention des indicateurs.

### **3.1.2 Les pôles de l'accessibilité et méthode d'évaluation**

Ce mémoire propose qu'un indicateur soit dit d'accessibilité s'il tient compte d'au moins un des 3 éléments suivants : la qualité des alternatives de transport, l'utilisation du sol et la forme urbaine. Ces éléments sont définis comme étant les pôles de l'accessibilité puisqu'ils constituent, selon la littérature, les trois facteurs qui influencent le plus le niveau d'accessibilité. Plus d'un pôle peut être jumelé à l'intérieur d'un même indicateur. En fait, plus l'indicateur compte de sphères de l'accessibilité, plus il risque d'être pertinent. Il va de même pour l'accessibilité d'un lieu : plus l'utilisation du sol, les alternatives de transport et la forme urbaine sont bonnes, plus l'accessibilité risque de l'être aussi. La figure de gauche exprime cette relation entre les pôles et les indicateurs. Les alternatives de transport et la forme urbaine partagent plus d'espace commun, car bon nombre des indicateurs jumellent ces deux pôles indirectement. La figure de droite exprime cette même relation sous forme de graphique radar.

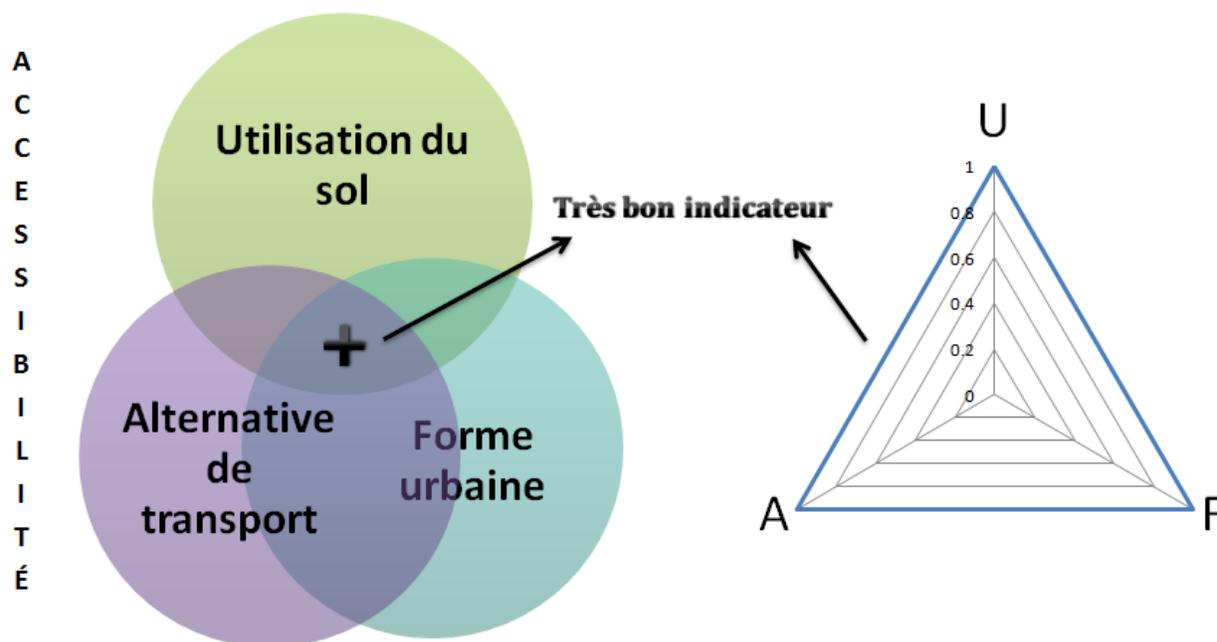


Figure 8. Pôles de l'accessibilité

Ainsi, il sera défini qu'un indicateur est dit d'accessibilité s'il appartient à au moins un des trois pôles. Ceci étant dit, un indicateur de forme urbaine uniquement représente **un** aspect de l'accessibilité et non l'ensemble. La théorie des pôles s'applique plus particulièrement aux indicateurs zonaux et ciblés.

### 3.1.3 Individuelle

La partie **individuelle** rassemble les concepts orientés vers l'accessibilité d'un individu ou d'un ménage. L'accessibilité dépend des propriétés personnelles d'un individu ou du ménage. En général, ce type de mesure nécessite la possession d'une variété de renseignements personnels sur un ou des individus/ménages ainsi que sur l'utilisation du sol. Il s'agit de la première difficulté liée à leur utilisation.

Parmi les indicateurs existants, deux groupes ont été identifiés comme étant dans la catégorie individuelle. Le premier groupe contient les indicateurs calculés à partir des prismes espaces-temps (Lee et McNally 2002). Ces indicateurs sont de catégorie individuelle, car ils ne dépendent pas d'une localisation particulière. L'accessibilité varie en fonction des propriétés de l'individu/ménage et non de son lieu de domicile ou de destination.

Les modèles d'utilité ou de choix modal appartiennent au deuxième groupe. Ces modèles s'intéressent aux habitudes de choix modal des individus. Ils sont donc liés à l'objet individu et ses propriétés et non à un point d'intérêt ou une zone sur un territoire. (Peters, Shim et al. 2010).

### 3.1.4 Universelle

La partie **universelle** rassemble les concepts orientés vers l'accessibilité d'un lieu ou d'un mode par l'ensemble de la population incluant les personnes ayant des déficiences limitant leur mobilité. Celles-ci peuvent être d'ordre moteur, visuel, auditif, cognitif et intellectuel.

Dans un rapport de la ville de Drummondville, une politique d'accessibilité universelle « vise l'aménagement d'un environnement géographique et social dépourvu d'obstacles, permettant à tous ses occupants, quels qu'ils soient, d'évoluer librement et en sécurité. » (Ville de Drummondville). Ainsi, les indicateurs se classant sous cette catégorie témoignent des actions favorisant l'accessibilité universelle qui se concrétisent majoritairement par des modifications à un aménagement. Les indicateurs qualifient donc ces derniers face à leur capacité à accueillir les divers handicaps. Dans un document synthèse de la Société de transport de Montréal intitulé *Pour un transport collectif toujours plus accessible*, la section dédiée à l'accessibilité universelle renferme des indicateurs tels que le pourcentage des lignes accessibles pour les personnes à mobilité réduite grâce aux autobus à plancher surbaissé (STM avril 2010). La STM évalue donc son accessibilité par son offre d'autobus à plancher surbaissé.

### 3.1.5 Zonale et ciblée

La partie **zonale** rassemble les concepts orientés vers l'évaluation de l'accessibilité d'une zone définie. Le découpage d'une zone peut varier selon l'objectif visé, elle peut être l'île-de-Montréal tout comme l'arrondissement Plateau-Mont-Royal. Les indicateurs doivent informer du niveau d'accessibilité de la zone. Un indicateur d'accessibilité de transport collectif pourrait être la densité d'arrêts à l'intérieur d'une zone.

La partie **ciblée** rassemble les concepts orientés vers l'évaluation de l'accessibilité à partir de/vers un point d'intérêt. Le point peut autant être un générateur de déplacement comme le serait le Centre Bell à Montréal qu'un domicile quelconque. Un indicateur tel que le nombre de ménages ayant accès à l'hôpital Saint-Justine en moins de 20 minutes de transport collectif se classerait dans la catégorie ciblée, la cible étant l'hôpital.

Les deux catégories, **zonale et ciblée**, ont une typologie similaire. L'objet de base évalué est significativement différent d'une catégorie à l'autre. L'un évalue une zone et l'autre un point d'intérêt. Toutefois, les mêmes trois pôles définis précédemment permettent de définir si un indicateur zonal ou ciblé appartient à la classe des indicateurs d'accessibilité.

De plus, les indicateurs, qu'ils soient zonaux ou ciblés, doivent évaluer la performance d'objets de l'espace-temps. Par exemple, pour comparer le niveau d'accessibilité en TC entre deux zones, l'indicateur choisi évaluera la performance d'objets relatifs au transport collectif comme les arrêts, les lignes, les autobus ou le service (horaire). Ces objets sont dits de l'espace-temps, car ils peuvent être d'ordre statique, temporel ou une combinaison des deux. Ces objets peuvent être subdivisés en trois types qui s'apparentent à ceux proposés par Trépanier (2002), les objets de type statiques, cinétiques et dynamiques. Le type d'objet observé correspond en fait à la méthode d'évaluation des indicateurs.

Pour chaque type d'objets et sa méthode, un exemple est offert dans le tableau qui suit.

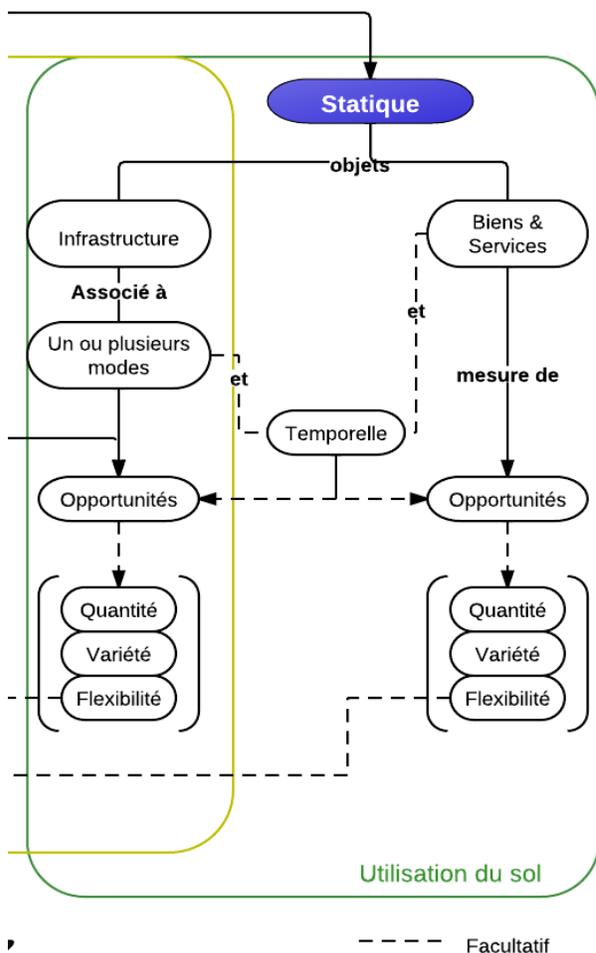
**Tableau 2. Objets relatifs au transport classés d'après les métaclases de Trépanier (2002)**

Type d'objets	Exemple d'objets
Dynamique	<b>Voiture, Train, Autobus, Personne, Vélo, etc.</b>
Cinétique	<b>Lien routier, Autoroute, Rue, Itinéraire, Ligne de TC, Piste cyclable, etc.</b>
Statique	<b>Arrêt TC, Station de Métro, de vélopartage ou d'autopartage, Stationnement, Parcomètre, logements, emplois, etc.</b>

Ces catégories servent de subdivision principale entre les différents indicateurs appartenant aux entités zonales et ciblées.

### **3.1.5.1 Statique (Méthode/indicateur)**

Les objets de type **statique** sont tout ce qui peut-être représenté par un point statique sur une carte. Ces objets caractérisent l'utilisation du sol. Un arrêt d'autobus et une station de métro font partie de ce type tout comme un logement et un emploi. Les méthodes liées à cette branche évaluent principalement la présence de ces objets sur un territoire ou à proximité d'un point d'intérêt. Un indicateur tel que le nombre d'arrêts à distance de marche (ex. 500 m) d'un point d'intérêt se classerait dans la catégorie d'évaluation d'un Point d'intérêt par méthode statique.



**Figure 9. Schéma de classification des indicateurs par méthode statique**

Le choix d'une période est facultatif, il intervient lorsque les opportunités sont cumulées en tenant compte des heures d'ouverture du commerce ou du service observé. Ainsi, une condition est ajoutée à l'indicateur, par exemple le *NResto1km* deviendrait le nombre de restaurants ouverts entre 5h et 9h ...

Les termes quantité, variété et flexibilité font référence au format de présentation des indicateurs. Ces principes reviennent régulièrement dans la classification des indicateurs. Le tableau suivant en résume la signification.

Ces objets statiques peuvent être divisés en deux grandes classes: les biens et services et l'infrastructure

### 3.1.5.1.1 Biens et services

Les biens et services couvrent tous les types d'utilisation du sol autres que les infrastructures de transport. Elles regroupent les commerces, établissements de santé, pharmacies, établissements scolaires, banques, logements, etc. Pour évaluer la présence de biens et services, des mesures d'opportunités d'activités sont généralement utilisées pour le calcul d'indicateur. L'indicateur du nombre de restaurants à moins de 1 km de rayon du domicile A servira d'exemple (abréviation : *NResto1km*).

**Tableau 3. Quantité, variété et flexibilité (temporelle ou spatiale)**

<b>Quantité</b>	Cumul d'opportunités (ex. Nombre de...)
<b>Variété</b>	Nombre d'opportunités d'activités variées
<b>Flexibilité</b>	Temporelle : variation de l'indicateur dans le temps Spatiale : variation de l'indicateur dans l'espace

### 3.1.5.1.2 Infrastructure

Lorsqu'il est question d'infrastructure comme une station de métro, un arrêt, une station de vélopartage ou un stationnement incitatif, l'indicateur appartient à la classe infrastructure. Cette classe juxtapose deux pôles de l'accessibilité, l'utilisation du sol et la qualité des alternatives de transport.

Les objets infrastructures sont régulièrement associés à un mode. Dans l'exemple d'un indicateur de densité de passages autobus aux arrêts entre 18h et 19h le lundi (passages-arrêts/km<sup>2</sup>). Le mode associé est le transport collectif, plus précisément l'autobus.

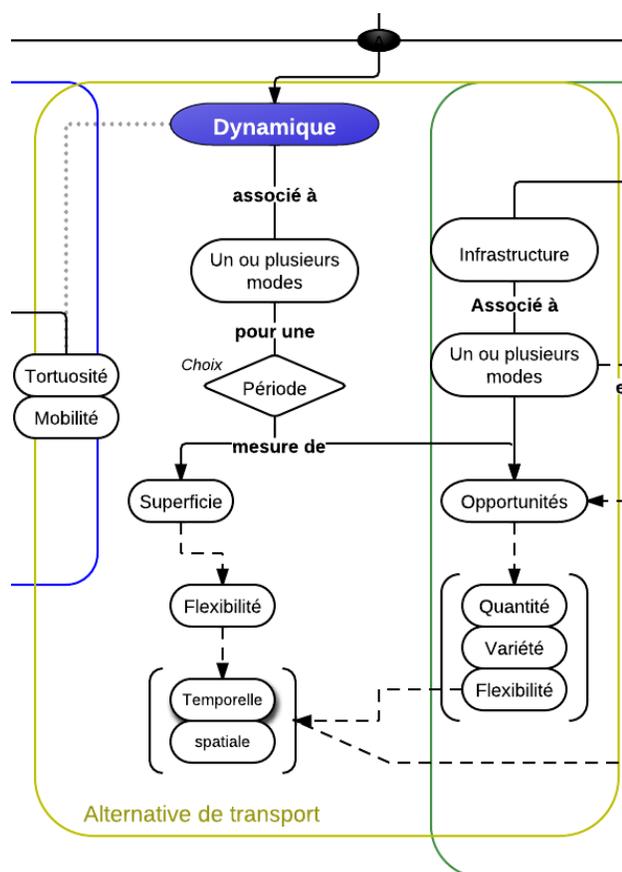
Le choix d'une période est facultatif : cela dépend des propriétés de l'objet statique et de l'objectif visé. Dans le cas où un arrêt TC est l'objet, il est possible de sélectionner une période puisque le service offert à cet arrêt varie dans le temps. Le service est considéré comme une propriété de l'arrêt. Ainsi, dans l'exemple, la période est le lundi entre 18h et 19h.

L'opportunité réfère à un indicateur qui compte les infrastructures à l'intérieur d'une zone ou une des propriétés de l'infrastructure. Cette différence peut être illustrée par ces deux indicateurs : le nombre de stations de vélopartage (point d'ancrage) dans la zone A et le nombre de vélos ancrés disponibles dans la zone A. Le premier comptabilise les opportunités de stations et le second comptabilise les vélos disponibles, une propriété des vélos stations.

### 3.1.5.2 Dynamique

Les objets de type **dynamique** sont en fait les utilisateurs du réseau cinétique. Ce sont tous les objets qui ont la capacité de se déplacer tels une personne, une voiture, un train et un vélo. Ils ne correspondent ni à un point statique, ni à une ligne. Les méthodes évaluent, en quelque sorte, la capacité d'un objet dynamique à se déplacer. L'indicateur du *nombre d'emplois*

accessibles en automobile en moins de 30 minutes en pointe AM à partir du domicile A servira d'exemple. L'abréviation de l'indicateur sera NEA30-auto.



**Figure 10. Schéma de classification des indicateurs, pour les objets de type dynamique**

Par superficie, on entend une surface dont les dimensions sont définies en fonction des paramètres de l'indicateur, soit l'origine (point d'intérêt), le mode et la période. Par exemple, au lieu d'être le nombre d'emplois qui est comptabilisé (NEA30-auto), ce pourrait être simplement l'aire de la surface accessible en 30 minutes (SA30-auto).

À titre d'exemple, le tableau suivant présente la classification de l'indicateur SA30-auto.

Généralement, l'objet statique appartient à un mode. Dans le cas de NEA30-auto, l'automobile est le mode associé à l'indicateur. Plusieurs modes peuvent être associés à un indicateur lorsque ce dernier compare la performance de deux modes.

La période évaluée correspond à l'heure à laquelle la mobilité est évaluée (Ex. pointe AM, semaine). Pour la marche et le vélo, il n'est pas nécessaire de sélectionner une période puisque les temps de parcours sont très peu affectés par la variation de temps.

Après avoir sélectionné le mode et la période, il faut déterminer si l'indicateur est une superficie ou une mesure d'opportunités.

Tableau 4. Classification de l'indicateur SA30-auto

Classes		Objet / spécification	Vérification par pôle	
Entité globale	Point d'intérêt	Domicile A	Alternative de transport	x
Méthode	Dynamique	Personne + Voiture	Utilisation du sol	
Mode	Automobile	Automobile	Forme urbaine	
Période (choix)	->	Pointe AM, semaine		
Mesure de	Superficie	km2		
Mesure de (suite)	-	-	Minimum 1/3 :	oui
Métrique	Durée	30 minutes		

Dans ce cas, la classification passe directement de superficie à métrique. La partie métrique sera détaillée ultérieurement. Le tableau se lit comme suit : (1) l'indicateur est de type point d'intérêt et ce point est le domicile A. (2) La méthode est dynamique puisque ce sont les voitures qui sont observées. Le mode associé est l'automobile et ainsi de suite.

La notion d'opportunités s'étend à tout ce qui à trait à l'utilisation du sol. Dans l'exemple de NEA30-auto, l'opportunité observée est le nombre d'emplois. Diverses autres opportunités peuvent être comptabilisées comme les épiceries, les parcs, les services (arrêts TC, hôpitaux, banques, pharmacies, etc.) et les commerces (restaurants, dépanneurs, etc.). En somme, tout qualificatif de l'utilisation du sol peut être nommé opportunité, c'est une offre à l'utilisateur.

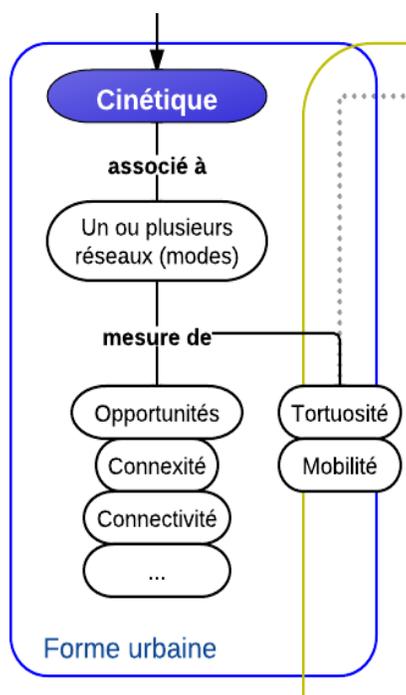
Un indicateur dynamique combiné à de l'opportunité permet de combiner deux pôles de l'accessibilité : la qualité des alternatives de transport et l'utilisation du sol.

### 3.1.5.3 Cinétique

Les objets de type **cinétique** sont en quelque sorte les éléments composant le réseau de voirie. Sur une carte, ces objets sont généralement des lignes. Ils rendent compte de la forme urbaine d'un secteur. Tous les liens routiers, pédestres, cyclables et de transport collectif y sont inclus. Pour ce qui est du transport en commun, une ligne ou un itinéraire est considéré comme un objet cinétique. Les méthodes cinétiques évaluent donc la performance des réseaux par rapport à la forme urbaine de ces derniers. Par exemple, une mesure de connexité du réseau cyclable provient d'une méthode cinétique.

Certains éléments de la forme urbaine sont inclus indirectement dans les indicateurs dynamiques lorsqu'il y a calcul de chemin. La forme du réseau a automatiquement un impact sur la distance à parcourir entre deux points. Il existe toutefois des indicateurs propres à la forme

urbaine tels que la connexité, la connectivité, l'opportunité réseau, la tortuosité et la mobilité (performance du réseau).



**Figure 11. Schéma de classification des indicateurs, pour objets de type cinétique**

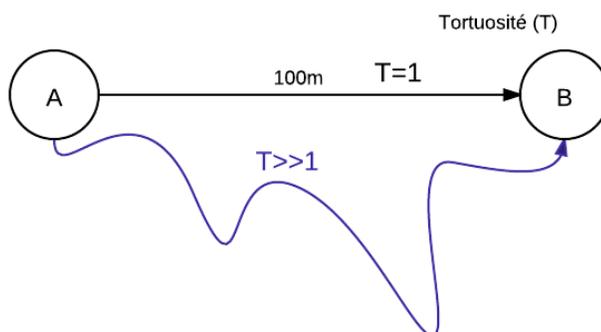
La première étape de classification est de déterminer à quel(s) mode(s) (ou réseaux) est associé à l'objet cinétique observé.

L'opportunité cinétique réfère à des indicateurs qui cumulent les opportunités de réseaux accessibles. En d'autres termes, ce serait un indicateur qui, pour une zone par exemple, cumulerait le nombre de kilomètres de voie rapide ou de pistes cyclables.

Les indicateurs de connexité et de connectivité ont été décrits à la section 2.6.1 de la Revue de littérature.

La tortuosité est en fait le ratio de la distance parcourue sur la distance à vol d'oiseau entre une origine et une destination. Cela donne

un indice sur la performance du maillage réseau. Par exemple, deux points (A et B) peuvent être à proximité l'un de l'autre (100 m), mais le chemin le plus court les reliant est extrêmement sinueux. Ceci fait donc augmenter la valeur de la tortuosité ( $T \gg 1$ ).



**Figure 12. Schéma explicatif de la tortuosité**

Puisqu'il y a calcul de chemin, la tortuosité est à la fois cinétique et dynamique. Toutefois, comme l'objet observé est le réseau et non la mobilité, il a été choisi de classer la tortuosité parmi les méthodes cinétiques. Elles touchent toutefois à deux pôles de l'accessibilité : forme urbaine et alternative de transport.

Une mesure de tortuosité est particulièrement intéressante à évaluer en bordure de frontière ou coupure urbaine comme le serait un fleuve, une autoroute ou une voie ferrée.

La classe des indicateurs cinétiques de mobilité s'apparente à la catégorie que la littérature nomme infrastructure. C'est-à-dire que les indicateurs analysent la performance du réseau. Ce sont des indicateurs de type niveau de congestion des infrastructures, de temps total perdu ou de vitesse moyenne sur le réseau

#### **3.1.5.4 Métrique : durée, distance, coût**

La classification peut se terminer par la détermination de la métrique de l'indicateur. Les métriques disponibles sont les mêmes pour toutes les méthodes (cinétique, dynamique ou statique) et entités (PI ou zone). La majorité des indicateurs sont évalués en utilisant la distance, la durée ou le coût comme métrique. Par exemple, du même indicateur d'opportunités, trois métriques peuvent être utilisées :

1. durée : nombre d'emplois accessibles en 30 minutes;
2. distance : nombre d'emplois accessibles en 15 km;
3. coût : nombre d'emplois accessibles en moins de 40\$ (coût généralisé);
  - a. Le coût généralisé se calcule par une fonction qui tient compte de plusieurs variables. Ces variables et leurs poids (a,b,c et d) varient en fonction du modèle. Un exemple d'équation de coût généralisé pour un déplacement en transport collectif serait :

$$C = a * Distance + b * TempsParcours + c * TempsAttente + d * Tarif$$

où a,b,c et d peuvent changer selon le type de personne.

## **3.2 Structure de la méthodologie**

Le calcul d'indicateurs nécessite l'emploi d'outils et de méthodes variant selon le mode et surtout la finalité d'utilisation. Dans cette recherche, des méthodes sont proposées afin de générer une variété d'indicateurs. Le schéma conceptuel aide à la classification des indicateurs présentés dans ce mémoire, mais il constitue également la structure méthodologique des chapitres suivants.

### **3.2.1 Structure générale**

Sur le schéma de la structure méthodologique générale (Figure 13), toutes les classes mises en évidence impliquent qu'au moins un indicateur développé y est attaché.

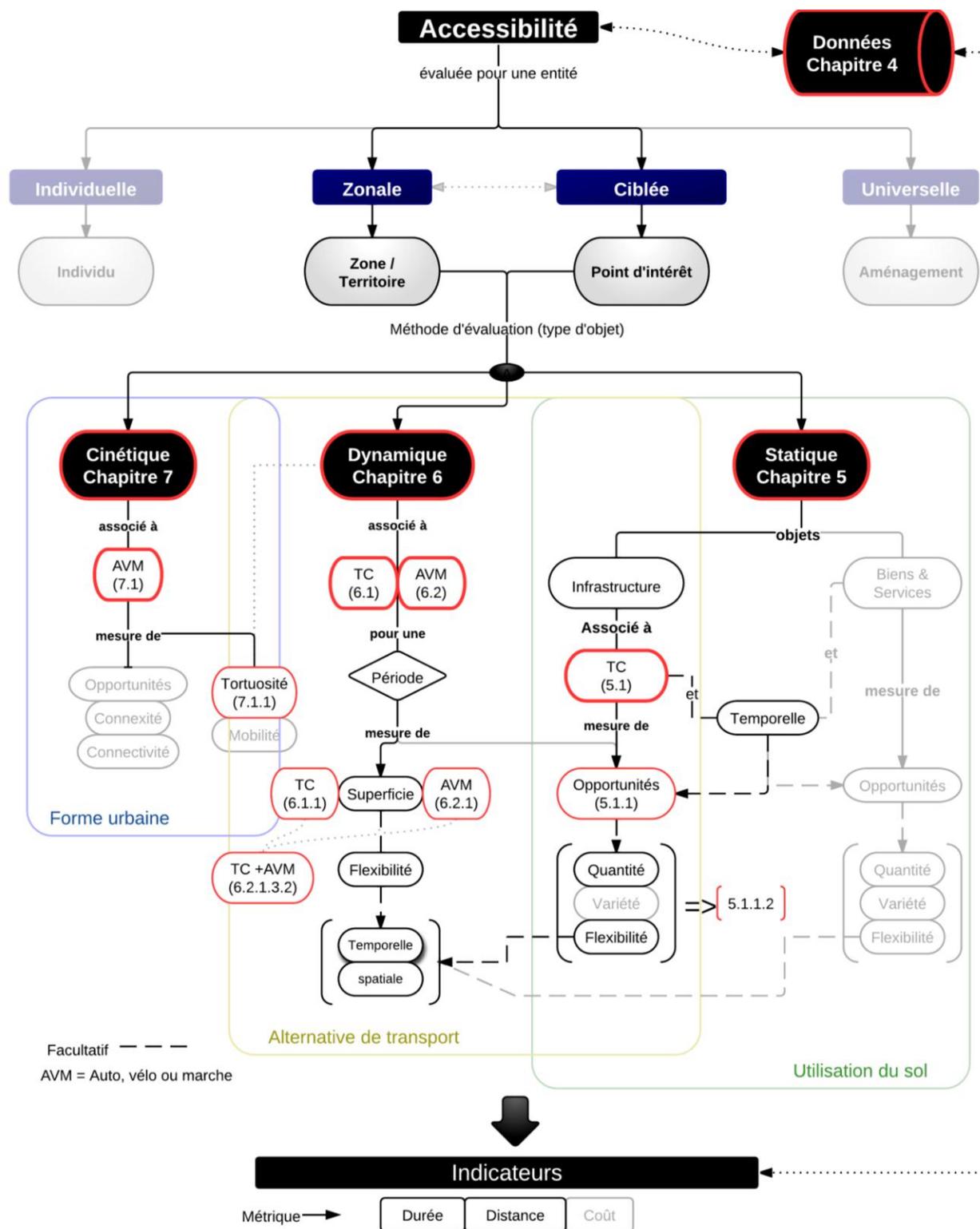


Figure 13. Schéma de la méthodologie générale

Le Chapitre 4 est entièrement consacré à la description des données exploitées par les méthodologies subséquentes. Les données sont la principale contrainte à l'obtention d'indicateurs. Montréal dispose de plusieurs bases de données accessibles facilitant certaines mesures. Dans ce mémoire, deux types de données sont utilisées, soit de données sociodémographiques et opérationnelles (réseaux de transport).

Les méthodologies et indicateurs développés s'appliquent uniquement aux entités zonale ou ciblée. La distinction entre l'une et l'autre se fera au fur et à mesure que les indicateurs seront présentés à l'intérieur même des chapitres.

Les chapitres 5, 6, et 7 renferment le cœur méthodologique du mémoire. Ces derniers incluent les divers indicateurs proposés et les méthodes associées.

- Le chapitre 5 s'intéresse à la classe des méthodes d'évaluation Statique. Les indicateurs, dans ce mémoire, sont entièrement développés autour d'objets de type Infrastructure pour le transport collectif (section 5.1).
- Le chapitre 6 s'intéresse à la classe des méthodes d'évaluation dynamique. La première portion du chapitre élabore des méthodologies pour le transport collectif (section 6.1) et la seconde pour l'auto, le vélo et la marche (AVM) (section 6.2).
- Le chapitre 7 aborde brièvement la tortuosité qui est un indicateur provenant des méthodes d'évaluation cinétique. Ce dernier s'applique ici au mode auto, vélo et marche.

La totalité des indicateurs développés sont de métrique distance ou durée.

### 3.2.2 Structure des chapitres 5, 6 et 7

La structure des chapitres 5, 6 et 7 est la même. La figure suivante illustre ce découpage. Toutefois, la présentation des limites et perspectives diffèrent selon les chapitres.

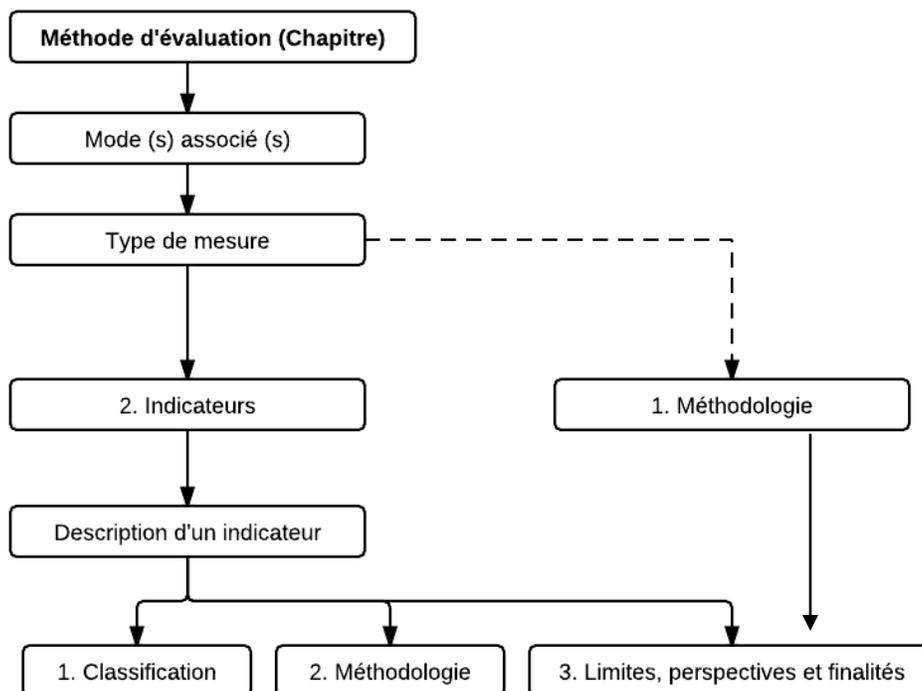


Figure 14. Structure de découpage des chapitres 5, 6 et 7

## CHAPITRE 4 SYSTÈME D'INFORMATION

Des indicateurs ne peuvent être développés sans la disponibilité de données pertinentes et justes. Les indicateurs sont fondés autour du système d'information, ils en sont dépendants. Une société désirant se munir d'indicateurs de performance doit d'abord fournir les données requises.

Les principales sources de données exploitées dans cette recherche sont le « General transit feed specification » (GTFS), le recensement canadien, l'enquête Origine-Destination et les relevés GPS de Communauto pour le territoire de l'île de Montréal. Cette diversité d'information permet la création d'indicateurs qui prennent en compte l'aspect spatio-temporel du transport et la sociodémographie du territoire.

### 4.1 Les données

Les données constituent la base intégrante de toute analyse. Elles permettent de générer des analyses, de créer des indicateurs et de produire des outils de visualisation.

#### 4.1.1 Les données « General transit feed specification » (GTFS)

La disponibilité du calculateur de trajet Google Transit date du 1<sup>er</sup> novembre 2008 à Montréal (Media 2009). L'usage principal est d'offrir à l'utilisateur la possibilité de connaître la meilleure alternative de transport collectif entre une origine et une destination. Pour fonctionner, Google Transit exige que les autorités de transport fournissent un ensemble de données que l'on nomme GTFS, « General Transit Feed Specification ». En 2011, près de 450 agglomérations à travers le monde utilisent la technologie Google Transit. La Figure 15 illustre les États, provinces ou pays se servant actuellement des GTFS pour l'une de leurs villes. La Figure 16, quant à elle, identifie les villes européennes adhérant à cette technologie.



Figure 15. Pays, états ou provinces munis du système Google Transit par GTFS, février 2011

Source 1. URL <http://www.google.com/intl/en/landing/transit/index.html>



Figure 16. Villes munies de GTFS en Europe, février 2011

Source 2. URL <http://www.google.com/intl/en/landing/transit/index.html>

La structure des bases de données GTFS est commune à toutes les villes. Les GTFS sont en fait une structure de bases de données à respecter. Il s'agit d'une série d'environ 12 fichiers textes aux contenus prédéfinis afin que Google puisse les utiliser efficacement dans son calculateur de trajet. Ces derniers rassemblent des informations géospaciales (coordonnées) et de services (fréquence, trajet, arrêt, horaire, type de mode, etc.) (Google 2011). Le schéma relationnel des 12 tables (fichiers) requises est explicité à la figure suivante. La liste d'éléments à l'intérieur des encadrés correspond aux champs requis. Les tables encadrées de rouge seront

utilisées dans le cadre de cette recherche. Celles entourées de bleu sont optionnelles (non essentielles au calculateur Google).

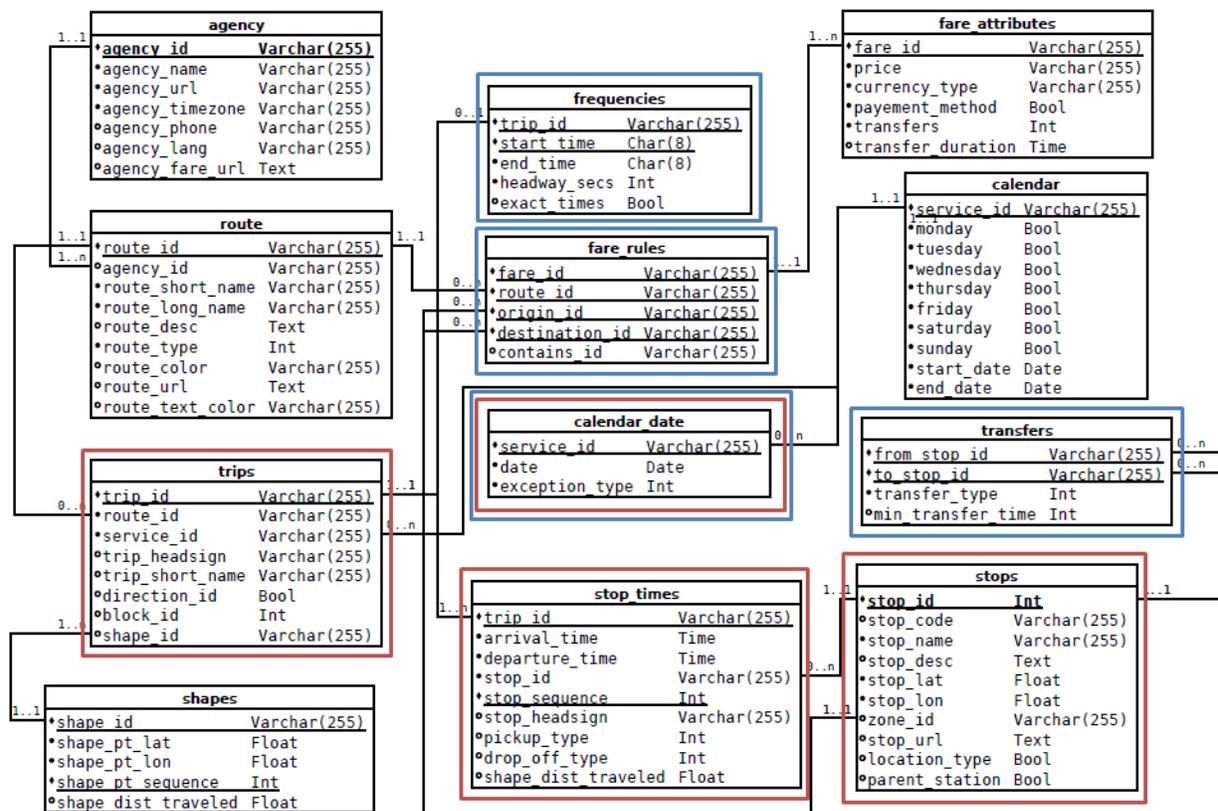


Figure 17. Schéma relationnel de la base de données GTFS

Une brève description des champs contenus dans chacune d'elle est fournie. Les tables optionnelles (encadré bleu) sont exclues, ainsi que certains champs optionnels.

- Agency - Données sur l'agence de transport :
  - o Identifiant de l'agence (ID), Nom, URL, Téléphone, Langue, Fuseau horaire, etc.
- Route - Données sur la ligne :
  - o Identifiant de la ligne (ID), ID de l'agence, Nom de la ligne, Type de ligne (métro, autobus, express), etc.
- **Trips** - Données sur les voyages :
  - o ID du voyage, ID de la ligne, ID du service, Direction, « shape », etc.

- Shapes - Données sur les polygones, soit la suite de points géométriques d'une ligne de TC qui permettrait de tracer la ligne sur une carte :
  - Id de la polyligne, Latitude, Longitude des points d'inflexion, Numéro de séquence des points, Distance parcourue le long de la polyligne.
- **Calendar\_date** (optionnelle) - Celle-ci est optionnelle, mais elle permet de connaître pour chacune des dates comprises dans le GTFS, le type de service associé (service de semaine, samedi, dimanche, férié, etc.). Un GTFS de la STM contient généralement trois mois d'informations;
  - ID du service, Date.
- **Stops\_time** – Données sur l'horaire à l'arrêt. Elle fournit l'information concernant les heures de passage aux arrêts pour tous les types de service :
  - ID du voyage, Heure d'arrivée à l'arrêt, Heure de départ à l'arrêt, ID de l'arrêt, Numéro de séquence, Distance sur la polyligne reliée.
- Fare attributes - Données sur les titres (billet à l'unité) offerts :
  - ID du titre (billet), Tarif, Devise, Mode de paiement disponible, Nombre de transferts permis, Temps alloué pour faire un transfert.
- Calendar – Données sur le calendrier et les services associés.
  - ID du service, date de début de ce type de service, date de fin, Lundi\*, Mardi\*, Mercredi\*, etc.
    - \*Lundi (exemple) : nombre binaire où une valeur de 1 implique que le ID service est valide pour tous les lundis entre la date de début et de fin.
- **Stops** – Données sur les arrêts :
  - ID de l'arrêt, Nom de l'arrêt, Code l'arrêt, Latitude de l'arrêt, Longitude,

Les tables sont liées via des identifiants uniques (ID). De cette manière, il est possible de reconstituer toutes les informations du réseau.

Les bases de données GTFS utilisées dans le cadre de cette recherche sont celles de la Société de transport de Montréal (STM). Ses services couvrent l'ensemble du territoire

montréalais. La STM compte 5 lignes de métro, 186 lignes d'autobus de jour et 23 lignes la nuit. Les GTFS incluent toutes les lignes de bus et de Métro incluant les stations/arrêts à l'extérieur de Montréal. Le train de banlieue géré par l'Agence métropolitaine de transport (AMT), qui à son tour dessert une partie de Montréal, n'est pas inclus dans les bases de données GTFS utilisées ici. Ces services seront donc négligés.

Trois ensembles de données, appartenant à différentes périodes de temps, ont été exploités. Les dates de début et de fin de la période de couverture des ensembles GTFS sont énoncées au tableau suivant.

**Tableau 5. Période des données GTFS de la STM**

Identifiant	Date de début	Date de fin
09	2009-08-31	2010-01-03
10	2010-09-01	2010-12-31
11	2011-03-28	2011-09-04

#### **4.1.2 Le recensement canadien**

Le gouvernement canadien procède à un recensement de la population tous les 5 ans. Les informations recueillies sur la population, les ménages, les familles et les unités de logements sont diffusées pour différents découpages du territoire (Aire de diffusion, Secteur de recensement, Subdivision de recensement, Agglomération de recensement, Région métropolitaine de recensement, Division de recensement).

Plusieurs caractéristiques d'importance sont recensées telles que l'âge, le sexe, la citoyenneté, la langue maternelle, le niveau de scolarité, le revenu du ménage, etc. Ce recensement constitue une source d'informations pertinentes dans la génération d'indicateurs qui traitent d'aspects sociodémographiques. Dans ce mémoire, le recensement de 2006 sera consulté par aire de diffusion, soit l'unité de découpage la plus petite pour laquelle un maximum d'informations est publiés.

#### **4.1.3 Enquête origine-destination 2008**

L'enquête Origine-destination de la grande région de Montréal s'effectue approximativement aux 5 ans depuis 1970. Il s'agit d'une enquête téléphonique visant à connaître les habitudes de déplacements des personnes et ménages. Environ 5% des ménages du territoire

sont interrogés au sujet de leurs déplacements et de leurs caractéristiques sociodémographiques et socioéconomiques. La plus récente enquête date de 2008 où 66 000 ménages, soit plus de 156 000 personnes, ont participé (AMT 2011). De cet échantillon, l'ensemble de la population peut-être représenté grâce aux facteurs d'expansion qui octroient différents poids aux entités ménages, personnes et déplacements. Ce facteur est estimé à partir du recensement canadien.

Le format désagrégé des renseignements recueillis est utilisé quotidiennement pour la planification du développement des réseaux de transport et pour différentes analyses de mobilité. Ce mémoire s'intéresse principalement aux objets personne et ménage de cette enquête dite orienté-objet afin de créer des indicateurs décrivant l'accessibilité propre à la localisation d'un ménage ou d'une personne ainsi que de leurs caractéristiques respectives (Chapleau et Trépanier 1997).

#### **4.1.4 Relevé GPS de Communauto**

Communauto est une entreprise d'autopartage implantée à Montréal depuis 1995 (Communauto-inc. 2012). Certains véhicules de la flotte Communauto sont munis d'appareils GPS qui captent la position, la date, l'heure et la vitesse instantanée d'un véhicule à des intervalles variant de 2 à 5 minutes.

Les mesures prises par ces GPS sont rassemblées à l'intérieur de bases de données et elles peuvent être exploitées à différentes fins. Elles serviront, ici, essentiellement à l'ajustement de temps de parcours automobile (voir 6.2.2-Mesure de superficie : ajustement des temps de parcours automobile).

#### **4.1.5 Limites des données**

Dans le cadre de cette recherche, les GTFS ne suivent pas de processus de validation des renseignements. Pourtant, il arrive que des erreurs se glissent à l'intérieur des bases de données GTFS. Un risque est donc associé à leur utilisation.

Le découpage le plus fin pour lequel Statistique Canada divulgue les données du recensement canadien est l'aire de diffusion. Ces zones demeurent relativement petites lorsque la population est dense, elles s'élargissent lorsque la densité diminue. Lorsque des analyses sont faites dans des secteurs à faible densité, il peut y avoir une perte de précision.

Les données de positions et de vitesses provenant des relevés GPS de Communauto nécessitent validation. Certaines vitesses captées sont aberrantes. Il faut donc effectuer un tri pour prendre en compte que les valeurs plausibles. Dans cette recherche, ces données servent à calculer une vitesse moyenne sur un tronçon à partir de plusieurs vitesses instantanées captées par ces GPS. Or, certains tronçons n'ont aucune ou très peu de vitesses captées. La vitesse moyenne s'avère donc nulle ou non représentative de la réalité. Ces données sont donc utilisées à des fins expérimentales dans ce mémoire.

## **4.2 Territoire à l'étude**

Dans un contexte d'évaluation de l'accessibilité via des indicateurs, le choix d'une région métropolitaine s'avère préférable. Les villes sont plus enclines à posséder des données pertinentes à l'évaluation de l'accessibilité. La présence de générateurs importants permet également de mieux visualiser la pertinence de certains indicateurs de type point d'intérêt. Toutefois, la majorité des indicateurs développés dans ce mémoire peuvent s'appliquer à tout type d'environnement.

Cette recherche s'appuie sur le cas de l'île de Montréal. Il existe à Montréal une variété de types de secteur. Certains sont agricoles ou caractéristiques de la banlieue, d'autres sont très denses et à faibles revenus. On y trouve des centres commerciaux avec de nombreux espaces de stationnement, tel le Fairview Pointe-Claire, tout comme des artères commerciales dont les stationnements se trouvent essentiellement en bordure de route (Promenade Saint-Hubert, Côtes-des-neiges, etc.). La disparité des formes urbaines et des caractéristiques sociodémographiques rendent la ville de Montréal idéal pour démontrer la pertinence des contributions de ce mémoire.

Le découpage des enquêtes Origine-Destination 2003 et 2008 par secteurs municipaux est repris pour certains indicateurs zonaux. L'île renferme 41 secteurs.

## CHAPITRE 5 INDICATEURS STATIQUES

Une méthode statique signifie que l'objet mesuré peut être représenté par un point sur une carte. Les indicateurs statiques qualifient généralement l'utilisation du sol. Dans ce chapitre, le principal objet statique observé est l'arrêt d'autobus ou de métro. Les méthodes statiques débutent par une division en deux classes d'objets accessibles, soit des infrastructures ou des biens et services. Six indicateurs sont présentés dans la classe des infrastructures de transport collectif. La structure de ce chapitre est présentée à la figure suivante.

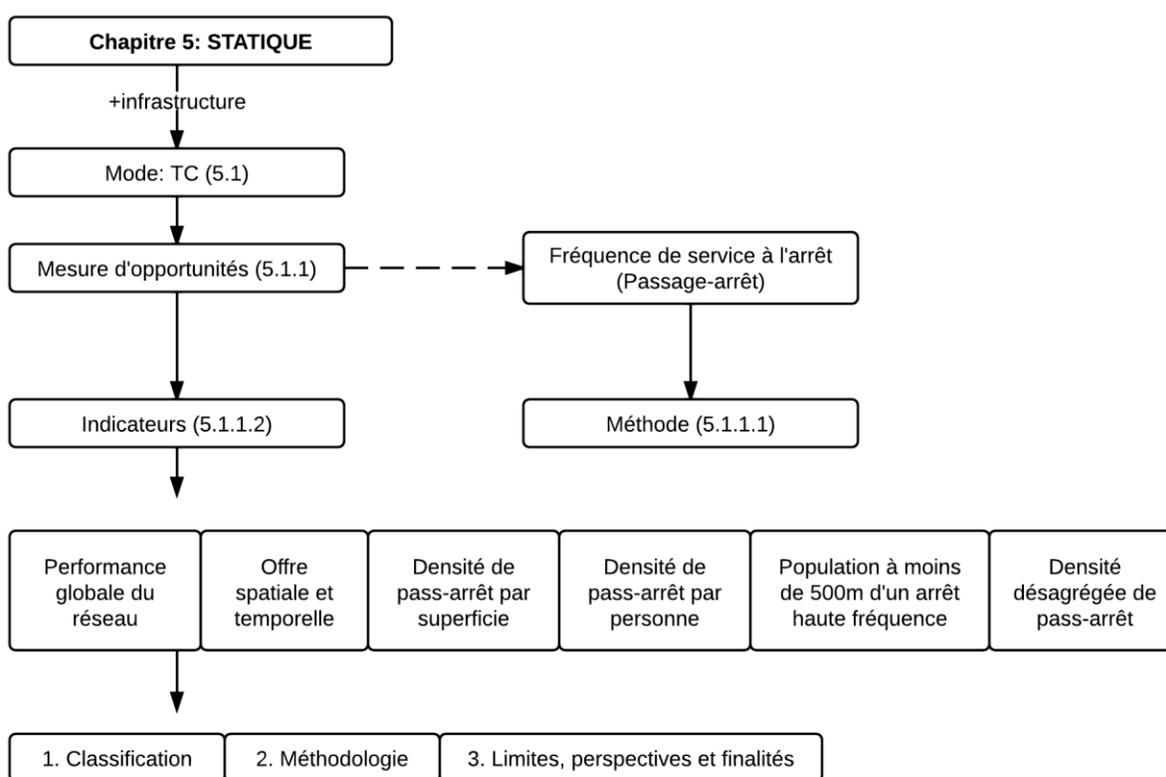


Figure 18. Structure du chapitre 5: INDICATEURS STATIQUES

### 5.1 Mode : Transport collectif

Plusieurs moyens peuvent être utilisés pour évaluer la performance du réseau de transport collectif en termes d'accessibilité. Il est possible de qualifier un réseau par sa fréquence de service, sa couverture de réseau, son offre d'alternative, le niveau de service, etc.

Les indicateurs et méthodologies présentés ici mesurent l'accessibilité en transport collectif. Six groupes d'indicateurs statiques seront présentés dont la majorité se veut sensible aux variations de l'offre de transport à différentes échelles d'observation. Ces variations peuvent être d'ordre temporel (variation dans le temps) ou spatial (variation dans l'espace). Les mesures découlent tous de la notion de passages-arrêts, les indicateurs et leurs méthodes divergent toutefois.

Les données GTFS de la STM ont servi à la démonstration des méthodologies.

### **5.1.1 Mesure d'opportunités : Fréquence de service à l'arrêt (Passages-arrêts)**

L'arrêt est une infrastructure statique dont la position varie très peu dans le temps. Il constitue le lien entre l'utilisateur et le réseau de transport collectif. La STM annonçait dans son rapport *Pour un transport collectif toujours plus accessible* que, suivant son critère d'accès réseau de 500 m en journée, en pointe 99% des logis ont accès au réseau et de 95% à 98% pour le reste de la journée (STM 2010). Or, l'accessibilité d'un arrêt passe par sa proximité, mais aussi par l'offre de service associée à cet arrêt (caractéristiques de l'arrêt). La proximité ne suffit pas à décrire l'accessibilité. C'est pourquoi l'intérêt est porté ici sur des méthodologies traduisant plutôt la performance des arrêts en termes d'offre de service. Certains indicateurs proposés combinent à la fois proximité et performance.

Les méthodologies et les indicateurs s'appuient donc sur la notion de passages-arrêts qui est en fait la somme des passages d'un objet dynamique (autobus, métro, etc.) à un ou plusieurs arrêts pour un intervalle de temps (voir Équation 1). Cette mesure servira au calcul d'une variété d'indicateurs.

$$Pass * arrêts_{ij} = \sum_i^j Passage(arrêt_1) + \sum_i^j Passage(arrêt_2) + \dots + \sum_i^j Passage(arrêt_n) \quad \text{Équation 1}$$

Où,

Pass-arrêts<sub>ij</sub> = Somme des passages-arrêts pour un intervalle de temps de i à j;

i = Limite inférieure de l'intervalle de temps (ex. 8h00);

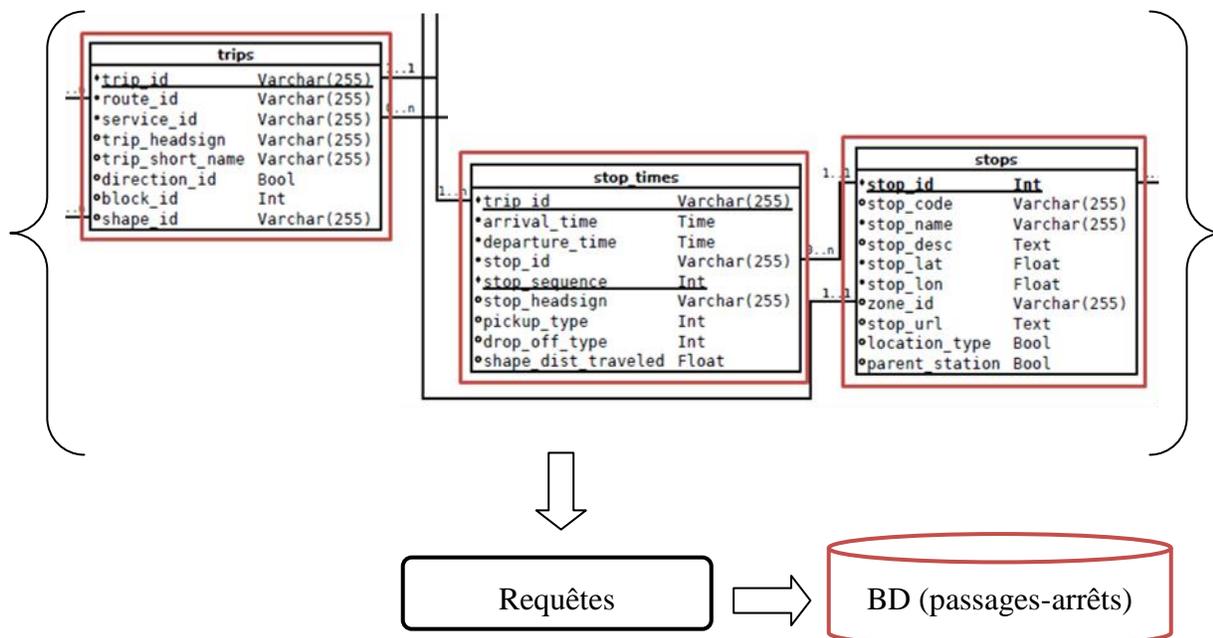
j = Limite supérieure de l'intervalle de temps (ex.8h30);

$\sum_i^j Passage(arrêt_n)$  = Nombre de passages à l'arrêt n durant l'intervalle de temps.

L'intervalle de temps, dans les exemples qui suivent, est généralement de 30 minutes variant entre 4h00 AM et 27h30 (3h30) AM. Le choix de cet intervalle provient de l'hypothèse qu'un arrêt, dont l'intervalle de service est supérieur à 30 minutes, est plus ou moins attractif. Dans ces cas, l'arrêt ne contribue pas à l'amélioration du niveau d'accessibilité.

#### **5.1.1.1 Méthode : Obtention des passages-arrêts par requête sur les données GTFS**

L'objectif de cette section est de décrire la méthodologie employée pour obtenir une base de données contenant les passages-arrêts par tranche de 30 minutes pour les 8774 arrêts du réseau de la STM. L'intégrale de la méthodologie est déposée en Annexe de sorte qu'uniquement les grandes lignes sont abordées ici. La figure suivante présente l'algorithme pour la construction de la base de données de passages-arrêts.



**Figure 19. Algorithme de construction de la base de données de passages-arrêts**

Trois fichiers GTFS sont nécessaires pour comptabiliser le nombre de passages par arrêt: trips, stop\_times et stops. Des requêtes, comptabilisant le nombre de départs par arrêt (stop\_id) pour une période de temps (departure\_time) et une période de service (service\_id), sont effectuées sur les données. En fait, il s'agit de faire une somme d'enregistrements par arrêt avec des conditions de service (service\_id = semaine) et d'intervalle de temps (departure\_time >= hh et departure\_time < hh). Le résultat est stocké dans une colonne (ex. p400). Cette requête est répétée pour toutes les périodes de 30 minutes entre 4h00 et 27h59.

Cette procédure génère une table de données semblable à celle présentée à la figure suivante. Les colonnes identifiées par pXXX contiennent les passages-arrêts pour chaque tranche de 30 minutes.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ
1	STOP_ID	STOP_LON	STOP_LAT	SERVICE_ID	P400	P450	P500	P550	P600	P2400	P2450	P2500	P2550	P2600	P2650	P2700	P2750
2	1	-73.66828	45.55534	10N_S	0	0	1	3	:	6	4	1	0	0	0	0	0
3	2	-73.65593	45.55093	10N_S	0	0	0	4	:	6	4	1	0	0	0	0	0
4	3	-73.63844	45.54609	10N_S	0	0	0	4	:	5	5	1	0	0	0	0	0
5	4	-73.62881	45.54333	10N_S	0	0	0	4	:	5	4	1	0	0	0	0	0
6	5	-73.61470	45.53890	10N_S	0	0	0	9	1:	11	4	1	0	0	0	0	0
7	6	-73.60400	45.53481	10N_S	0	0	0	3	:	6	4	1	0	0	0	0	0
8	7	-73.59808	45.53134	10N_S	0	0	0	4	:	6	4	1	0	0	0	0	0
9	8	-73.58878	45.52794	10N_S	0	0	0	4	:	6	4	1	0	0	0	0	0
8755	4000513	-73.95193	45.40780	10N_S	0	1	1	2	:	1	1	2	1	2	1	0	1
8756	4000524	-73.94635	45.40268	10N_S	0	1	1	2	:	1	1	2	1	2	0	0	0
8757	4000553	-73.95338	45.40680	10N_S	0	0	2	1	:	1	1	1	1	1	0	0	0
8758	4000580	-73.93978	45.41401	10N_S	0	0	0	0	:	0	0	0	0	0	0	0	0
8759	4000583	-73.93952	45.41377	10N_S	0	0	0	0	:	0	0	0	0	0	0	0	0
8760	4000610	-73.93248	45.42382	10N_S	0	0	0	0	:	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure 20. Fichier résultat du nombre de passages par arrêt par tranche de 30 minutes (exemple)

### 5.1.1.2 Indicateurs d'opportunités

La base de données du nombre de passages par tranche de 30 minutes génère des possibilités multiples de visualisation des résultats et de création d'indicateurs. Des indicateurs sont dérivés directement de la base de données et d'autres nécessitent l'intermédiaire de système d'information géographique (SIG). L'intérêt est de créer des indicateurs, des cartes et des graphiques qui mettent en valeur la variation de l'offre de service en fonction de l'heure, du type de journée et de la localisation des arrêts.

#### 5.1.1.2.1 Indicateurs de performance globale du réseau

Les passages-arrêts peuvent être considérés comme des indicateurs en soi. La base de données brute de passages-arrêts par demi-heure offre directement des indicateurs de performance globale.

Les indicateurs de performance globale du réseau appartiennent à la classe décrite dans le tableau suivant.

**Tableau 6. Classification des indicateurs de performance globale du réseau***Indicateurs de performance globale du réseau*

	<b>Classes</b>	<b>Objet / spécification</b>	<b>Vérification par pôle</b>	
Entité globale	Zone	Montréal	Alternative de transport	X
Méthode	Statique	Poteaux - arrêts	Utilisation du sol	X
Objets évalués (type)	Infrastructure	Arrêts	Forme urbaine	
Mode	TC	Autobus / métro		
Et	Temporelle	Par heure		
Mesure de	Opportunités	Passages-arrêts	Minimum 1/3 :	oui
Mesure de (suite)	Quantité ou flexibilité (temporelle)	-		
Métrique	Durée	30 minutes		

Ces indicateurs sont des mesures d'opportunités, car ils comptabilisent une caractéristique (les passages) d'un objet statique (arrêt). Ils peuvent être exprimés sous forme de quantité (nombre de passages-arrêts) ou de flexibilité temporelle.

La première application proposée est de grouper les arrêts en fonction du nombre de passages-arrêts par intervalle de temps. Par exemple, un premier groupement comptabilise les arrêts avec un passage à la demi-heure, puis un second groupe ceux à deux passages, etc. Les graphiques suivants sont des exemples de résultats s'appuyant sur les données GTFS de la STM de novembre 2010 pour un jour de semaine. Le premier graphique illustre les résultats bruts tandis que le second les présente sous forme de proportion. Les arrêts sont divisés en six groupes de fréquence de passage. La courbe noire, reliée à l'échelle de droite, représente la somme de tous les passages-arrêts du réseau. Elle fournit de l'information supplémentaire sur l'importance du service offert. Un nombre de passages-arrêts total de 20 000 en 30 minutes signifie que les autobus s'arrêtent à l'un des 8774 arrêts de la STM 20 000 fois.

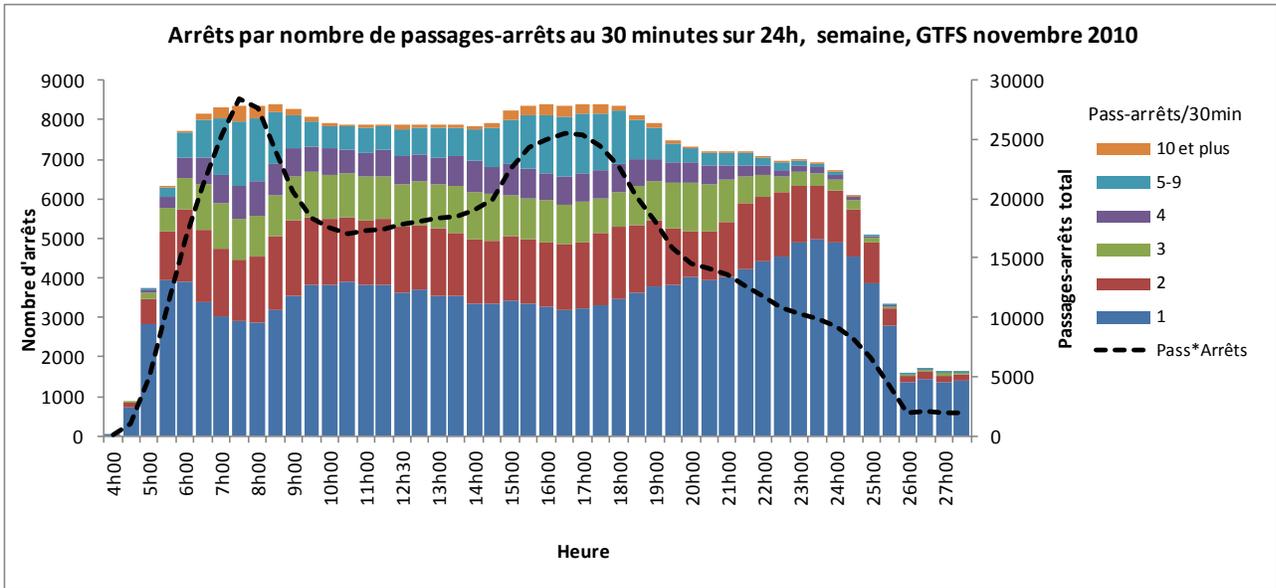


Figure 21. Arrêts par nombre de passages-arrêts aux 30 minutes sur 24h et cumul des passages-arrêts

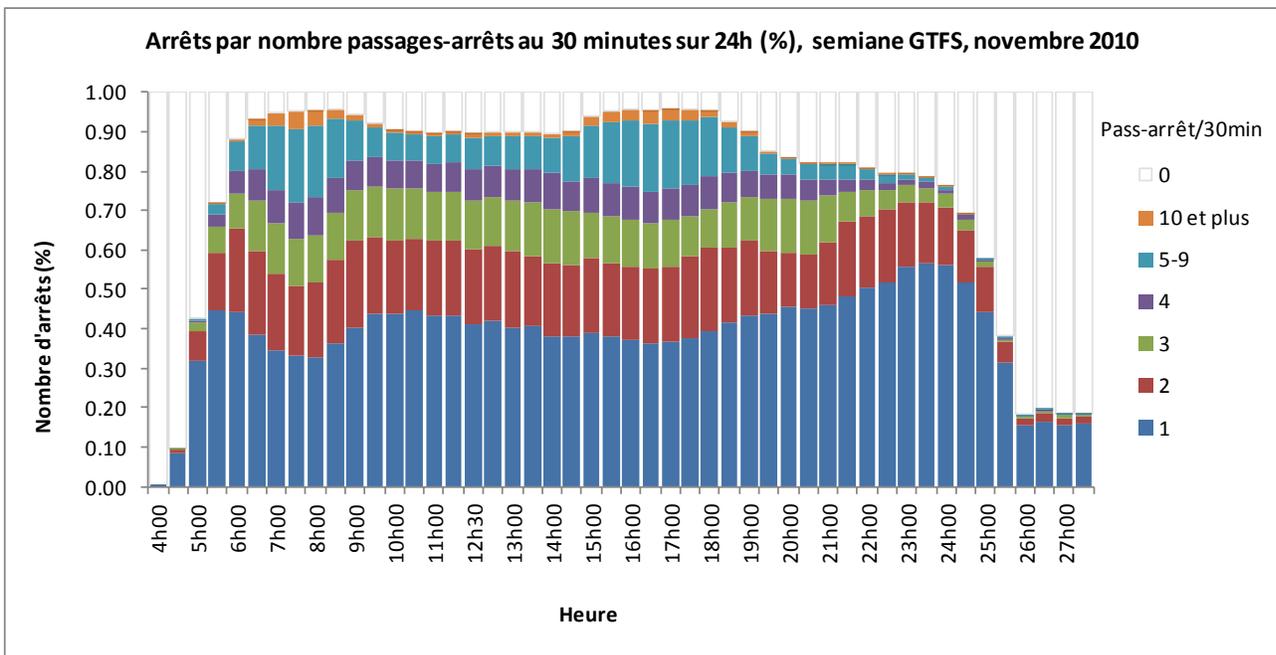
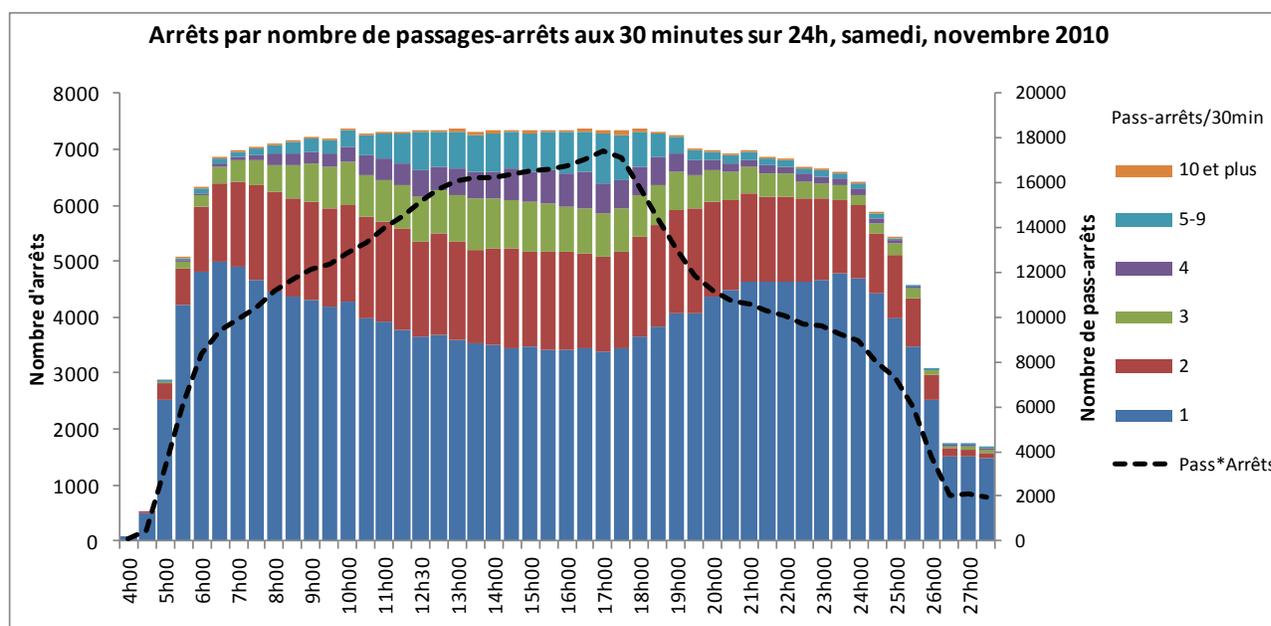


Figure 22. Arrêts par nombre de passages-arrêts aux 30 minutes sur 24h (%), semaine

Ces observations rassemblent toute l'île de Montréal, il serait intéressant d'observer les résultats par secteur de recensement par exemple. Par sa courbe de passages-arrêts cumulés, les pointes AM et PM sont clairement identifiées. L'heure de pointe PM est plus dispersée dans le temps. La courbe atteint les 28 388 passages arrêts en pointe AM. Les groupes d'arrêts en fonction du nombre de passages demeurent constants au cours de la journée et dégringolent en soirée. Entre,

6h et 9h, les arrêts avec un seul passage, qui correspond à un intervalle de 30 minutes, atteignent les 30%. Or, bien que ces graphiques soient intéressants, l'observation spatiale de ces résultats sera plus représentative de l'offre de service sur le réseau.

La même méthodologie peut s'appliquer pour les services de fin de semaine ou de jour férié telle que démontré par la figure suivante (service\_id = 10N\_A).



**Figure 23. Arrêts par nombre de passages-arrêts aux 30 minutes sur 24h et cumul des passages-arrêts**

La structure du service n'est pas la même. Le nombre de passages-arrêts est optimal entre 13h et 18h et atteint un maximum de 17 432, soit 11 000 de moins que la pointe de la semaine.

L'indicateur présenté offre une bonne vue d'ensemble de la dynamique du service observé. Il renvoie cependant peu d'information sur la dimension spatiale. Cet indicateur ne peut traduire l'accessibilité d'une zone à lui seul.

La courbe de cumul du nombre de passages-arrêts pourrait être superposée d'une année à l'autre. Ceci permettrait entre autres de voir l'évolution de l'offre au fil du temps.

#### 5.1.1.2.2 Indicateurs de visualisation de l'offre spatiale et temporelle

Ces indicateurs reprennent la méthodologie des Indicateurs de performance globale du réseau, mais en les observant de manière spatiale à l'aide de SIG. Ce sont des cartes illustrant les arrêts avec un minimum de 1 passage-arrêt aux 30 minutes. Les attributs de latitude et longitude de

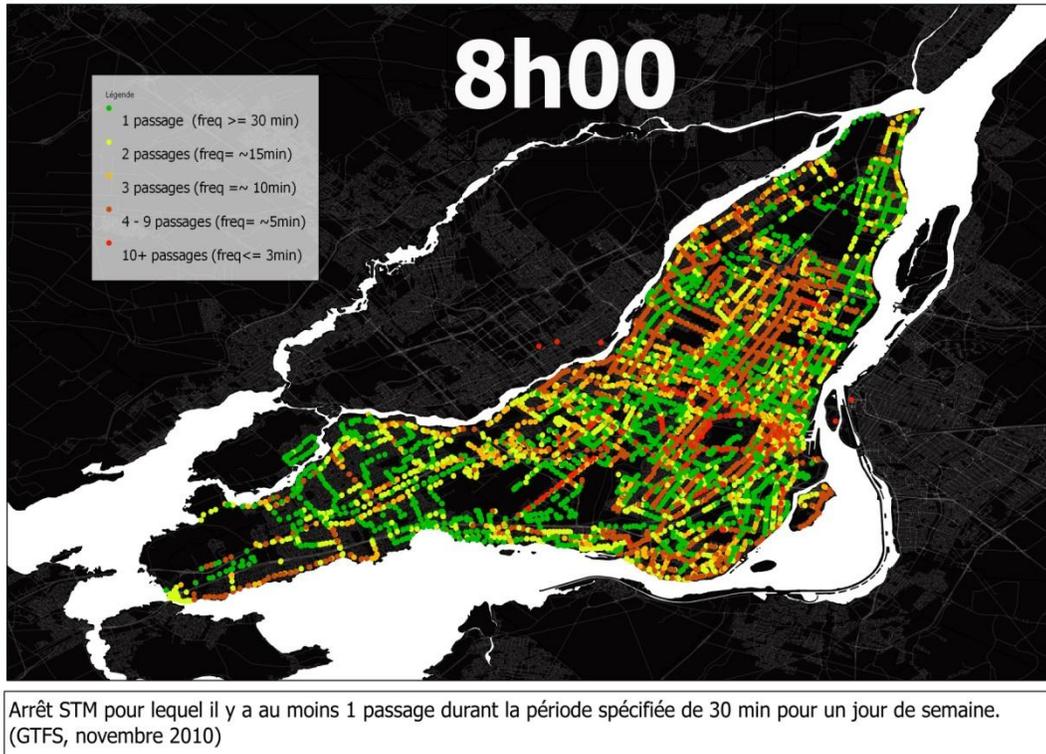
chacun des arrêts permettent de les localiser sur un territoire. La classification est indiquée dans le tableau suivant.

**Tableau 7. Classification des indicateurs de visualisation de l'offre spatiale et temporelle**

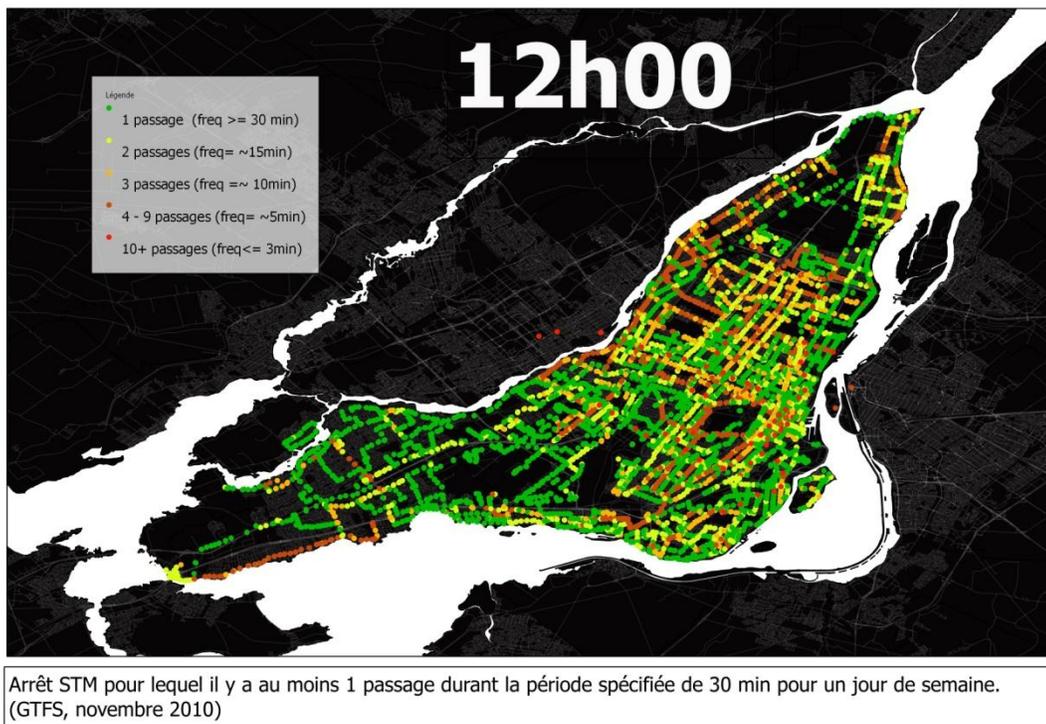
*Indicateurs de visualisation de l'offre spatiale et temporelle*

			<b>Vérification par pôle</b>	
	<b>Classe</b>	<b>Objet / spécification</b>		
Entité globale	Zone	Montréal	Alternative de transport	x
Méthode	Statique	Poteaux - arrêts	Utilisation du sol	x
Objets évalués (type)	Infrastructure	Arrêts	Forme urbaine	
Mode	TC	Autobus / métro		
Et	Temporelle	par heure		
Mesure de	Opportunités	Passage-arrêt	Minimum 1/3 :	oui
Mesure de (suite)	Flexibilité	-		
Mesure de (suite)	Spatiale & Temporelle	Variation dans l'espace et dans le temps		
Métrique	Durée	-		

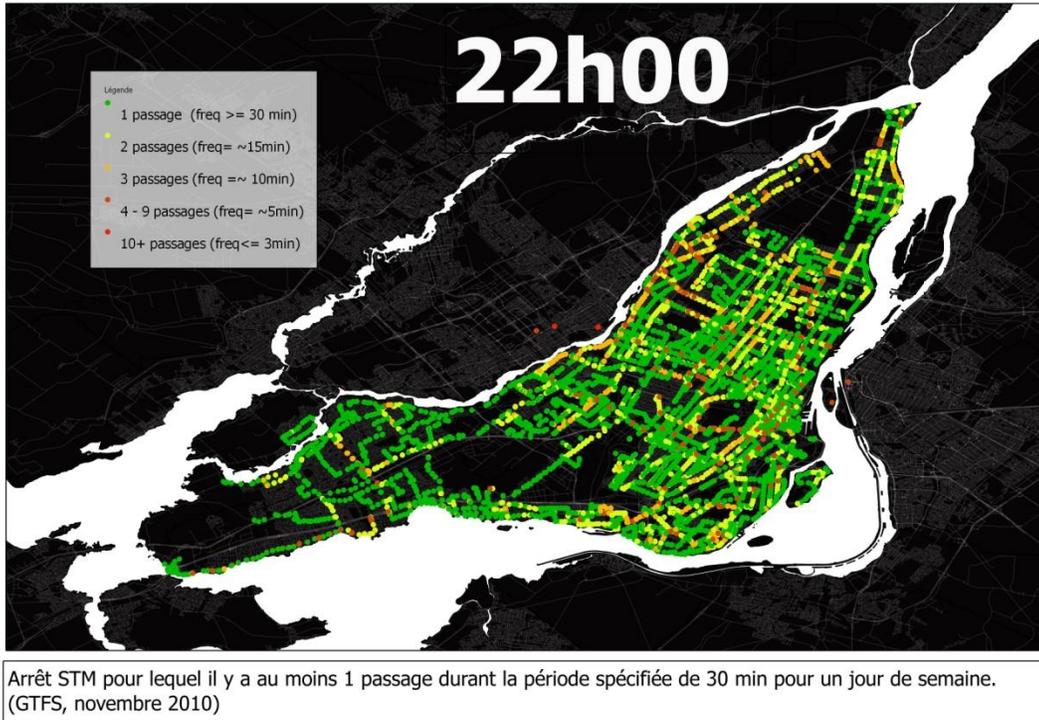
La méthode utilisée ici est plutôt simple, il s'agit en fait de reprendre les groupes d'arrêts-fréquences formés dans la section précédente et de les afficher sur une carte. La couleur de l'arrêt varie de vert à rouge en fonction du nombre de passages pour une tranche de 30 minutes. Lorsque le nombre de passages est de 0, les arrêts ne figurent pas sur la carte. L'exercice peut être répété pour chaque demi-heure de la journée pour former une animation. Voici un extrait pour 8h00, 12h00, 22h00 et 2h00 AM.



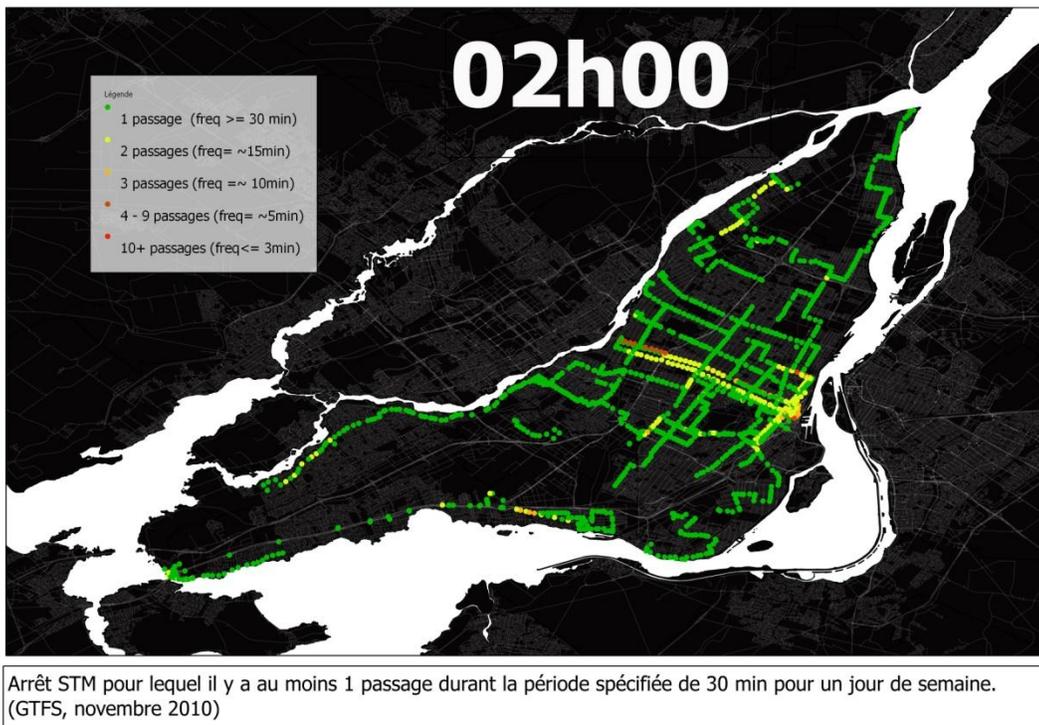
**Figure 24. Passages-arrêts entre 8h00 et 8h30, GTFS STM Novembre 2010**



**Figure 25. Passages-arrêts entre 12h00 et 12h30, GTFS STM Novembre 2010**



**Figure 26. Passages-arrêts entre 22h00 et 22h30, GTFS STM Novembre 2010**



**Figure 27. Passages-arrêts entre 2h00 et 2h30 AM, GTFS STM Novembre 2010**

Les premières images de 8h00, 12h00 et 22h00 illustrent bien la maturité du réseau de transport montréalais. Le réseau couvre la majeure partie du territoire avec des fréquences assez importantes. Le réseau de nuit de 2010 n'assure pas cette même couverture. Une telle visualisation peut effectivement servir à observer la flexibilité de l'usage d'un mode dans le temps, soit l'évolution du service sur 24h, mais aussi à observer l'impact de la mise en œuvre de nouveaux services. La prochaine figure illustre, par exemple, l'implantation du projet 10 minutes max de la STM mis en place en septembre 2010 (STM 2011). Sur la carte, deux couches d'informations sont superposées, la première, en bleu clair, représente les arrêts avec une fréquence d'au moins trois services par 30 minutes du réseau de 2009 et la seconde, en bleu marin, le réseau de 2010 pour ces mêmes propriétés. Lorsqu'un arrêt bleu marin s'affiche, ceci implique qu'il y a eu bonification du service.

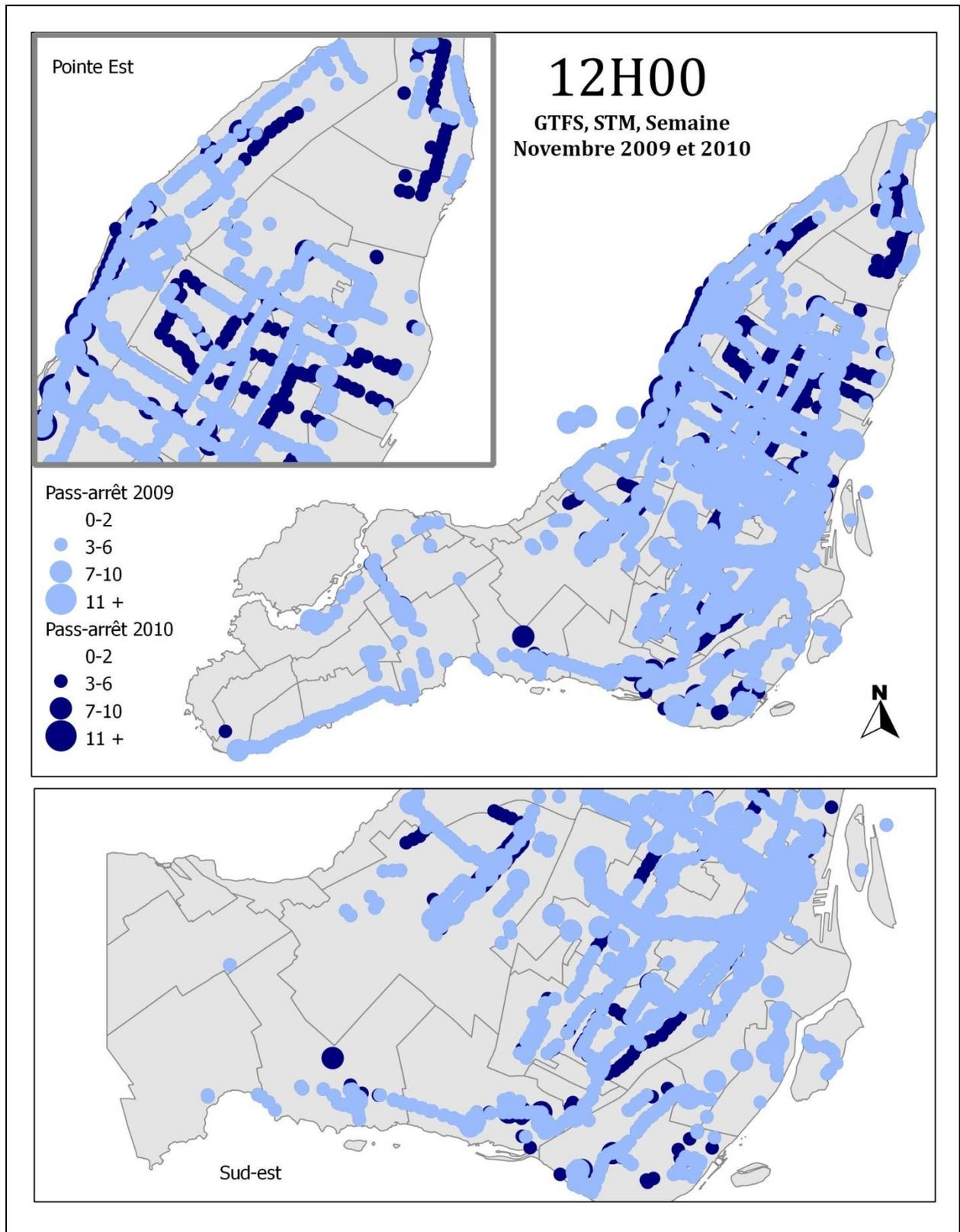


Figure 28. Arrêts avec au moins 3 passages/30 minutes en 2009 et 2010

Cet indicateur, ou plutôt visualisation spatiale, ne renvoie que de l'information sur la localisation spatiale des arrêts et la fréquence de passages qui y est associée. Cette méthodologie est en fait la base pour le développement de futurs indicateurs.

Les finalités potentielles ont déjà été démontrées par l'entreprise de l'exemple 10 minutes max de la STM.

### 5.1.1.2.3 Indicateurs de densité de passages\*arrêts par zone

Toujours dans une optique de qualifier l'offre de transport collectif de manière spatio-temporelle, des calculs de densité de passages-arrêts pour une zone peuvent servir. La classification est indiquée dans le tableau suivant.

**Tableau 8. Classification des indicateurs de densité de passages-arrêts par zone**

#### *Indicateurs de densité de passages\*arrêts par zone*

<i>Indicateurs de densité de passages*arrêts par zone</i>			<b>Vérification par pôle</b>	
	<b>Classe</b>	<b>Objet / spécification</b>		
Entité globale	Zone	SM 100	Alternative de transport	x
Méthode	Statique	Poteaux - arrêts	Utilisation du sol	x
Objets évalués (type)	Infrastructure	Arrêts	Forme urbaine	
Mode	TC	Autobus / métro		
Et	Temporelle	par heure		
Mesure de	Opportunités	Passage-arrêt	Minimum 1/3 :	oui
Mesure de (suite)	Flexibilité	-		
Mesure de (suite)	Spatiale et Temporelle	Variation		
Métrique	Durée	-		

L'équation associée à cet indicateur est la suivante.

$$D_i = \frac{\sum \text{Passage} - \text{arrêt}_i}{\text{Aire}_i} \quad \text{Équation 2}$$

Où,

D = Densité de passages-arrêts par km<sup>2</sup>;

i = Zone;

Aire = Superficie de la zone i en km<sup>2</sup>;

∑Passages-arrêts = Somme des passages-arrêts de la zone i.

L'intérêt principal de cet indicateur est d'être en mesure de qualifier une zone en termes de l'offre par rapport à la superficie. Il qualifie l'importance du service de transport collectif d'une zone. Pour obtenir ces valeurs de densité pour les secteurs (SM100) de l'enquête Origine-Destination 2008, il faut d'abord associer un secteur à chacun des arrêts de la base de données de passages-arrêts obtenue lors des opérations de la section 5.1.1.1. Les logiciels SIG permettent généralement d'effectuer ce genre d'opération (jointures spatiales).

Dans le présent exemple, il a été choisi d'observer les résultats par heure et non par demi-heure comme auparavant. Ainsi, pour chaque SM100, le nombre de passages par heure est calculé. En divisant cette valeur par la superficie de la zone, les résultats escomptés de densité de passages-arrêts par secteur et par heure sont obtenus. Les cartes qui suivent illustrent les résultats de ces indicateurs pour les 41 secteurs de Montréal.

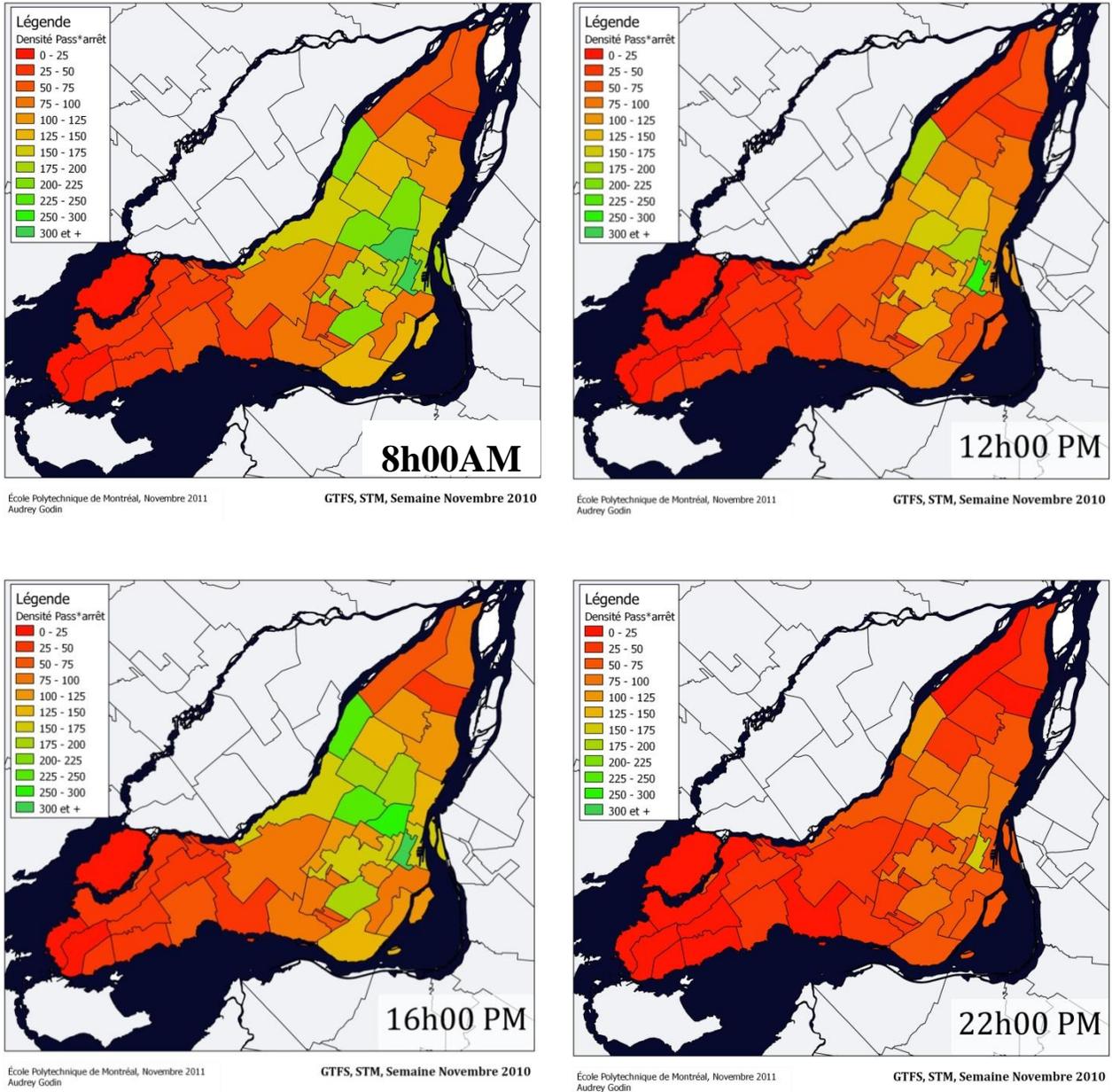
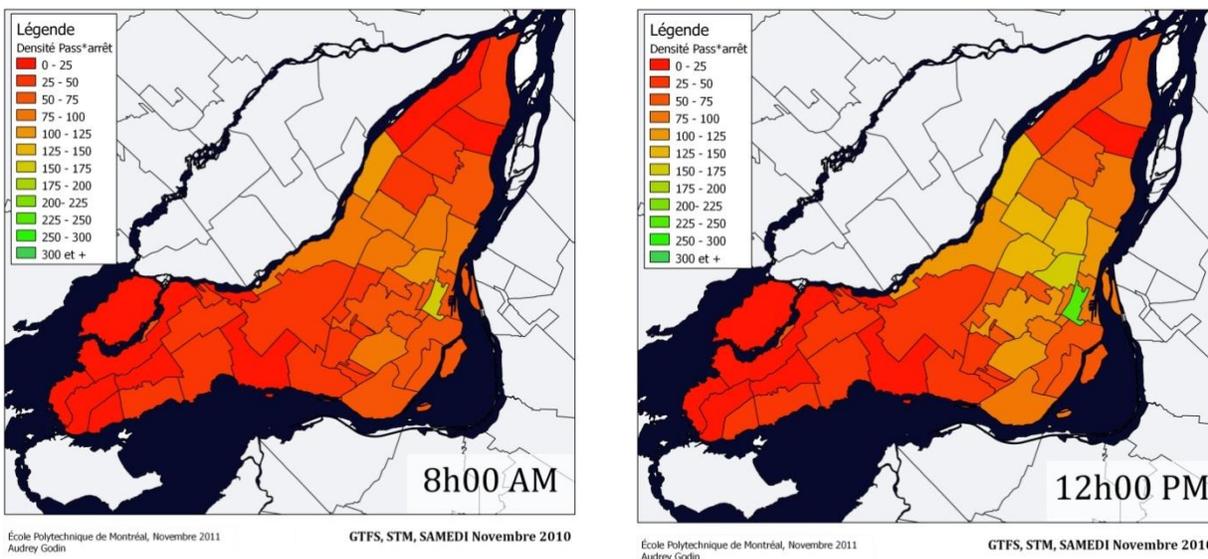


Figure 29. Cartes de densité de passages-arrêts par secteur et par heure, Semaine STM, Novembre 2010

Il est possible de faire varier l'heure, le type de journée (semaine, fin de semaine) ou la période afin d'observer les variations de services dans le temps et dans l'espace. Les cartes suivantes illustrent, par exemple, les résultats de densité de passages-arrêts à 8h et à 12h un **samedi** de novembre 2010.



**Figure 30. Cartes de densité de passages-arrêts par secteurs et par heure, Samedi STM, Novembre 2010**

Il existe des limites associées à ce type d'indicateur. Premièrement, il s'agit d'une méthode agrégée. L'accessibilité peut considérablement varier d'un endroit à un autre à l'intérieur d'un même secteur. Dans un secteur où la dispersion des passages-arrêts est hétérogène, l'indicateur obtenu risque d'être non représentatif de l'accessibilité réelle offerte. Également, une zone avec de grands espaces sans domicile/activité comme un grand parc ou un aéroport obtiendra nécessairement une densité de passages-arrêts moins importante puisque les arrêts sont plus dispersés sur le territoire en général. Ce secteur peut toutefois desservir tous les lieux d'activités avec une fréquence raisonnable. Son résultat demeura faible. Les indicateurs devraient être mesurés en retirant ces grands espaces pour obtenir un meilleur aperçu de la répartition spatiale de la desserte TC. Puis, la division en zone peut, dans certains cas, est sujette à des effets frontière.

Ce type de carte peut offrir la possibilité de comparer les effectifs TC et de mettre en valeur les secteurs dont l'accessibilité TC est fortement encouragée.

#### 5.1.1.2.4 Indicateurs de passages\*arrêts par personne

L'objectif de calculer le ratio de passages-arrêts par personne est de pouvoir tirer des conclusions générales sur l'offre par rapport à la demande. Ce dernier peut également décrire l'attractivité du transport collectif sur un territoire. Un secteur très peuplé avec un ratio passages-arrêts/personne faible par rapport à la moyenne peut servir d'argument pour augmenter le service.

Cet indicateur peut être complémentaire à l'indicateur de densité de passages-arrêts par secteur puisque l'offre est observée par rapport à une zone et l'autre par rapport à une population.

La classification pour ce type d'indicateur est la suivante.

**Tableau 9. Classification des indicateurs de passages-arrêts par personne**

*Indicateurs de passages\*arrêts par personne*

	Classe	Objet / spécification	Vérification par pôle	
Entité globale	Zone	SM 100	Alternative de transport	x
Méthode	Statique	Poteaux - arrêts	Utilisation du sol	x
Objets évalués (type)	Infrastructure	Arrêts	Forme urbaine	
Mode	TC	Autobus / métro		
Et	Temporelle	par heure		
Mesure de	Opportunités	Passage-arrêt	Minimum 1/3 :	oui
Mesure de (suite)	Flexibilité	-		
Mesure de (suite)	Spatiale et Temporelle	Variation		
Métrique	Durée	-		

L'équation pour cet indicateur est la suivante :

$$R_i = \frac{\sum \text{Passages} - \text{arrêts}_i}{\text{Personnes}_i} \quad \text{Équation 3}$$

Où,

R = Ratio de passages-arrêts par personne;

i = Zone;

Personnes= Nombre de personnes dans la zone i;

$\sum$ Passages-arrêts = Somme des passages-arrêts de la zone i.

La méthodologie relative à l'évaluation des passages\*arrêts par personne par zone est similaire à celle de la densité de la section précédente. La somme de tous les passages-arrêts d'un secteur est divisée, non par la superficie, mais par la population. La population, dans ce cas-ci, est tirée du Recensement Canadien 2006.

Le prochain graphique rappelle les densités de passages-arrêts par secteur calculées à la section précédente sur 24h. Les ratios de passages-arrêts par personne y sont joints.

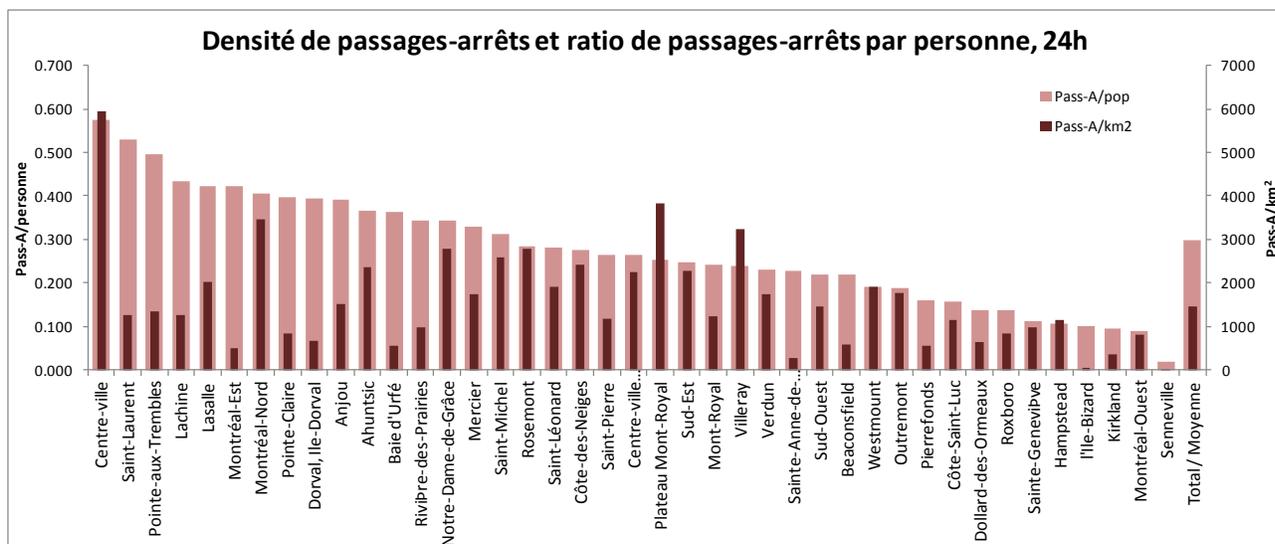


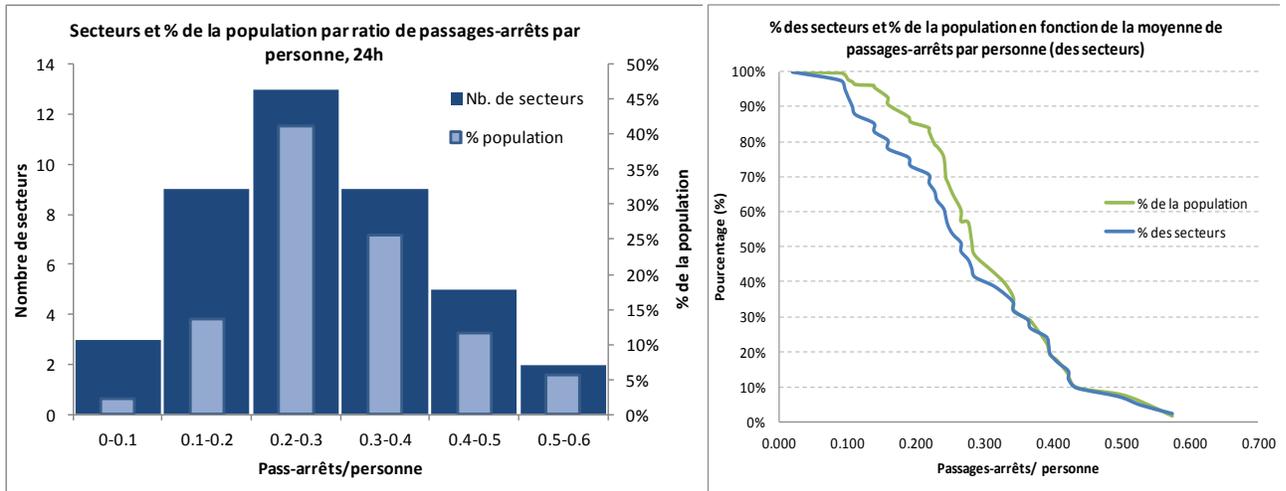
Figure 31. Densité de passages-arrests et ratio de passages-arrests par personne sur 24h, Semaine STM, Novembre 2010

Les résultats sont classés par ordre du ratio passages-arrests par personne. Dans le cas du secteur Saint-Laurent, les passages-arrests par personne (0.53) sont nettement supérieurs à la moyenne montréalaise (0.30), soit 76% plus élevée. La densité de passages-arrests est toutefois inférieure de 14% à la moyenne. Ceci résulte probablement du fait que le territoire de Saint-Laurent est vaste, mais peu peuplé. Il comprend toutefois un parc industriel et un point de correspondance important (Côte-vertu).

Le nombre de secteurs ou la population peut être comptabilisée par catégorie de passages-arrests par personne.

Tableau 10. Résultats par intervalle de passages-arrests par personne

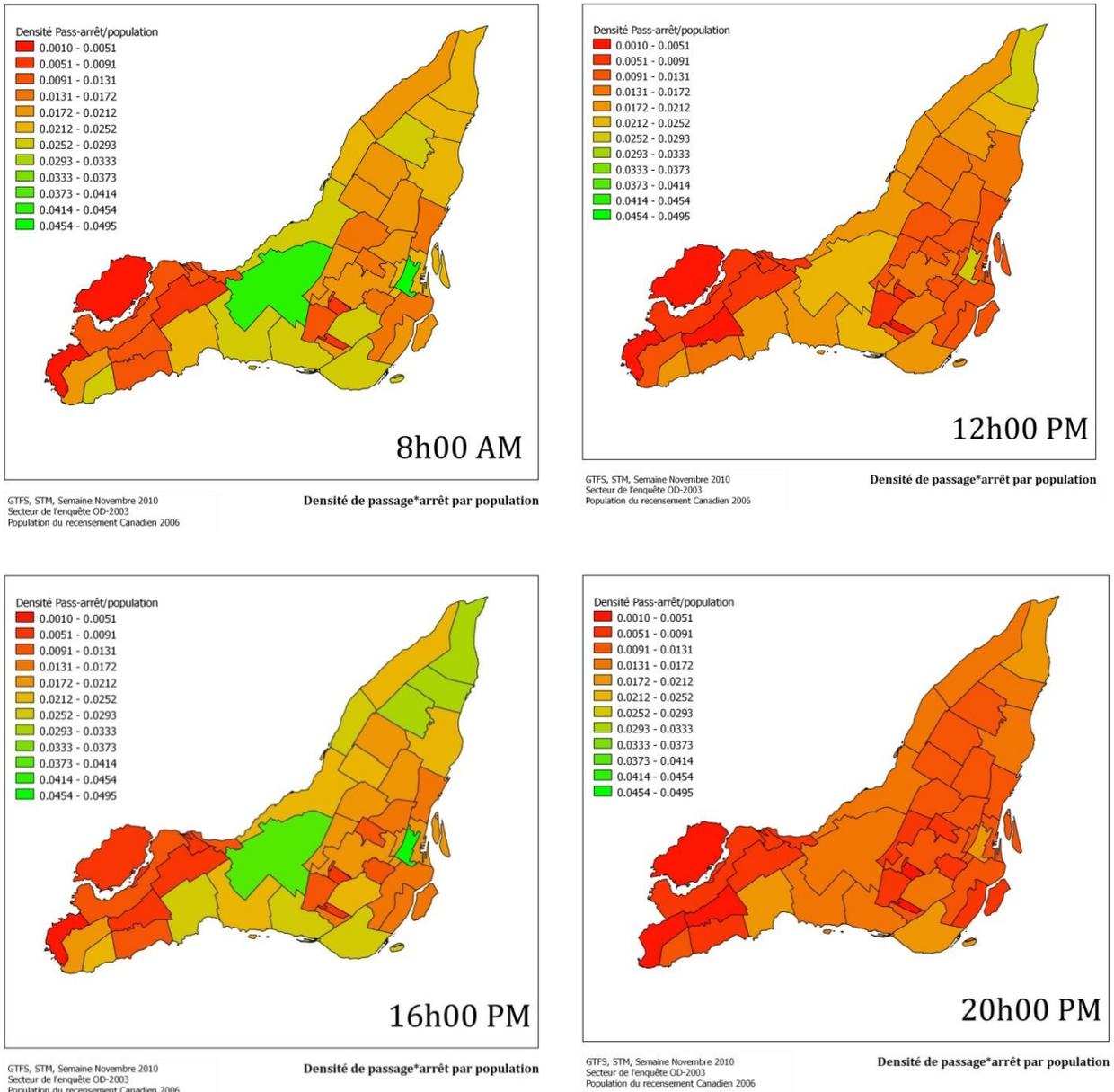
Pass-A/personne	Nb de secteurs	Population	Population %	Pop. Cumulée	Pop. cum %
0-0.1	3	54 590	2%	54 590	2%
0.1-0.2	9	337 055	14%	391 645	16%
0.2-0.3	13	1 012 840	41%	1 404 485	57%
0.3-0.4	9	627 495	26%	2 031 980	83%
0.4-0.5	5	285 270	12%	2 317 250	94%
0.5-0.6	2	139 890	6%	2 457 140	100%
<b>Total</b>	<b>41</b>	<b>2 457 140</b>	<b>100%</b>	<b>2 457 140</b>	<b>100%</b>



**Figure 32. Représentation des résultats de passages-arrêts par personne, 24h**

Le graphique de gauche permet d'observer, par exemple, que 3 secteurs ont une densité de moins de 0.1 passages-arrêts par personne sur 24h, mais la population de ces secteurs représente moins de 3% de l'île-de-Montréal. Le second graphique permet en fait d'énoncer, par exemple, qu'environ 50% de la population habite dans un secteur où le ratio est supérieur à 0.26 et 70% des secteurs ont un ratio supérieur à 0.2 passages-arrêts par personne sur 24h.

Les résultats peuvent être illustrés sous forme de carte. L'objectif est de mieux observer les variations de services dans le temps (heures) et dans l'espace (secteurs).



**Figure 33. Cartes des passages-arrêts/personne par secteur de l'EOD 2008, semaine STM, novembre 2010**

En pointe comme hors pointe, l'ouest de l'île affiche de faibles ratios de passages-arrêts par personne. Or, certains secteurs centraux affichent, en pointe, des résultats aussi faibles tels qu'Hampstead, Côte-Saint-Luc et Montréal-Ouest. Le service de trains de banlieue n'est pas pris en compte dans les résultats.

Des limites sont associées à ces indicateurs. D'abord, le format est toujours de type agrégé ce qui engendre une perte de précision et le résultat pour une zone risque de ne pas être représentatif de l'accessibilité réelle. Dans le cas de Saint-Laurent par exemple, la zone apparaît comme détenant

une bonne desserte. Le territoire étant grand et peu dense, il est difficile de supposer que le service est uniforme sur le territoire et que tous les points d'activités/domicile sont bien desservis. Il existe également des effets de frontière.

Pour répondre à cette problématique d'agrégation des résultats, une méthode de densité désagrégée sera proposée ultérieurement.

Encore une fois, les impacts d'une modification de service peuvent être observés par l'entremise de ces indicateurs. Ils peuvent alimenter les discussions d'équité d'accessibilité sur un territoire et mener à des réflexions sur des investissements futurs. L'utilisateur peut également situer les secteurs ayant le potentiel d'offrir un bon service de transport collectif, du moins en terme de fréquence.

#### *5.1.1.2.5 Population à moins de 500 m d'un arrêt à haute fréquence*

Une base de données sur les passages-arrêts et une seconde sur les données de recensement, ou encore d'enquête Origine-Destination, permettent de développer une multitude d'indicateurs liés à l'accessibilité. Celui présenté ici est la population à moins de 500 mètres d'un arrêt à haute fréquence de passages. Le seuil de haute fréquence est établi ici à 3 passages par période de 30 minutes, c'est-à-dire un intervalle moyen de 10 minutes et moins. La distance de 500 mètres correspond au critère d'accès au réseau de la STM en journée (2010). La population du recensement canadien de 2006 est utilisée ainsi que la base de données des passages-arrêts de novembre 2010 de la STM en semaine. La méthodologie peut être répétée pour mesurer d'autres indicateurs. À titre d'exemple, voici une série d'indicateurs correspondant à cette méthode :

- % des ménages à moins de 500 m d'un arrêt à haute fréquence ou tout autre type d'arrêt;
- courbe de la variation du % des ménages à moins de 500 m d'un arrêt sur 24h;
- nombre ou % de ménages monoparentaux à moins de 500 m d'un arrêt haute fréquence;
- % des personnes de 65 ans et plus à moins de 300 m d'un arrêt;
- % des ménages sans voiture à moins de 300 m d'un arrêt haute fréquence;
- % des lieux d'emplois à moins de 1000 m d'un arrêt haute fréquence.

En somme, il est possible de faire varier 4 éléments pour constituer ce type d'indicateur :

- 1- les propriétés des individus et des ménages selon la disponibilité des données (ex. les ménages sans voiture);
- 2- la distance d'accès à un objet statique (ex. 500 m d'un poteaux-arrêt);
- 3- le nombre de passages-arrêts (ex. minimum de 5 passages-arrêts/heure);
- 4- L'heure et l'intervalle de temps sur lesquels est effectuée l'estimation (ex. entre 16h et 17h ou en moyenne sur 24h).

Ces indicateurs appartiennent aux classes mentionnées dans le tableau suivant.

**Tableau 11. Classification de l'indicateur de population à moins de 500 m d'un arrêt haute fréquence**

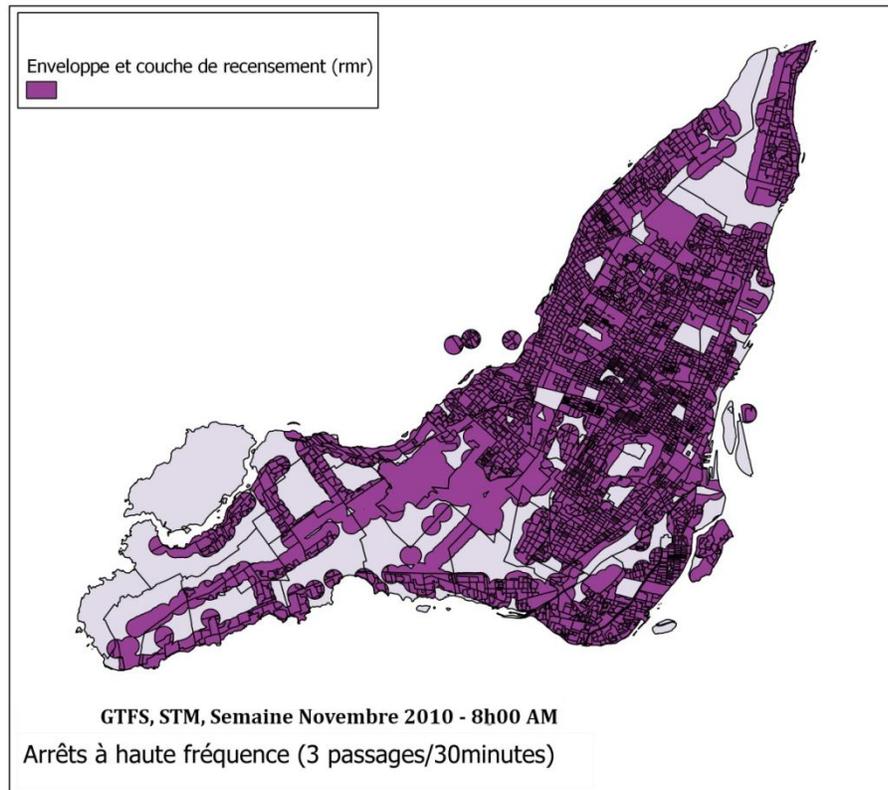
*Population à moins de 500 m d'un arrêt à haute fréquence*

Classe			Objet / spécification		Vérification par pôle	
Entité globale	Zone				Alternative de transport	x
Méthode	Statique		Poteaux - arrêts		Utilisation du sol	x
Objets évalués (type)	Infrastructure		Arrêts		Forme urbaine	
Mode	TC		Autobus / métro			
Et	Temporelle		par heure			
Mesure de	Opportunités		Passage-arrêt		Minimum 1/3 :	oui
<i>Mesure de (possibilité)</i>	<i>Quantité ou Flexibilité</i>		-			
<i>Mesure de (possibilité)</i>	<i>Spatiale et/ou temporelle</i>		<i>Variation de temps ou d'espace</i>			
Métrique	Durée		-			

Les indicateurs de type population (ou autre) à moins de 500 m d'un arrêt haute fréquence peuvent appartenir aux classes de flexibilité temporelle ou spatiale lorsqu'il y a observation de la variation dans le temps ou l'espace.

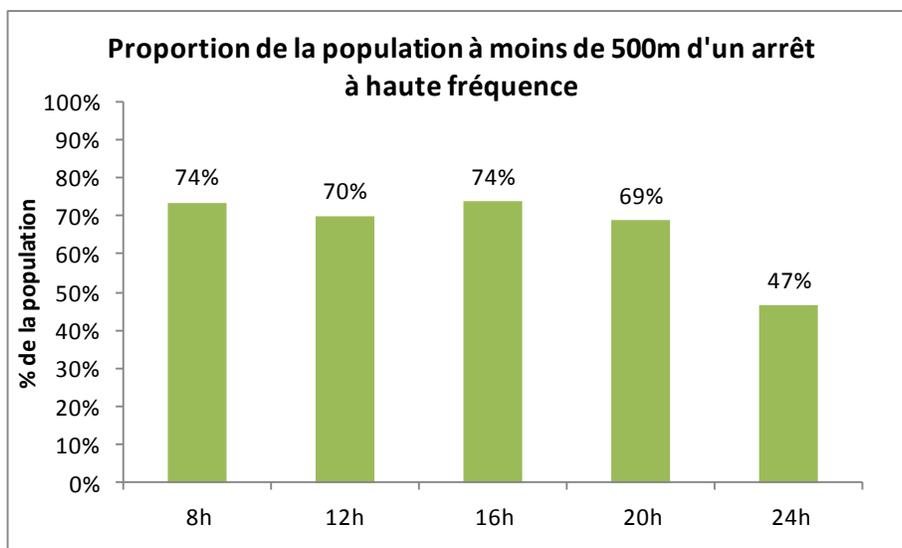
Le pourcentage de la population à moins de 500 m d'un arrêt haute fréquence est obtenu par l'entremise de manipulations sur les couches d'informations spatiales de passages-arrêts et de recensement. Il suffit de produire un espace tampon de 500 m autour des arrêts haute-fréquence de la période observée (ex.8h00), puis d'unir ces espaces pour former une seule surface et de la superposer à la couche de population. Les secteurs de recensements (aire de diffusion) ou portion de secteur situés à l'intérieur de la couche de 500 m sont extraits. La couche obtenue est une fraction de la couche de recensement tout comme la population résultante. Par exemple, si la superficie d'un secteur se trouve à 50% à l'intérieur des 500 m, la population résultante sera 50% du total. Ceci

laisse supposer que la répartition est uniforme à l'intérieur des aires de diffusion (secteur). Puisque les secteurs de recensement sont généralement petits, la précision due à cette méthode est relativement bonne. Les résultats de population à moins de 500 m d'un arrêt à haute fréquence sont représentatifs. La Figure 34 montre les secteurs à moins de 500 m d'un arrêt haute-fréquence à 8h00 AM en novembre 2010.



**Figure 34. Résultat de la superposition d'espace tampon à la couche de recensement**

La démarche peut-être reprise pour différentes heures de la journée ou pour la fin de semaine. Ceci permettrait, entre autres, de visualiser la variation de l'accès en fonction de l'heure de la journée. Le graphique ci-après montre le pourcentage de la population montréalaise ayant accès à un arrêt haute-fréquence à différentes heures de la journée.



**Figure 35. Population montréalaise à moins de 500 m d'un arrêt à haute fréquence (%), semaine STM, novembre 2010**

Ces résultats se traduisent par le fait qu'à 20h, près de 70% des résidents de Montréal ont accès en moins de 6 minutes de marche (500 m à 5km/h) à un arrêt où au moins 3 autobus s'arrêteront dans la prochaine demi-heure. Un secteur de recensement relativement petit indique en général une forte densité. Ainsi, la Figure 34 démontre que l'ensemble de ces derniers sont englobés par la couche d'arrêt 8h00 AM. Le service de la STM offre donc une bonne desserte dans les zones denses de Montréal, et ce pour l'ensemble de la journée. Nous ne pouvons en dire autant pour les secteurs à faible densité des pointes ouest et est de l'île.

Pour être en mesure d'estimer cet indicateur, il faut détenir une couche de recensement où les secteurs sont relativement petits. Il serait préférable que l'année du recensement coordonne avec l'année d'observation des passages-arrêts. Dans l'exemple présenté ici, le recensement datait de 2006 tandis que les données de passages-arrêts de 2010.

Avec un tel indicateur, une personne ayant accès à un arrêt à intervalle de 10 minutes a le même poids qu'une personne ayant accès à un arrêt à 3 minutes d'intervalle. Il est de même pour les alternatives, une personne ayant accès à 5 arrêts à haute fréquence a le même poids qu'une personne ayant 1 seul arrêt à proximité. Pour alléger ces limites, deux propositions sont faites.

- 1- Subdiviser la population par leur accès à différentes catégories de services aux arrêts. L'indicateur se traduirait par : 5% de la population est à 500 m d'un arrêt dont l'intervalle de service est de 45minutes, 10% à un arrêt de 30 minutes, 20% à un arrêt de 15 minutes, etc.

Chaque ménage serait associé à l'arrêt le plus performant de leur entourage. Or, cette méthode ne permet pas d'apprécier les alternatives qu'offrent deux arrêts à proximité, mais elle différencie le meilleur niveau de fréquence offert à chacun.

## 2- Développer un indicateur de densité de passages-arrêts désagrégé

Cette même méthodologie s'applique également à d'autres objets statiques. C'est-à-dire qu'il est possible d'appliquer ces indicateurs, non à des arrêts de transport collectif, mais plutôt à des stations de vélopartage ou d'autopartage, des services (hôpitaux, épicerie, école, etc.) ou des infrastructures lourdes (autoroutes). Les indicateurs résultants seraient donc le pourcentage de la population à moins de 500 m d'une station Bixi, d'un stationnement Communauto ou d'un centre de santé. De plus, le raisonnement peut s'appliquer à d'autres éléments que la population, l'indicateur peut évaluer le pourcentage des lieux d'emplois à moins de 500 m d'un arrêt haute-fréquence par exemple. En somme, ces combinaisons sont multiples, elles dépendent de la représentation désirée.

Ces indicateurs pourraient être améliorés en générant des espaces tampons qui tiennent compte de la distance réseau plutôt que de la distance à vol d'oiseau. Bien sûr, ceci présente des défis méthodologiques, car pour chacun des objets statiques en question, il faudrait lancer un calculateur de trajet dans toutes les directions pour en former un polygone dont les frontières équivalent à 500 m de distance réseau.

Dans la même ligne d'idée, la distance seuil d'accès à un arrêt (ex. 500 m) pourrait être remplacée par un temps d'accès (ex. 5minutes). Dans les deux cas, la distance ou la durée pourraient varier en fonction d'un groupe d'âge observé. La vitesse de marche moyenne n'est pas la même pour un enfant de 8 ans que pour un homme de 25 ans. La distance seuil acceptable pour se rendre à un arrêt d'autobus n'est également pas la même entre certains groupes d'âge. L'intérêt serait donc de développer des indicateurs propres à certains groupes d'âge afin de mieux représenter leur réel niveau d'accessibilité.

#### 5.1.1.2.6 Indicateurs de densité désagrégée de passages-arrêts

La majorité des indicateurs proposés permettent difficilement de mettre en évidence des changements de service mineur comme l'ajout d'une nouvelle ligne ou l'augmentation de service sur une ligne. Un ensemble de limites a été constaté à la suite des indicateurs proposés précédemment :

- Indicateurs de performance globale du réseau : il renvoie peu d'information sur la dimension spatiale. Cet indicateur ne peut traduire l'accessibilité d'une zone à lui seul.
- Indicateurs de visualisation de l'offre spatiale et temporelle : cet indicateur ne renvoie que de l'information sur la localisation spatiale des arrêts et la fréquence de passage qui y est associée.
- Indicateurs de densité de passages\*arrêts par superficie : il s'agit d'une méthode agrégée. L'indicateur n'est pas représentatif de la réelle accessibilité dans les zones avec des parcs, des aéroports ou des secteurs industriels. Il peut y avoir des effets de frontière.
- Indicateurs de passages\*arrêts par personne: il s'agit d'une méthode agrégée. Le territoire doit être divisé en zone. Le choix du découpage peut influencer les résultats d'indicateurs. Il peut y avoir des effets de frontière.
- Indicateurs de population à moins de 500 m d'un arrêt à haute fréquence : une personne ayant accès à un arrêt à intervalle de 10 minutes a le même poids qu'une personne ayant accès à un arrêt à 3 minutes d'intervalle. Il est de même pour les alternatives, une personne ayant accès à cinq arrêts à haute fréquence a le même poids qu'une personne ayant un seul arrêt à proximité.

Suite à ces constats, un indicateur de type désagrégé permettrait probablement de pallier à certaines limites. Le terme désagrégé ici s'applique au fait que l'indicateur en question est sensible à l'accessibilité au transport collectif de chacun des ménages sur le territoire. L'indicateur de densité désagrégée se veut sensible à la fois à la fréquence de passage aux arrêts à proximité ainsi qu'à la présence d'alternatives. Il mesure le nombre de passages-arrêts à moins d'une certaine distance d'un ménage ou d'un point d'intérêt.

Les indicateurs de densité désagrégée de passages-arrêts appartiennent à la classe suivante.

Tableau 12. Classification des indicateurs de densité désagrégée de passages-arrêts

*Indicateur de densité désagrégée de passages-arrêts*

			Vérification par pôle	
	Classe	Objet / spécification		
Entité globale	Ciblée	PI	Alternative de transport	x
Méthode	Statique	Poteaux - arrêts	Utilisation du sol	
Objets évalués (type)	Infrastructure	Arrêts	Forme urbaine	
Mode	TC	Autobus / métro		
Et	Temporelle	par heure		
Mesure de	Opportunités	Passage-arrêt	Minimum 1/3 :	oui
Mesure de (suite)	Flexibilité	-		
Mesure de (suite)	Spatiale et/ou temporelle	Variation de temps ou d'espace		
Métrique	Durée	-		

Ces indicateurs sont dits ciblés, car ils sont calculés pour différents points d'intérêt.

L'indicateur de densité désagrégée est en fait une mesure de densité de passages-arrêts par kilomètre carré. Pour tous les points d'intérêt sur un territoire, tous les passages-arrêts qui se trouvent à une distance seuil (rayon) d'un point sont cumulés. Cette valeur est ensuite divisée par la superficie résultant du rayon de recherche (cercle). L'équation de densité désagrégée pour un point d'intérêt est donc la suivante :

$$DD_{h2}^{h1} = \frac{\sum \text{Passages} - \text{arrêts}}{\pi S^2} \quad \text{Équation 4}$$

Où,

DD = Densité désagrégée;

h1 = limite inférieure de l'intervalle de temps (ex. 12h00);

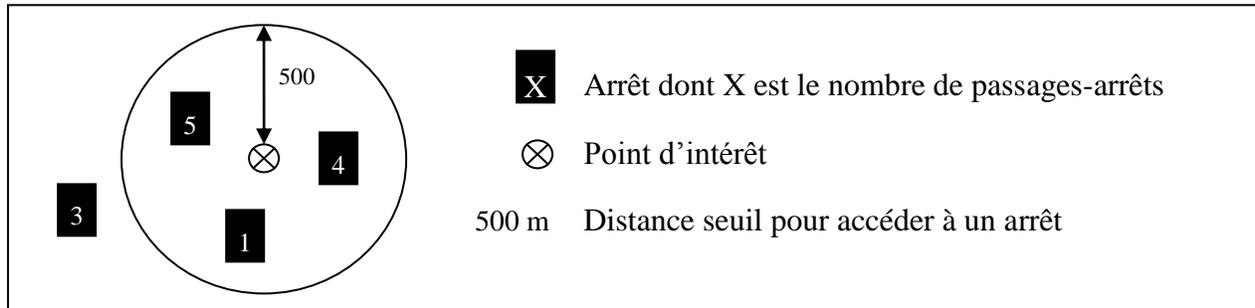
h2 = limite supérieure de l'intervalle de temps (ex.12h30);

S = Distance seuil pour accéder à un arrêt (rayon) en km;

$\sum$ Passages-arrêts = Somme des passages-arrêts à l'intérieur d'un rayon de S km.

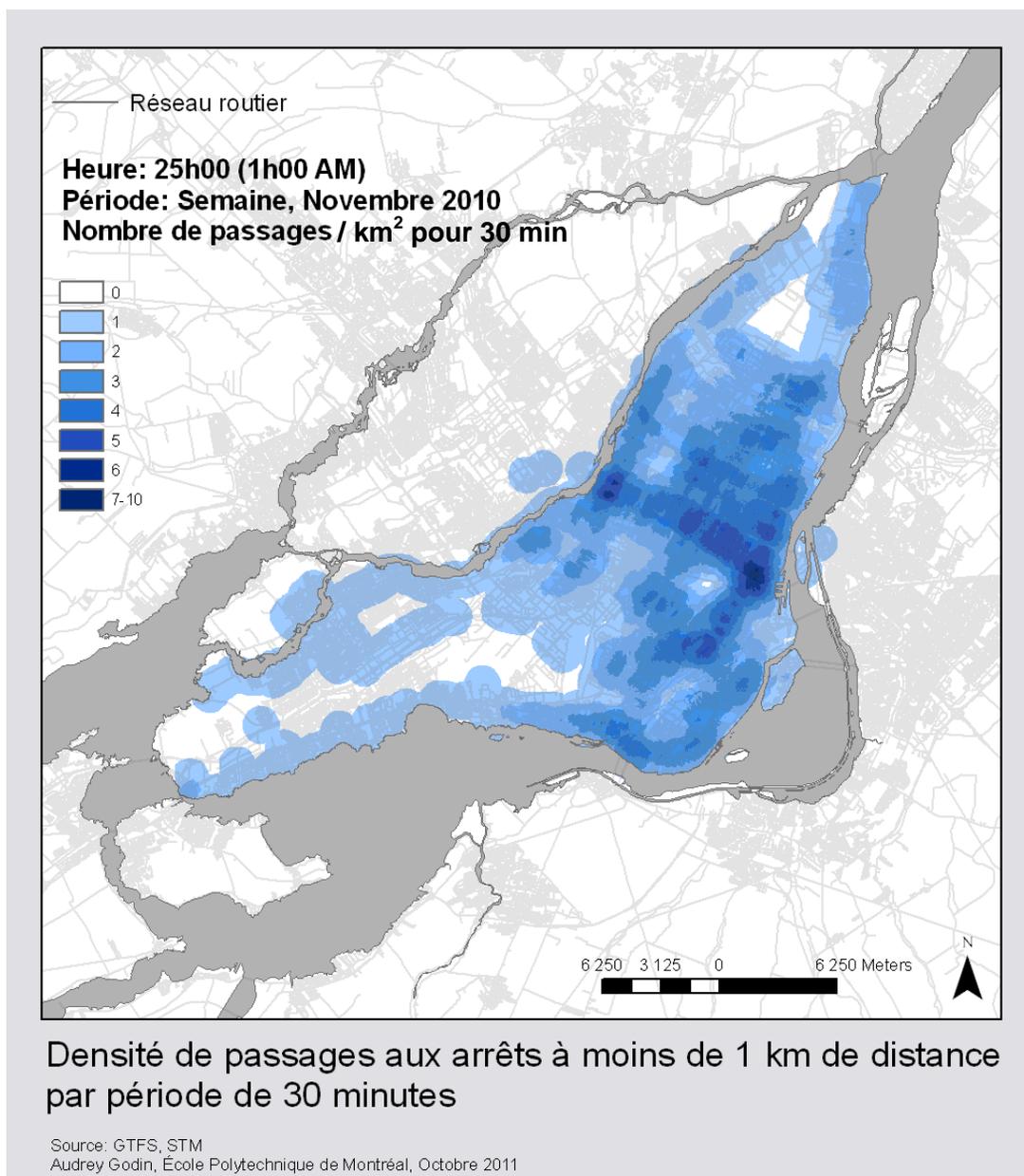
Ainsi, pour la situation illustrée à la figure suivante, la densité de ce ménage serait :

$$DD_{12h30}^{12h00} = \frac{(5+1+4)}{\pi 0.5^2} = 12.7 \text{ passages-arrêts/km}^2$$



En réalité, il existe plus d'une méthodologie pour obtenir la densité par ménage ou point d'intérêt. Dans cette recherche, une méthode matricielle a été utilisée à partir d'un logiciel SIG. Pour ce faire, une zone est d'abord subdivisée en une infinité de petites cellules. Pour chacune des cellules, la densité désagrégée est calculée et stockée en mémoire. Cette démarche permet entre autres d'observer de manière spatiale les diverses intensités de densité sur un territoire. Dans l'exemple qui suit, les cellules ont une dimension de 50 m par 50 m et le seuil de distance  $S$  est de 1000 m. La grosseur des cellules peut varier selon le degré de précision recherché. L'objectif étant de démontrer la pertinence de ce type d'indicateur, une valeur de 50 m a été choisie ici afin d'accélérer le processus méthodologique.

La carte suivante est un exemple de résultat pour un jour de semaine de novembre 2010 de 1h00 à 1h30 AM.



**Figure 36. Densité désagrégée de passages-arrêts**

Pour visualiser la pertinence d'un tel indicateur, une analyse avant-après des impacts de la révision du réseau de nuit de la STM en date du 15 juillet 2011 est présentée aux figures suivantes. La STM a ajouté 3 nouvelles lignes de nuit, augmenté les fréquences, diminué le nombre de correspondances et amélioré 9 des parcours existants. Le rayon S est de 1km puisqu'il s'agit de la norme de la STM la nuit.

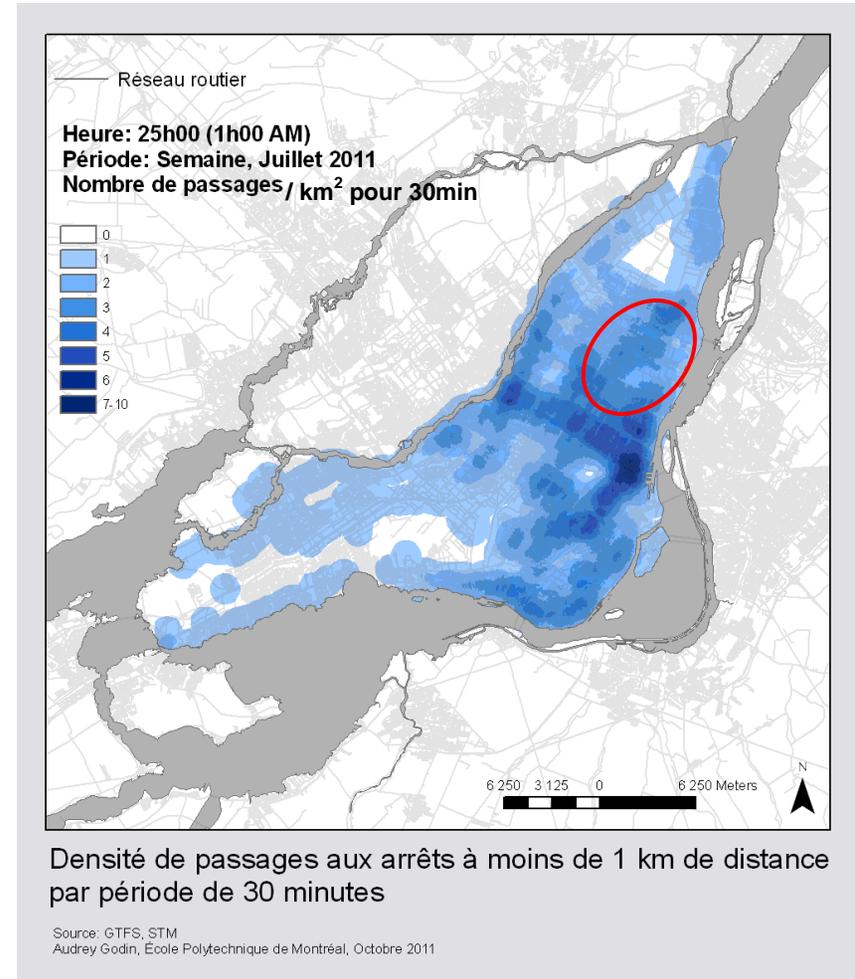
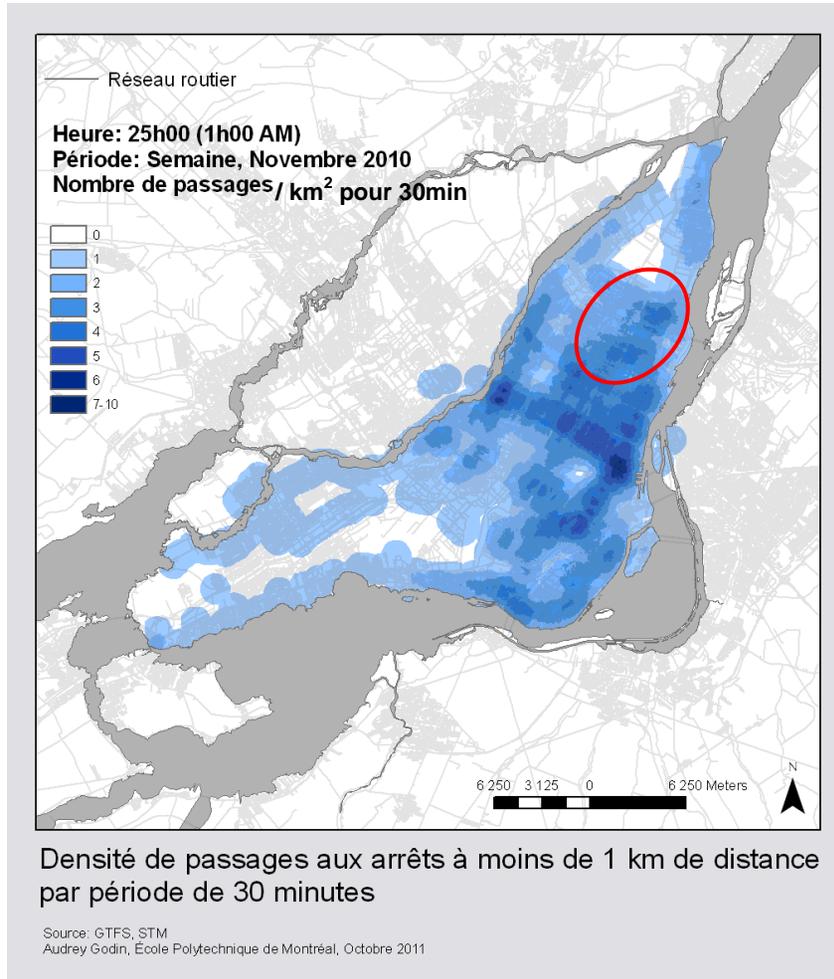
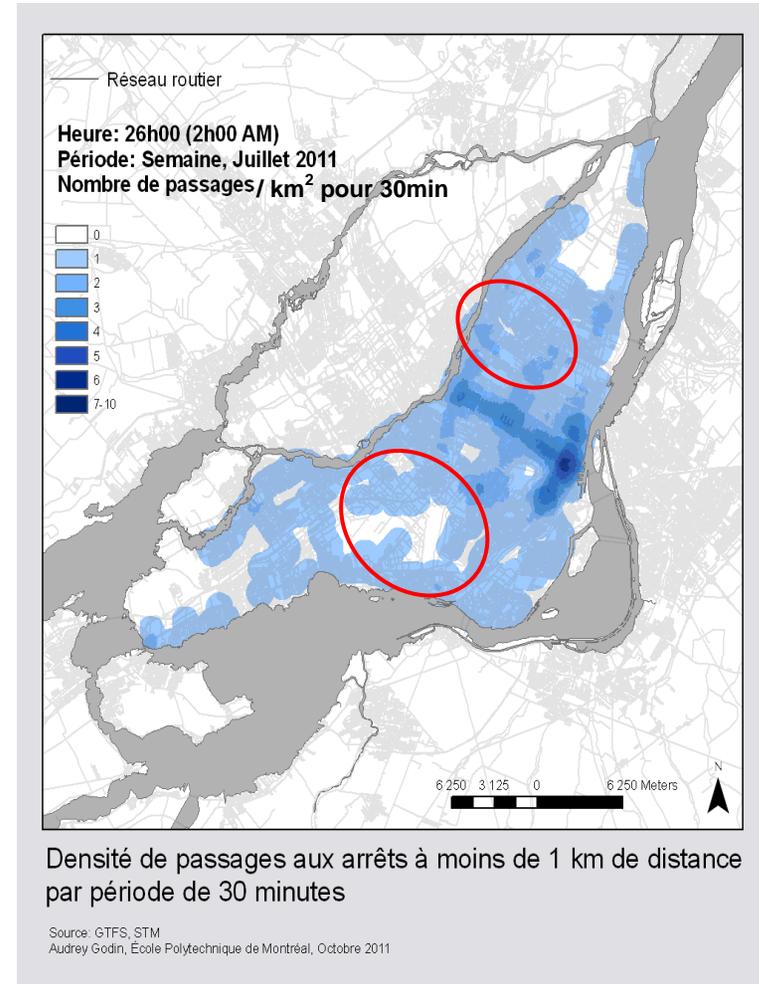
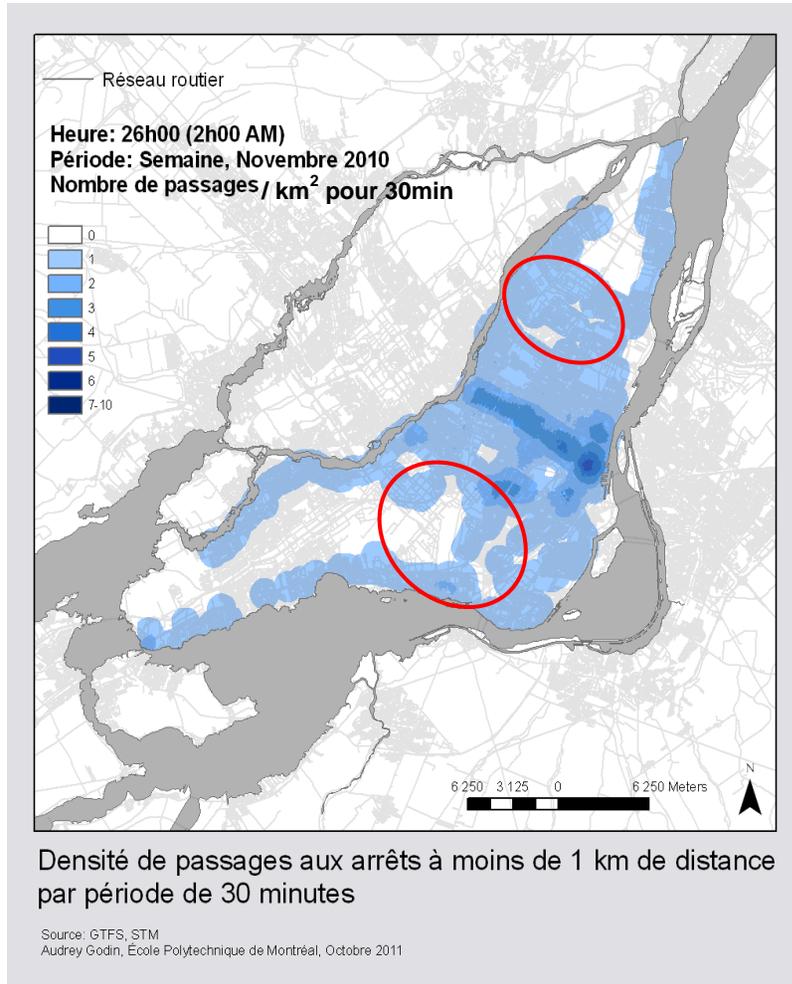


Figure 37. Comparaison entre indicateurs de densité désagrégée de passages-arrêts entre novembre 2010 et juillet 2011, STM



**Figure 37. Comparaison entre indicateurs de densité désagrégée de passages-arrêts entre novembre 2010 et juillet 2011, STM (suite)**

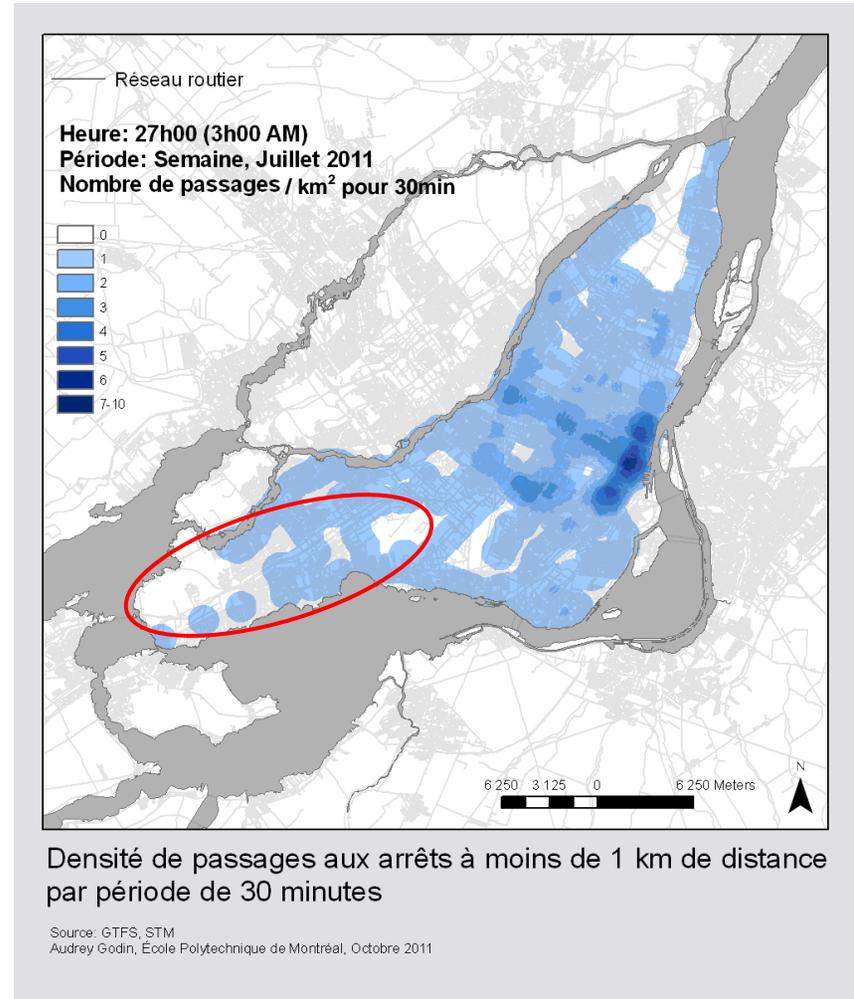
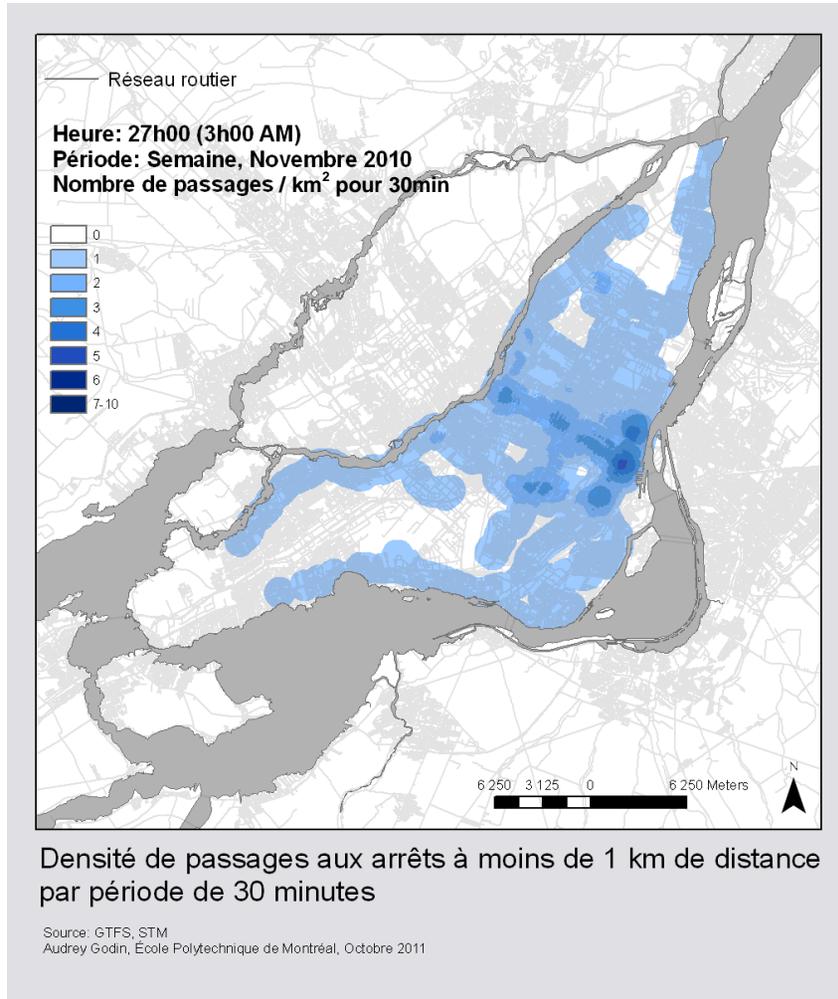


Figure 37. Comparaison entre indicateurs de densité désagrégée de passages-arrêts entre novembre 2010 et juillet 2011, STM (suite)

Afin d'associer la valeur des cellules à un ménage, il suffit de superposer une couche d'information ménages à la couche matricielle de densité et d'y effectuer une jointure spatiale. La couche d'informations ménages utilisée provient de l'enquête Origine-Destination 2008. Plusieurs analyses peuvent être réalisées à partir de cette combinaison; en voici quelques-unes :

1- Évolution de la densité de passages-arrêts par ménage.

L'objectif est de démontrer le gain d'accessibilité des usagers suite à des modifications de l'offre de transport sur un territoire. L'ajout de service entre 2009 et 2010 du programme 10 minutes max de la STM servira d'exemple. Le paramètre de rayon de recherche (S) d'un arrêt pour un ménage a été fixé à 750 m et les observations sont pour un jour de semaine entre 12h00 et 12h30. Ceci implique qu'une densité de 10 équivaut à dire que dans un rayon de 750 m du ménage, il y a 18 passages-arrêts entre 12h00 et 12h30.

Démonstration :

$$DD_{12h00}^{12h30} = 10 = \frac{\sum \text{Passages} - \text{arrêts}}{\pi S^2} = \frac{X}{\pi 0.750^2}$$

$$X = 10 * \pi * 0.75^2 = 18 \text{ pass} - \text{arrêts}$$

Le tableau d'équivalence densité – nombre de passages-arrêts est le suivant.

**Tableau 13. Équivalence de densité à nombre de passages-arrêts pour un S de 750 m**

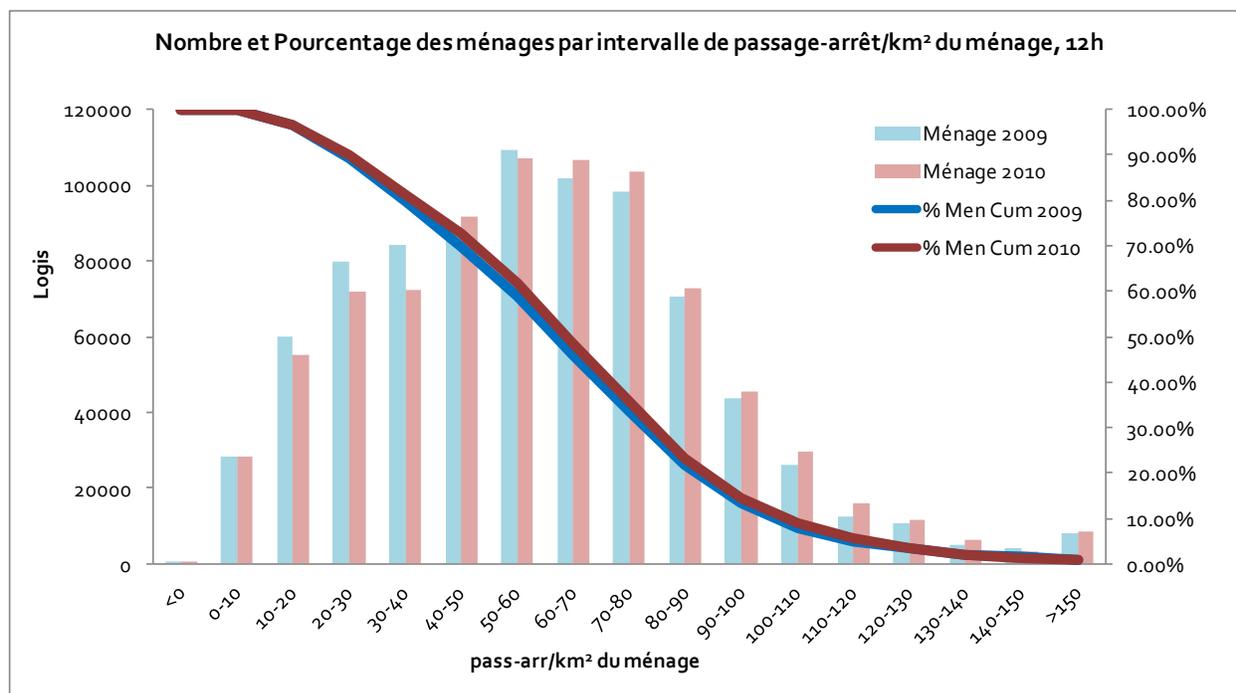
Densité	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Pass-arrêts équivalent (S=750 m)	18	35	53	71	88	106	124	141	159	177	194	212	230	247	265

Pour évaluer l'évolution de densité de passages-arrêts, un premier tableau rassemble les statistiques globales des GTFS 2009 et 2010 appliquées à la population 2008 (EOD). La densité moyenne par ménage et par population s'y trouve ainsi que leur écart-type respectif.

**Tableau 14. Densité de passages-arrêts par ménage 2009 – 2010, 12h, semaine STM**

Sommaire	GTFS 2009	GTFS 2010
Ménage 2008		831 030
Population 2008		1 802 075
Densité moyenne par ménage	58,1	59,8
Densité moyenne par population	55,2	56,9
Écart-type (Dens) ménage	30,6	30,8
Écart-type (Dens) population	30,3	30,6

Une démonstration de gain, le cas échéant, peut se faire par un graphique du pourcentage des ménages ou des personnes cumulés en fonction de la densité.



**Figure 38. Pourcentage des ménages en fonction de la densité entre 12h et 12h30, STM, Novembre 2009-2010**

Pour que les résultats soient plus concluants quant à l'analyse des impacts de l'implantation du service 10 minutes max, il serait pertinent de comparer la densité moyenne ou totale entre 6h et 21h et non entre 12h et 12h30. Or, la démarche demeure similaire.

Les résultats peuvent être agrégés par secteur sous forme de densité moyenne de passages-arrêts par ménage. L'objectif est d'ensuite comparer les valeurs de 2009 à celles de 2010 et de les afficher sur une carte. Ceci permet de visualiser les secteurs bénéficiant d'un gain général d'accessibilité. La Figure 39 illustre d'abord le résultat de densité moyenne de passages-arrêts par ménage pour 12h en 2010 et la Figure 40 la différence de densité moyenne de passages-arrêts autour des ménages entre 2009 et 2010.

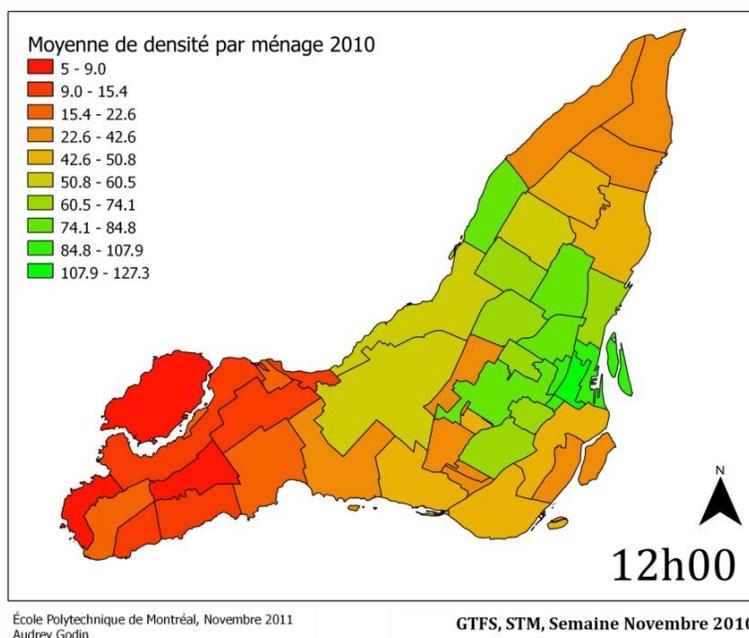


Figure 39. Densité moyenne de passages-arrêts autour des ménages 2010, 12h, semaine STM

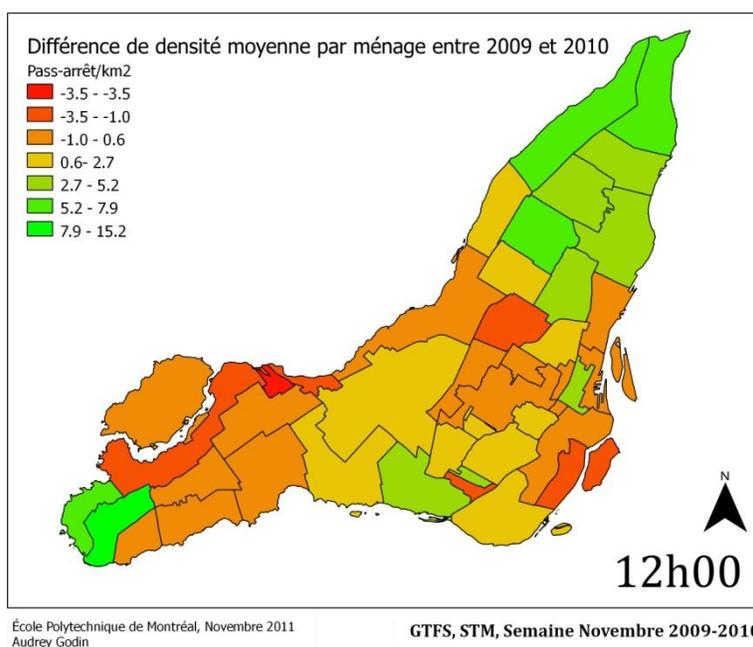


Figure 40. Différence de densité moyenne de passages-arrêts autour des ménages 2009-2010, semaine STM

## 2- Observation de la possession automobile en fonction des passages-arrêts par ménage

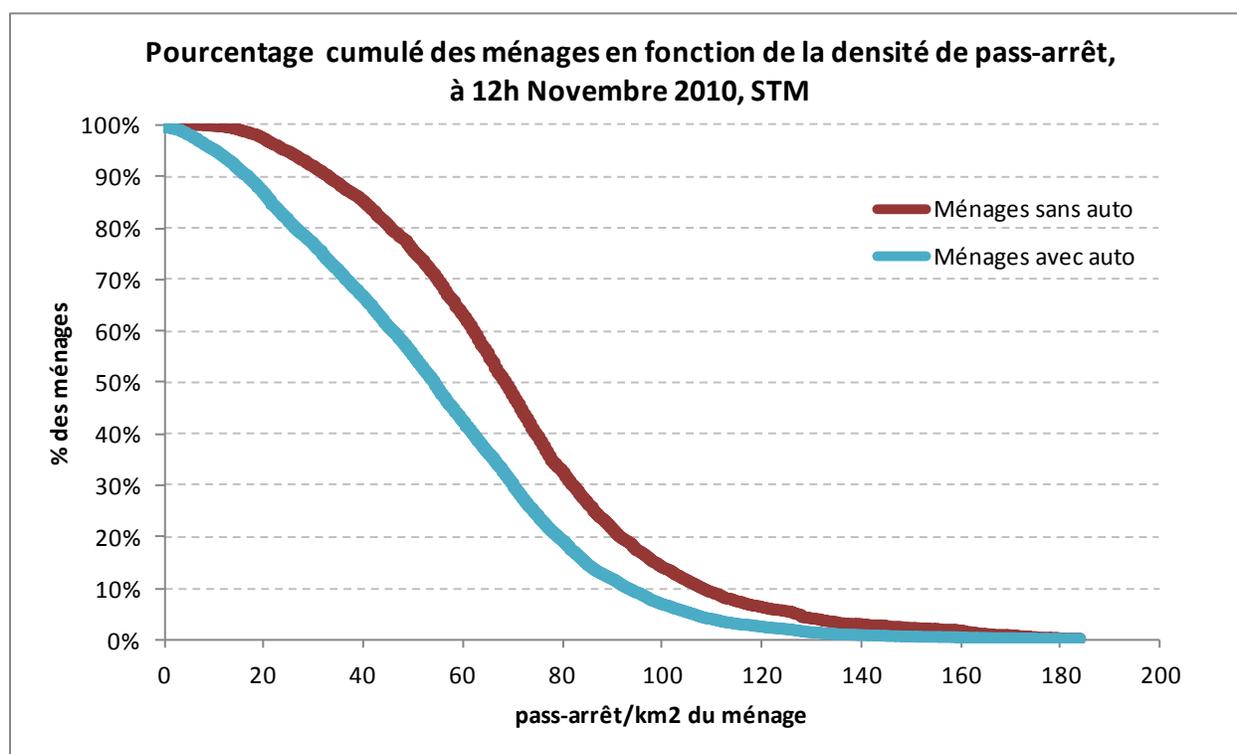
L'objectif est d'observer la relation entre la possession automobile vis-à-vis l'offre de transport collectif. Un tableau suivant donne les statistiques globales en fonction de la possession

automobile et de l'année pour Montréal. Seulement la densité par ménage est présentée dans les présents résultats.

**Tableau 15. Densité de passages-arrêts par ménage et possession automobile 2009 – 2010, 12h, semaine STM**

Possession automobile par ménage	2009	2010
Ménage sans auto	270 483	270 483
Ménage avec auto	560 546	560 546
Densité moyenne ménage sans auto	68.8	70.2
Densité moyenne ménage avec auto	53.0	54.8
Écart-type (Dens) ménage sans auto	32.0	32.0
Écart-type (Dens) ménage avec auto	29.9	30.3

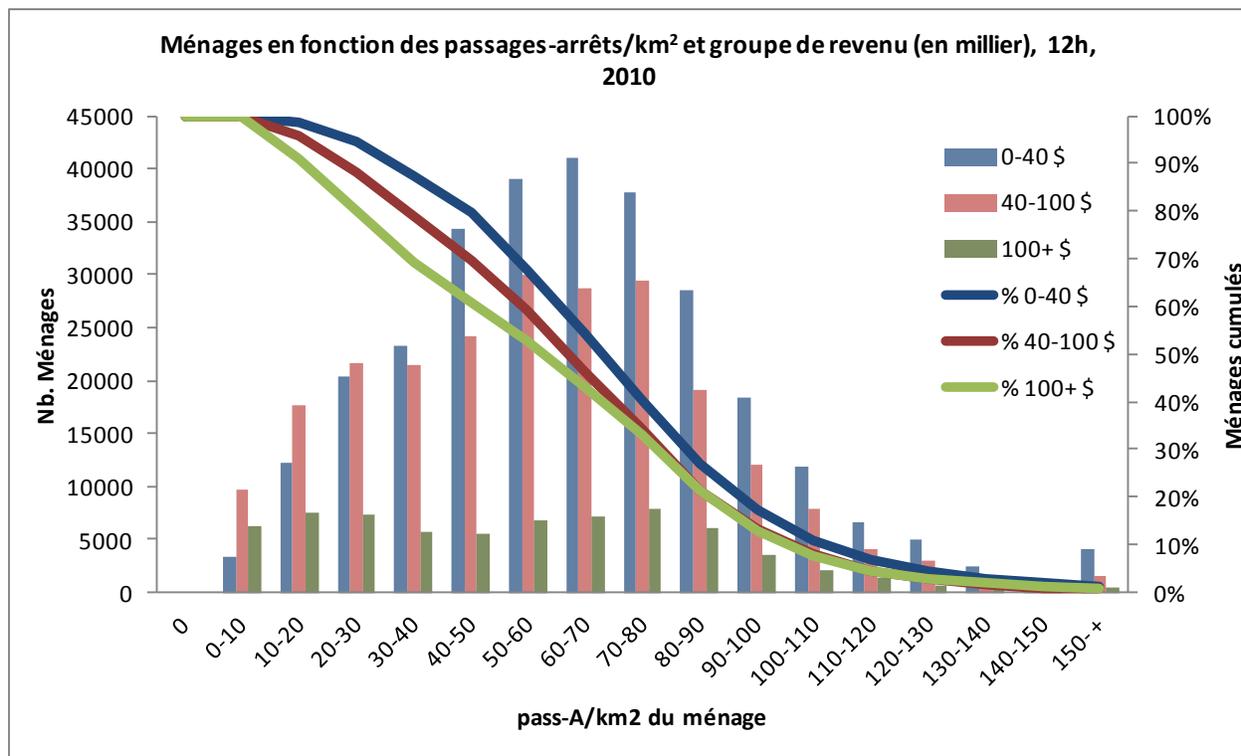
En 2009 comme en 2010, les ménages sans auto obtiennent une densité moyenne supérieure, soit environ 11 passages-arrêts de plus dans un rayon de 750 m. Le graphique suivant montre par ailleurs la proportion cumulée de ménages en fonction de leur densité pour 2010.



**Figure 41. Pourcentage cumulé des ménages par densité de passage-arrêt**

Ce dernier permet entre autres de comparer les distributions de ménages. Dans le cas des ménages sans auto, 70% des ménages se situent à l'intérieur d'une densité de passages-arrêts supérieurs à 55 contre 37 avec auto. Ces mêmes distributions auraient pu être observées en

fonction du ratio auto par ménage. Dans une démarche similaire, la densité désagrégée peut-être mise en relation avec le revenu du ménage telle que le démontre le graphique suivant.



**Figure 42. Ménages en fonction de la densité passages-arrêts et du revenu du ménage entre 12h et 12h30, STM, Novembre 2010**

Lorsque le service est dense, il est difficile de faire la différence entre les zones très bien desservies et les zones bien desservies. Ces indicateurs prennent encore plus de pertinence dans les secteurs où le service de transport collectif est faible ou lorsque la différence de service est flagrante entre différentes périodes de la journée. Son utilité a bien été démontrée à travers le cas du service de nuit et les analyses suivantes.

## CHAPITRE 6 INDICATEURS DYNAMIQUES

Une méthode dynamique signifie que l'objet mesuré est dynamique, c'est-à-dire qu'il a la possibilité de se déplacer sur un territoire. Les indicateurs dynamiques qualifient généralement les alternatives de transport d'un lieu ou d'une zone. Dans ce chapitre, quatre objets dynamiques sont observés : l'autobus, l'automobile, le vélo et les personnes se déplaçant à pied. Ainsi, quatre modes bénéficient d'indicateurs relatant de leur performance. Les méthodes pour générer ces indicateurs varient entre le transport collectif et l'automobile, la marche et le vélo. Le chapitre s'articule autour de ces distinctions, la figure suivante en illustre la structure.

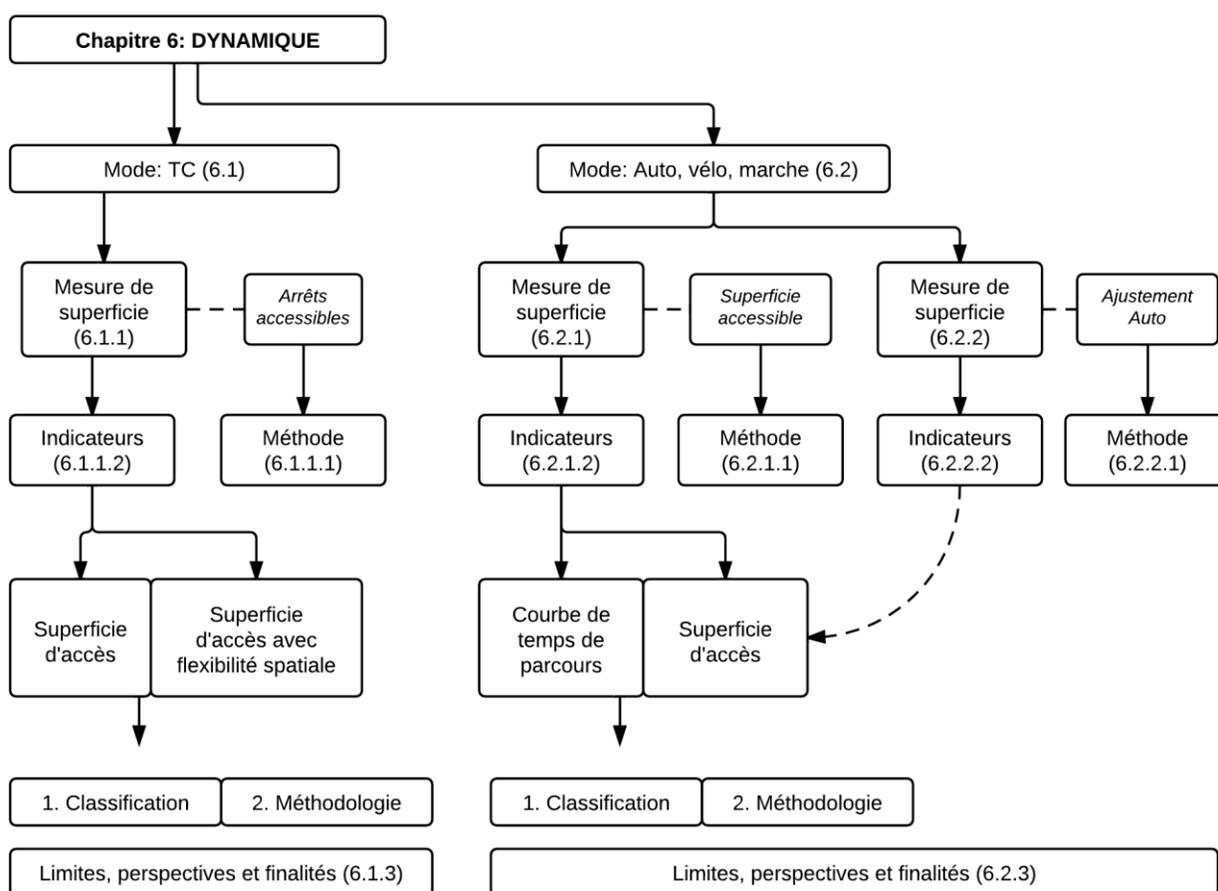


Figure 43. Schéma de la structure du chapitre: INDICATEURS DYNAMIQUES

Les méthodes pour le transport collectif sont distinctes des autres pour plusieurs raisons. Les outils doivent prendre en compte une série d'objets qui ne sont pas les mêmes que pour les autres modes. Certains objets sont statiques : les points d'embarquement et de débarquement (arrêts). D'autres sont cinétiques : les trajets (itinéraires), et d'autres sont dynamiques : les

autobus, les métros et les trains. Ces éléments dépendent également d'une table horaire où l'heure de desserte aux arrêts est fixée par l'autorité de transport. Pour calculer un temps de parcours en transport collectif entre une origine et une destination (classe dynamique), il faut tenir compte de plusieurs facteurs dont l'heure, la journée, les arrêts à proximité, les lignes desservant ces arrêts, leurs trajets et leurs possibilités de correspondances, etc. À l'inverse, l'automobile, le vélo et la marche ont des contraintes différentes. Ils ne sont pas soumis à des horaires, des itinéraires fixes et des arrêts. Ils bénéficient d'une plus grande liberté quant au choix de leur itinéraire et de leur heure de départ. Pour ces raisons, les méthodes et outils divergent selon le mode observé. Or, bien que les méthodologies soient distinctes, des indicateurs similaires peuvent être obtenus et comparés. L'automobile a toutefois ses particularités en raison de la présence de congestion sur son réseau. Des méthodologies particulières sont également présentées à la section 6.2.2 pour l'automobile.

Selon le schéma de la structure, quatre indicateurs ressortent des méthodologies développées. En réalité, ce sont des ensembles rassemblant plusieurs indicateurs. Par exemple, les superficies d'accès sont un type d'indicateur en soi, mais, en faisant varier des paramètres de la méthode ou en les jumelant à d'autres informations, ils peuvent générer une multitude d'autres indicateurs.

## **6.1 Mode : Transport collectif**

Les autobus et les métros sont les deux objets dynamiques observés ici. Ils sont associés au transport collectif.

### **6.1.1 Mesure de superficie : arrêts accessibles**

L'objectif poursuivi ici est de développer des indicateurs qui soient sensibles à la mobilité en transport collectif. La mobilité est liée à l'accessibilité puisqu'elle exprime la compétitivité d'un mode et, indirectement, l'accessibilité aux diverses opportunités. Les indicateurs basés sur la notion de passages-arrêts renvoient de l'information sur l'accès au mode, mais non sur l'accessibilité offerte par le mode en soi. De plus, ces indicateurs n'étaient pas adaptés pour évaluer l'accessibilité d'un générateur.

Dans cette optique, un outil a été développé pour caractériser l'accessibilité d'une personne à partir d'un lieu, d'une date et d'une heure. Celui-ci renvoie en fait, tous les arrêts, à

partir d'un point, qui sont accessibles en transport collectif pour une durée déterminée. La finalité est, entre autres, d'obtenir la superficie accessible à partir d'un générateur ou un domicile selon des paramètres de temps. Les données GTFS sont encore une fois exploitées.

#### **6.1.1.1 Méthode : Calculateur d'arrêts accessibles**

L'outil permettant de déterminer tous les arrêts accessibles sera présenté en détail dans les paragraphes qui suivent.

Afin de faciliter la compréhension, les grandes étapes pour obtenir les indicateurs souhaités (arrêts accessibles) sont résumées au préalable ici. D'abord, quatre paramètres doivent être sélectionnés : un point d'intérêt (ex. Hôpital Saint-Justine), un type de journée (ex. samedi), une heure de départ (ex. 16h00) et une durée de trajet (ex. 15 minutes). En partant de ce point d'intérêt, le calculateur (outil) doit déterminer tous les arrêts à proximité. De ces arrêts, tous les passages possibles (ex. 16h à 16h15) sont recensés. Pour chacun de ces passages, un algorithme lance une recherche de tous les arrêts sur la ligne en question accessibles en 15 minutes depuis le point d'origine (temps en véhicule + temps de marche). Si la personne a quitté le point d'intérêt à 16h05, l'algorithme considère que les arrêts accessibles ont un passage entre 16h05 à 16h20. Les correspondances sont également prises en considération par l'outil. Le résultat final constitue une base de données avec un arrêt d'origine et un arrêt de destination, ainsi que l'heure d'embarquement et de débarquement.

Il est à noter que d'autres éléments sont pris en considération dans l'algorithme, ils seront énoncés lors de la description des paramètres et de l'algorithme. L'outil web a été développé en collaboration (Páez, Moniruzzaman et al. 2011).

##### *6.1.1.1.1 Environnement*

L'outil a été développé à partir de quatre composantes du web. Elles ont chacune une fonction spécifique dans la programmation de l'outil. Le tableau ci-après discute des composantes et de leur utilité spécifique.

**Tableau 16. Composante de programmation sur le web**

<i>Composante</i>	<i>Utilité dans la programmation de l'outil</i>
HTML	Programmation de base de la page web :
JavaScript	Contient le titre, les dimensions de la carte et d'autres objets de base Langage de programmation incorporé au HTML qui permet l'utilisation des fonctions de l'API Google maps et de PHP MySQL
API Google maps	C'est Google maps version programmable, il permet de : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Créer une carte,</li> <li>- Ajouter des objets (marqueur, ligne, polyligne, polygone, icône, etc.),</li> <li>- Calculer des chemins entre origines et destinations, etc.</li> </ul>
PHP MySQL	Contient la base de données GTFS et permet d'y faire des requêtes SQL

Ces éléments jumelés résultent donc d'une interface web contenant en son centre une carte de Montréal.

#### *6.1.1.1.2 Paramètres*

Avant de lancer l'algorithme, il est nécessaire d'en déterminer les paramètres. Certains ont une valeur par défaut et doivent être modifiés manuellement à l'intérieur du programme. D'autres peuvent être changés à chacune des itérations en les inscrivant dans la barre HTTP selon la nomenclature précisée. Les paramètres sont listés dans le tableau suivant ainsi que leur valeur par défaut, le cas échéant, et un exemple.

Tableau 17. Paramètres de l'outil

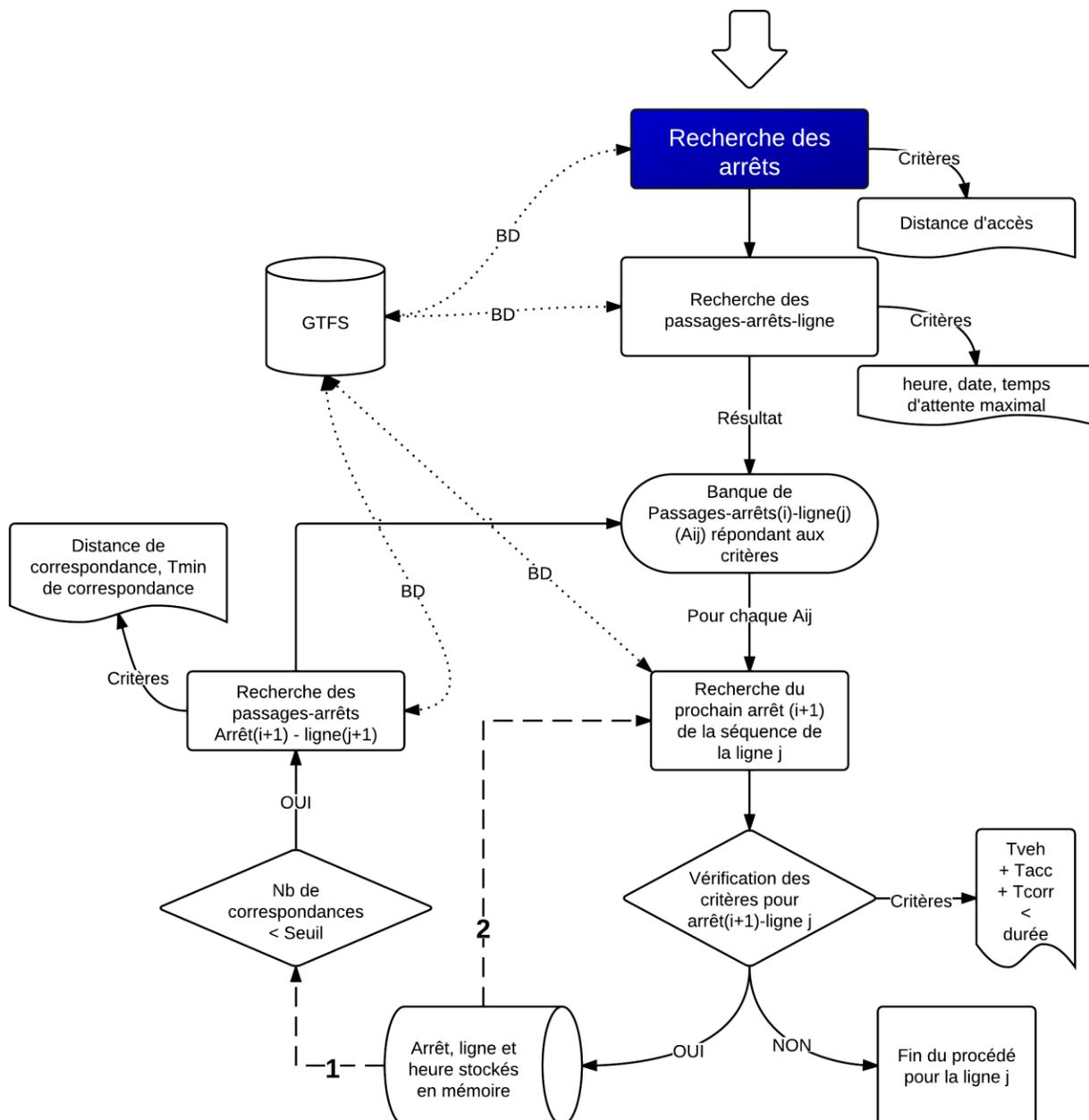
<i>Nom</i>	<i>Valeur par défaut</i>	<i>Exemple</i>
Origine : coordonnées Latitude, Longitude du point d'intérêt	aucune	(45,7, -75,1)
Heure de départ	aucune	16 :00
Date (doit être comprise dans le calendrier du GTFS utilisé)	aucune	2010/10/09
Durée : Temps de parcours maximal alloué	aucune	15 minutes
Distance accès maximale pour le 1 <sup>er</sup> arrêt	500 m	500 m
Temps d'attente maximum (intervalle de temps permis entre l'heure de départ et l'embarquement)	20 minutes	20 minutes
Distance maximale de correspondance	350 m	200 m
Nombre de correspondances maximum	1	1
Vitesse de marche	5.5 km/h	5.5 km/h
Temps minimum de correspondance - MÉTRO	4 minutes	4 minutes
Temps minimum de correspondance - AUTOBUS	2 minutes	2 minutes

**Heure de départ** correspond à l'heure à laquelle l'algorithme commence sa recherche. Le **temps d'attente maximale** est calculé à partir du temps de départ. Si par exemple, l'heure de départ est fixée à 16h00 et le temps d'attente maximum est évalué à 15 minutes, ceci implique que les arrêts recherchés doivent avoir un service entre 16h00 et 16h15. La **durée** correspond au temps total accordé pour effectuer un déplacement. Celle-ci inclut le temps d'accès calculé à partir de la vitesse posée et de la distance à vol d'oiseau entre l'origine et l'arrêt, le temps en véhicule et le temps d'attente entre les correspondances, le cas échéant. La **distance maximale de correspondance** est le seuil de distance qu'une personne peut parcourir pour effectuer une correspondance. Le paramètre du **nombre de correspondances** est fixé à 1 pour alléger les calculs. En réalité, il serait préférable d'augmenter les valeurs à 2, voire 3. Il y aurait possibilité de la faire varier selon le type de correspondance. Par exemple, 2 correspondances pourraient être permises lorsque le métro est impliqué dans le déplacement, et une seule lorsque les correspondances sont seulement entre lignes d'autobus. La **vitesse de marche** permet de déterminer le temps d'accès à partir de la distance parcourue entre l'origine et l'arrêt. Le **temps minimum de correspondance métro ou autobus** représente le délai minimum requis pour qu'une personne effectue une correspondance. Si par exemple, deux lignes de métro passent à une même intersection à moins de 4 minutes d'intervalle, l'algorithme juge que la

correspondance n'est pas valide. La valeur de 4 ou 2 minutes provient de l'hypothèse qu'une personne, pour effectuer une correspondance, doit d'abord effectuer un débarquement, ensuite, elle doit rejoindre le prochain quai/arrêt et effectuer un embarquement. Les correspondances aux stations Jean-Talon et Berri-Uqam sont parfois espacées de plusieurs mètres, elles sont responsables de la valeur plus élevée du mode métro. Ce délai en question agit également comme facteur de sécurité face à l'éventualité d'un retard à l'horaire.

#### *6.1.1.1.3 Algorithme de calcul*

Une fois les paramètres fixés, l'outil peut lancer l'algorithme de recherche d'arrêts accessibles à moins d'une durée déterminée. La durée admise inclut, en réalité, le temps d'accès au premier arrêt et le temps en véhicule. La méthodologie employée pour la détermination des arrêts accessibles est illustrée par le schéma de la figure. Elle est suivie d'une description plus exhaustive de la démarche.



**Figure 44. Schéma méthodologique de l'algorithme de recherche d'arrêts accessibles**

1. Il y a recherche dans la base de données GTFS de tous les passages-arrêts suivant les critères suivants :
  - a. à distance d'accès inférieure ou égale au seuil déterminé du point d'origine; (Ex. à moins de 500 m du point d'origine)

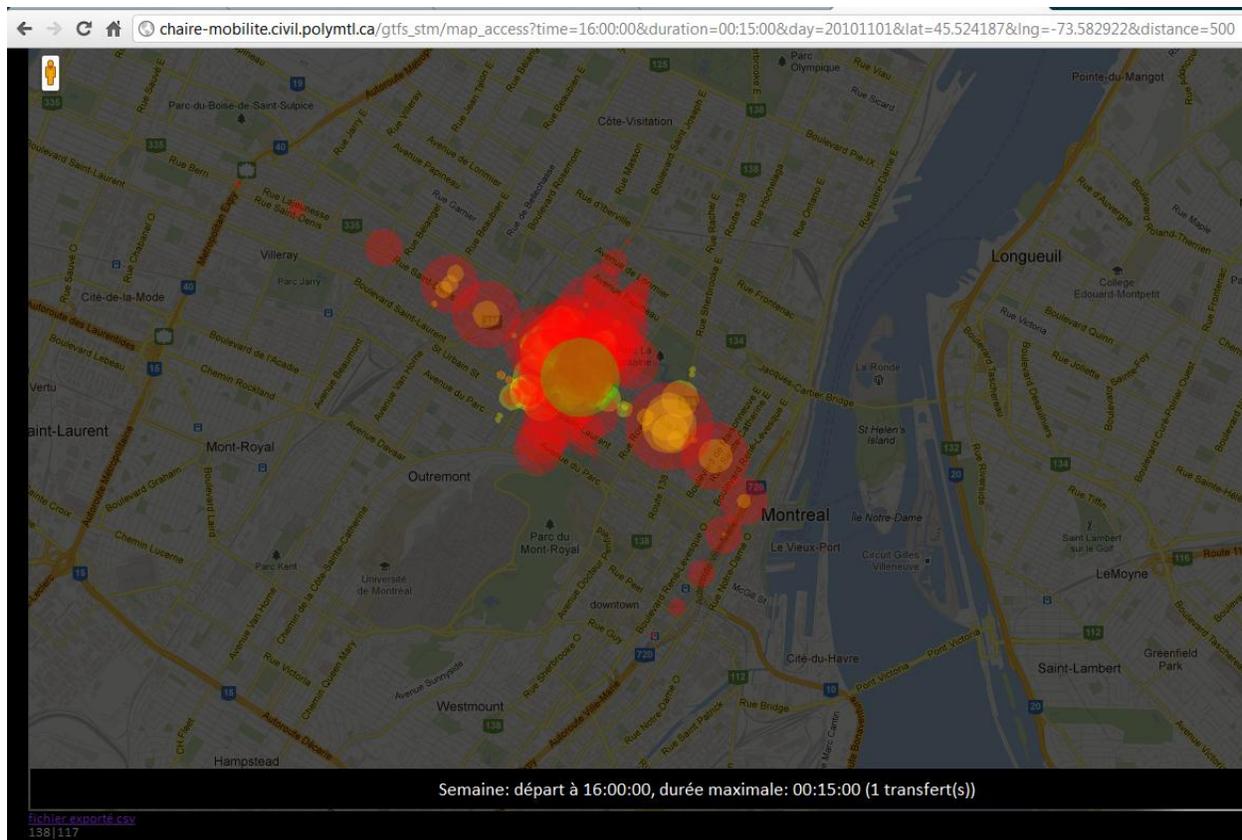
- b. L'heure de passage est située entre l'heure de départ et l'intervalle de temps permis pour la journée déterminée. (Ex. tous les passages-arrêts entre 16h et 16h20)
2. Pour chaque passage-arrêt recensé ( $A_{ij}$ ), l'algorithme recherche le prochain arrêt ( $i+1$ ) sur la séquence de la ligne  $j$ . À ce nouvel arrêt  $A_{(i+1)j}$ , le programme vérifie que l'arrêt est réellement accessible durant la période de temps définie (durée). C'est-à-dire qu'il vérifie que le temps en véhicule additionné au temps d'accès est inférieur à la durée fixée. Dans le cas où il y aurait eu correspondance, il faut ajouter le temps d'attente entre la ligne 1 et la ligne 2. La condition se traduit donc par l'équation suivante:

$$T_{\text{véh}} + T_{\text{acc}} + T_{\text{corr}} < \text{durée} \quad \text{Équation 5}$$

- i. Si la condition est respectée (OUI), l'arrêt est stocké en mémoire ainsi que ses caractéristiques comme l'heure de départ, l'heure d'arrivée, la distance d'accès, etc. Ensuite, l'algorithme se divise en deux.
1. Recherche de correspondance : si le nombre de correspondances de la séquence observée est inférieur à 1, il y a recherche de correspondance à moins de la distance seuil déterminée dans les paramètres et du temps de correspondance minimal. (Ex. le calculateur recherche tous les passages-arrêts à moins 200 m et dont le passage est espacé d'au moins 3 minutes).
  2. Arrêt suivant : l'algorithme reprend à l'étape 2, c'est-à-dire qu'il recherche le prochain arrêt de la séquence de la ligne.
- ii. Si la condition n'est pas respectée (NON), l'arrêt n'est pas stocké en mémoire. L'algorithme s'arrête pour cette séquence.

À la fin du procédé, lorsque l'algorithme a répertorié tous les arrêts, il en résulte une base de données de tous les arrêts accessibles ainsi que leurs caractéristiques. Cette dernière permettra l'évaluation de plusieurs indicateurs. L'outil affiche les résultats sur la carte. Pour chaque arrêt recensé, un espace tampon dont la superficie varie en fonction du temps d'accès final ( $T_{\text{acc}2}$ ) est créé ( $T_{\text{acc}2}$ , voir 6.1.1.2.1 Superficie d'accès). Pour un déplacement sans correspondance, l'arrêt est de couleur rouge et de couleur jaune pour une correspondance. Le cercle vert correspond à la

surface d'accès initial. L'interface web illustrée à la figure suivante affiche la carte des arrêts accessibles pour un trajet de 15 minutes en partant de l'intersection Saint-Denis/Mont-Royal EST à 16h00 un jour de semaine.



**Figure 45. Interface web, exemple de résultat pour une durée de 15 min à 16h à partir de l'intersection des rues Saint-Denis et Mont-Royal**

## 6.1.1.2 Indicateurs

### 6.1.1.2.1 Superficie d'accès

La superficie d'accès correspond à la superficie qui couvre tous les lieux accessibles pour la durée déterminée. Il s'agit en fait de créer un polygone dont les extrémités représentent les limites auxquelles une personne peut accéder en transport en commun selon les paramètres de durée, heure de départ, date, etc. L'aire du polygone se nomme superficie d'accès. Sous forme de carte ou sous forme de chiffre, cet indicateur relate bien de l'accessibilité réelle offerte par un mode.

Les indicateurs de superficie d'accès brute se classifient de la manière suivante.

Tableau 18. Classification des indicateurs de superficie d'accès TC

*Superficie d'accès*

Superficie d'accès			Vérification par pôle	
	Classe	Objet / spécification		
Entité globale	PI		Alternative de transport	x
Méthode	Dynamique	Autobus/métro	Utilisation du sol	
Mode	TC	Autobus/métro	Forme urbaine	
Période (choix)	->	Ex. 10h		
Mesure de	Superficie			
Métrique	Durée	Ex. 30 min de trajet	Minimum 1/3 :	oui

Plusieurs variantes de cet indicateur peuvent être générées en faisant varier les paramètres de durée, d'espace et de temps ou en les jumelant à des couches d'informations d'opportunités (population, commerces, etc.). La classification peut donc varier selon la variante sélectionnée.

La base de données résultante de l'algorithme comporte tous les arrêts accessibles, ainsi que plusieurs autres caractéristiques. L'objectif ici est donc de créer une superficie de destination accessible. Pour ce faire, il faut estimer un espace tampon circulaire autour de chacun des arrêts de la base de données ( $A_i$ ). Le rayon ( $D_{acc2}$ ) est équivalent à la distance d'accès maximale finale calculée à partir du temps  $T_{acc2}$  et de la vitesse de marche fixée dans les paramètres (5.5 km/h). Le temps  $T_{acc2}$  est l'intervalle de temps restant pour marcher vers une destination. La figure suivante illustre bien les composantes de la démarche.

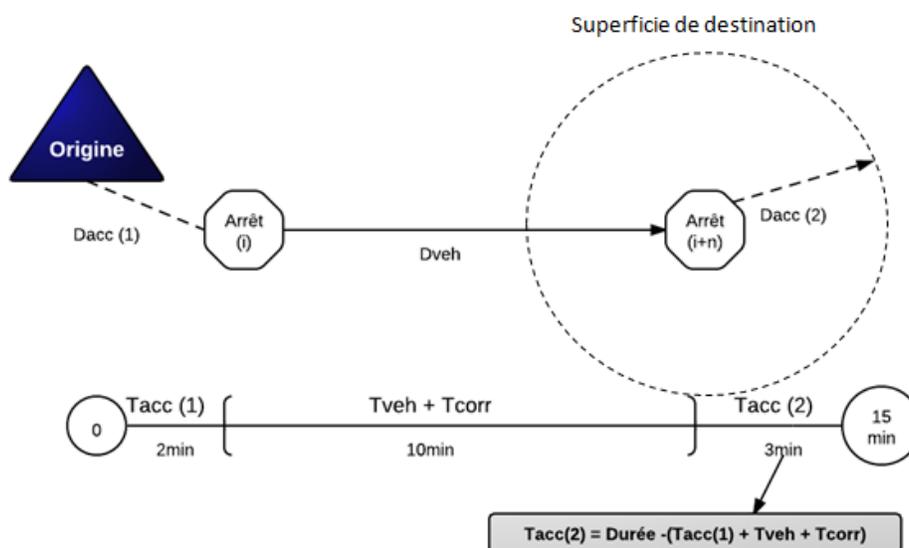
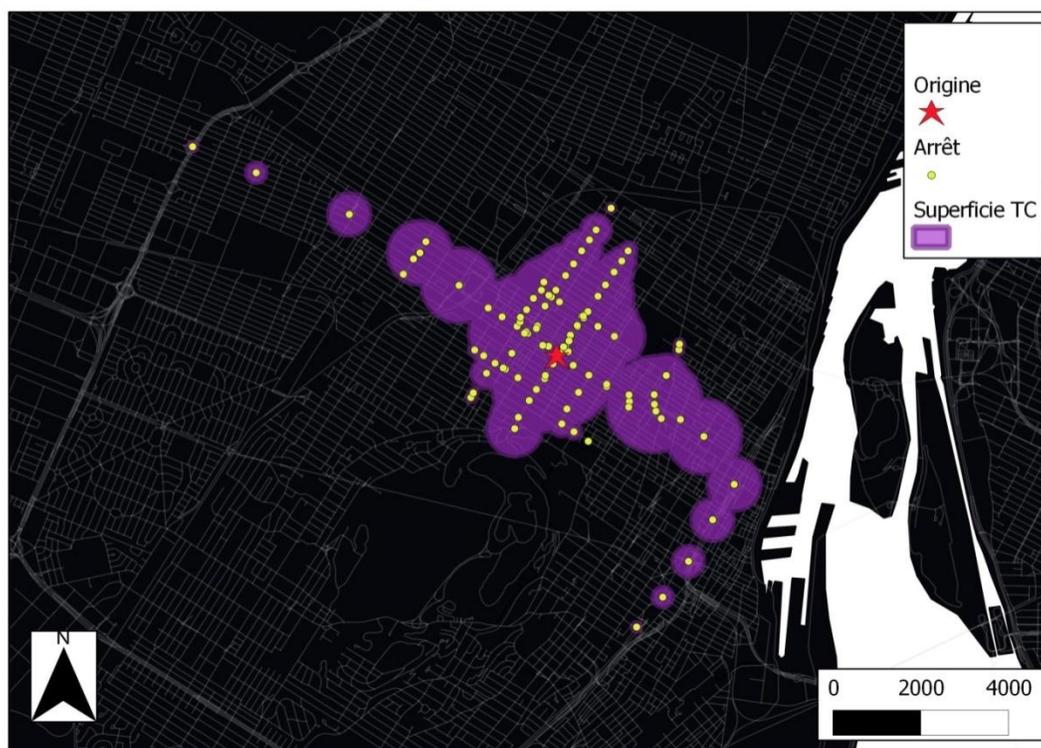


Figure 46. Schéma et équation du temps d'accès à l'origine

La valeur  $D_{acc(2)}$  obtenue pour chacun des arrêts  $A_i$  est stockée en mémoire. Elle sert de valeur de rayon dans la création de tampons dans un logiciel GIS. En unissant la couche de superficie d'accès, la carte suivante est obtenue.



École Polytechnique de Montréal, décembre 2011  
Audrey Godin

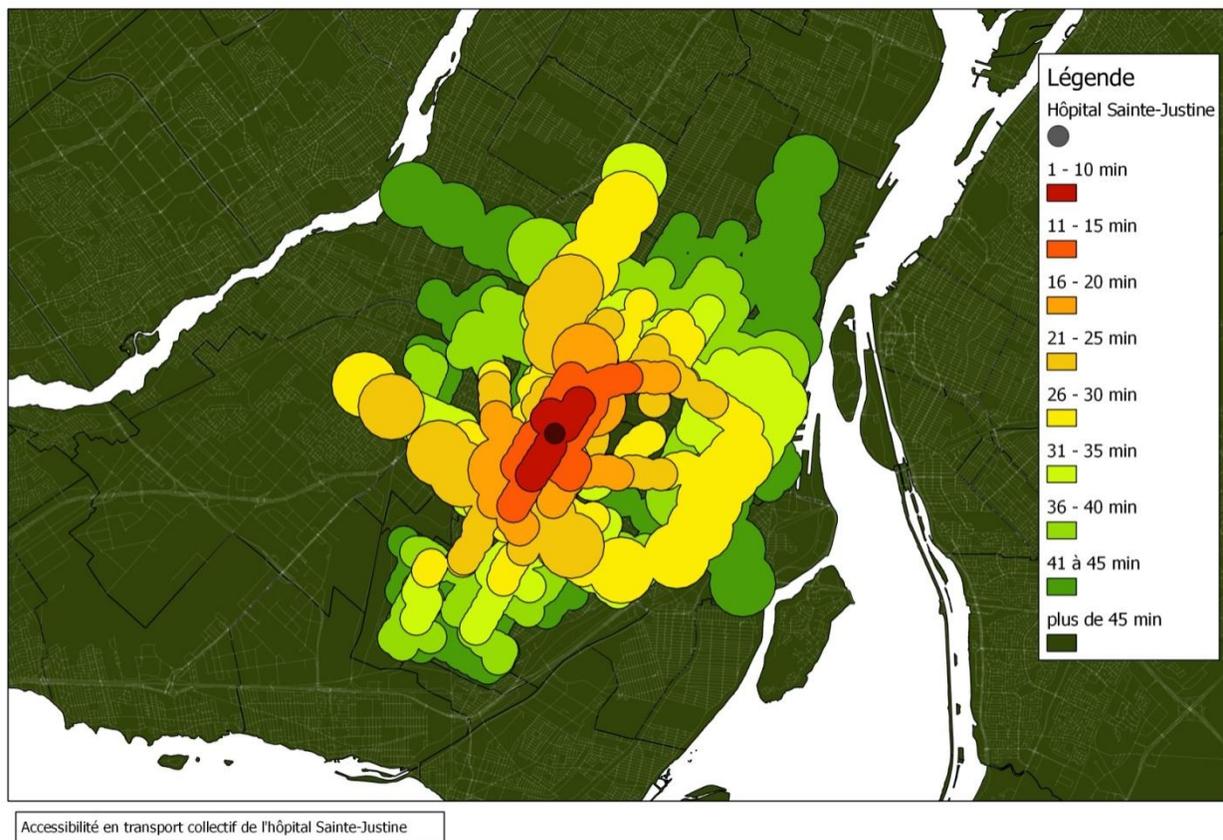
Superficie d'accès pour 15 minutes de trajet

**Figure 47. Superficie d'accès à partir de l'intersection Saint-Denis/Mont-Royal Est pour une durée de 15min, à 16h00 un jour de semaine**

La superficie totale est donc de  $6.86 \text{ km}^2$  pour ces conditions. À partir de cette surface, des indicateurs d'opportunités peuvent s'y rapporter tels que le nombre de ménages, d'emplois, de centres de soins, d'épiceries, d'écoles accessibles en 15 minutes. Pour une même durée, mesurer l'évolution de la surface accessible en fonction de l'heure de la journée peut s'avérer intéressant. Ceci peut relever des problèmes de flexibilité temporelle liée à un mode.

Il y a également possibilité de faire varier la durée, tel qu'à la Figure 15. Le point d'origine est l'hôpital Saint-Justine à Montréal à 8h00 AM, un jour de semaine. Les espaces tampons, sur cette figure, ne sont pas générés selon la méthode du  $T_{acc2}$ . Le rayon est fixé à 400 mètres pour un arrêt d'autobus et 800 m pour une station de métro. Le temps d'accès à la

destination n'est pas pris en compte dans le calcul de la durée. Malgré que la méthodologie soit légèrement différente, le principe de superficie d'accès est appliqué.



**Figure 48. Superficie d'accès selon la durée, 8h00 AM, semaine, Hôpital Sainte-Justine**

#### 6.1.1.2.2 Superficie d'accès avec flexibilité spatiale

Pour différents points d'intérêt, la superficie d'accès peut être comparée si les paramètres sont inchangés. La flexibilité spatiale est évaluée de cette manière.

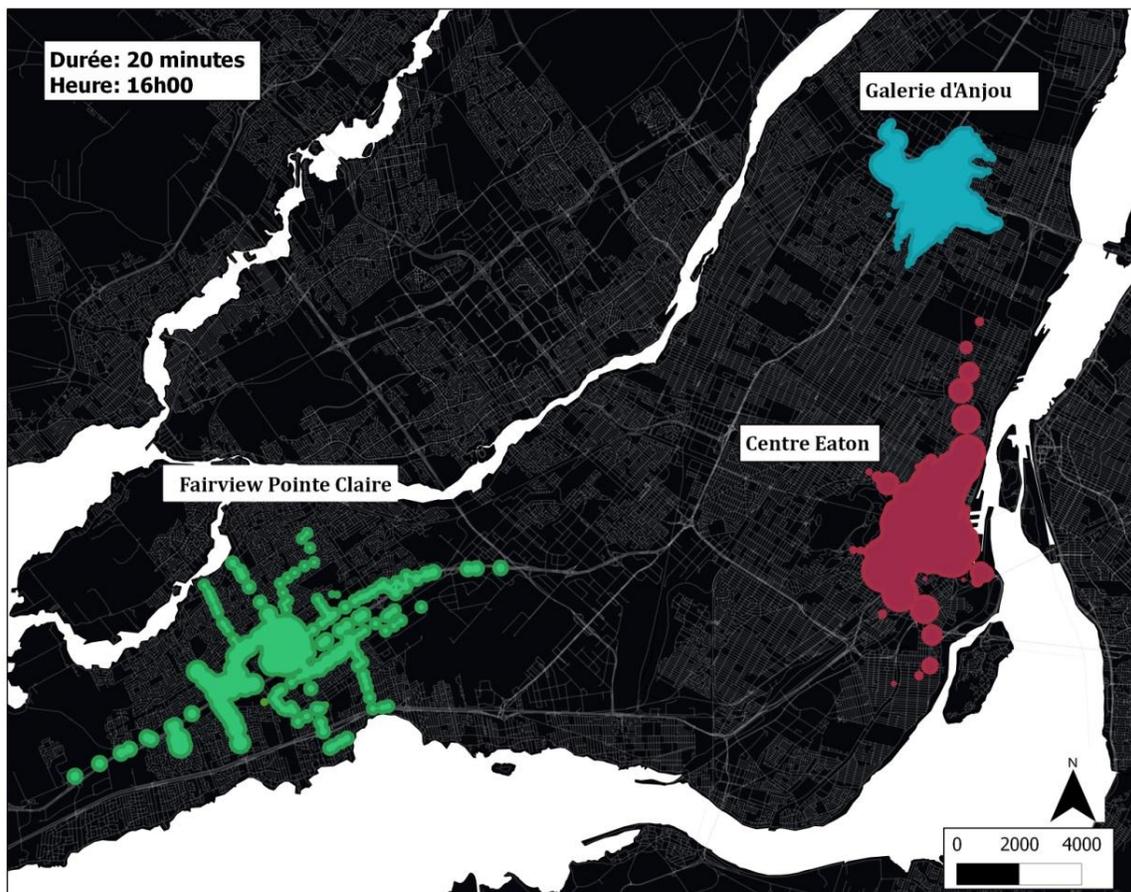
L'indicateur de superficie d'accès avec flexibilité spatiale est une variante de l'indicateur de superficie d'accès.

**Tableau 19. Classification des indicateurs de superficie d'accès avec flexibilité spatiale***Superficie d'accès avec flexibilité spatiale*

			<b>Vérification par pôle</b>	
	<b>Classe</b>	<b>Objet / spécification</b>		
Entité globale	PI		Alternative de transport	x
Méthode	Dynamique	Autobus/métro	Utilisation du sol	
Mode	TC	Autobus/métro	Forme urbaine	
Période (choix)	->	Ex. 10h		
Mesure de	Superficie			
Mesure de	Flexibilité	-	Minimum 1/3 :	oui
Mesure de	Spatiale	<i>Variation d'espace</i>		
Métrique	Durée	Ex. 30 min de trajet		

La méthode est identique à celle présentée à la section précédente (6.1.1.2.1) à défaut de faire varier la position du point d'intérêt.

Voici un exemple où trois centres commerciaux de l'île de Montréal ont été comparés pour 20 minutes de déplacements : le Fairview Pointe-Claire du secteur Ouest, les Galeries d'Anjou du secteur est et le Centre Eaton du centre-ville. Le résultat apparaît à la Figure 49.



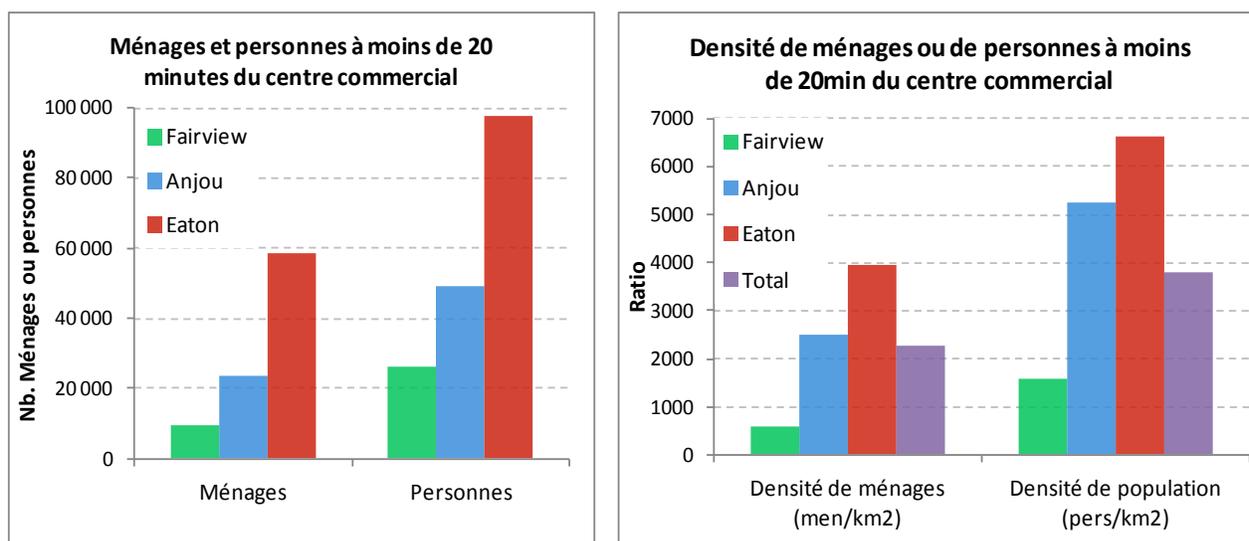
**Figure 49. Superficie d'accès en 20 minutes à partir de 3 centres commerciaux**

La forme des différentes superficies d'accès obtenues informe déjà l'utilisateur sur le type de service offert par le point d'intérêt. Dans le cas de Fairview PC, la présence de service express dans certains axes est marquée (Autoroute 40). Le service est offert dans certains corridors, mais la couverture n'est pas uniforme dans toutes les directions. À l'inverse, il n'y a pas de service express dans une direction particulière à proximité des Galeries d'Anjou, aucun corridor ne se démarque. Il semble plutôt y avoir plusieurs lignes locales qui desservent de multiples destinations à proximité.

Les surfaces peuvent être jumelées aux données d'enquête Origine-Destination 2008 par un outil GIS. De cette manière, les personnes et les ménages à moins de 20 minutes en transport collectif d'un des trois centres commerciaux peuvent être comptabilisés. Un indicateur de ménages par la superficie a également été calculé pour comparer sur une même base les trois points d'intérêt. L'indicateur évalue la demande (ménages ou personnes) par rapport à l'offre (superficie).

**Tableau 20. Superficies, ménages et personnes à moins de 20 minutes de l'un des trois centres commerciaux**

	<i>Superficie (km<sup>2</sup>)</i>	<i>Ménages</i>	<i>%</i>	<i>Personnes</i>	<i>%</i>	<i>Densité de ménages (men/km<sup>2</sup>)</i>	<i>Densité de personnes (pers/km<sup>2</sup>)</i>
Fairview	16.385	9 801	11%	26 049	17%	598	1590
Anjou	9.402	23 615	26%	49 391	32%	2512	5253
Eaton	14.759	58 536	64%	97 864	64%	3966	6631
Total	40.546	91 952	100%	153 316	100%	2268	3781

**Figure 49. Superficies, ménages et personnes à moins de 20 minutes de l'un des 3 centres commerciaux**

Ces tableaux et graphiques mettent en relief la relation entre les services offerts et les opportunités atteintes (personnes ou ménages). Dans les cas présentés, les services à proximité du centre Fairview Pointe-Claire offrent une superficie d'accès 1.75 fois supérieur à ceux des Galeries d'Anjou. Paradoxalement, le réseau de transport collectif des Galeries d'Anjou dessert 23 300 personnes de plus en l'espace de 20 minutes. Le centre Eaton a le meilleur rendement avec 3966 ménages/km<sup>2</sup> accessibles, Pointe-Claire en est au 1/8 avec 598 ménages/km<sup>2</sup>.

En somme, la superficie d'accès engendre de multiples possibilités d'indicateurs et d'analyses.

## 6.1.2 Limites et perspectives des méthodes et indicateurs TC

Le temps d'exécution actuel du programme peut être considéré comme une limite. Exécuter une requête pour une durée de 45 minutes dans une métropole comme Montréal demande plus d'une heure. Augmenter le nombre de correspondances à deux risquerait de doubler ce temps d'exécution. Ce temps pourrait être réduit par diverses mesures dont la précompilation des correspondances possibles.

La présence d'une distance maximale d'accès à un premier arrêt peut engendrer des effets frontière. C'est-à-dire que si la distance est fixée à 500 m et qu'un arrêt se trouve à 501m, il ne sera pas considéré comme un choix potentiel. Toutefois, pour un usager, 1m ne représente pas une frontière d'accès. Idéalement, il ne faudrait pas fixer de distance d'accès afin que tous les arrêts accessibles à pied durant la durée allouée pour le déplacement soient inclus dans l'algorithme (ex. 15minutes)

Les choix de paramètres, tels que la distance maximale d'accès à un premier arrêt, ont été faits aléatoirement. C'est-à-dire que ces choix ne sont pas appuyés par des faits ou des observations de l'enquête OD par exemple. Il serait pertinent de les appuyer sur la littérature ou sur des analyses statistiques réalisées sur l'enquête OD (ex. analyses des distances seuils).

Actuellement, la majorité des paramètres doivent être changés manuellement à l'intérieur du code, certains peuvent l'être dans la barre d'adresse URL. Faciliter la modification des paramètres pourrait être un objectif prochain.

Les trajets sont calculés d'un point d'intérêt vers de multiples destinations (de O vers tous les D). Il serait intéressant d'inverser les calculs, soit d'obtenir tous les points d'origine ayant accès à un point d'intérêt en une durée limitée (de tous les D vers O). L'objectif est donc de visualiser l'accessibilité en direction aller et retour.

Ajoutons également que l'outil actuel n'intègre pas les circuits des autres organismes de transport de la grande région métropolitaine de Montréal. Les GTFS utilisés témoignent uniquement des services offerts par la STM. Les superficies accessibles se limitent donc au territoire de l'île de Montréal. L'intégration des services de tous les organismes à l'intérieur de l'outil est souhaitable.

Or, les indicateurs de superficie d'accès peuvent être très intéressants dans l'évaluation d'un générateur puisqu'ils informent sur la mobilité (superficie d'accès), l'opportunité, la flexibilité (variation de la mobilité dans le temps ou dans l'espace), le bassin d'attractivité, etc. Ils ont le potentiel de démontrer l'attractivité d'un point d'intérêt par rapport à un autre. Ils peuvent informer de la variation de la performance du réseau en fonction de localisation. Ce dernier peut aussi servir à évaluer l'étendue de l'offre par rapport à la demande (population).

De plus, la superficie accessible en transport collectif peut être comparée à celle d'autres modes pour une même durée. Cette méthodologie est présentée ultérieurement dans la section

## **6.2 Modes : Auto, vélo ou marche**

Les mesures pour qualifier le transport collectif ont été approfondies dans les sections intérieures. Les méthodes, les outils ou les indicateurs en soi ne peuvent être réutilisés directement pour l'automobile, la marche et le vélo puisque ces derniers ne sont pas régis par les mêmes objets.

Les contraintes, telles que mentionnées au début du chapitre, ne sont pas les mêmes que pour le transport collectif. Deux éléments diffèrent principalement :

- La notion temporelle n'est pas la même : le concept d'horaire n'existe pas. Ce qui régit le temps de parcours de l'automobile, du vélo ou de la marche, c'est la congestion, la vitesse permise et la présence de signalisation ou autres obstacles. De plus, puisque le concept d'horaire n'existe pas, l'accessibilité au mode est continue si on considère que l'offre des stationnements, pour l'automobile et le vélo, est supérieure à la demande en tout temps et en tout lieu. En réalité, il existe des contraintes de stationnement. Cette problématique sera négligée dans les présentes méthodologies. De ce fait, il n'est pas nécessaire de calculer des indicateurs qui décrivent l'accessibilité au mode comme le sont les passages-arrêts.
- La notion d'itinéraire n'est pas la même : ils ne sont pas fixés sur des liens précis tels une ligne de transport collectif, ils sont flexibles. Nul besoin de se rendre à un poteau-arrêt pour accéder au service et de faire une correspondance pour atteindre une destination à partir d'une autre ligne de TC. Pour ces modes, il existe tout de même un ou plusieurs parcours optimaux entre une origine et destination. Dans la présente méthodologie, un seul trajet sera considéré.

Puisque les objets ne sont pas les mêmes et ne sont pas régis par les mêmes lois, les outils pour générer des indicateurs ne sont pas les mêmes. Or, l'objectif poursuivi est de développer des indicateurs similaires pour tous les modes afin d'être en mesure de les comparer, d'évaluer leur compétitivité et attractivité. Pour ce faire, la mesure de superficie accessible semble être la méthode la plus convenable pour évaluer l'accessibilité et pour comparer les modes entre eux.

L'API de Google Maps ouvre les portes à une variété d'opérations possibles. Le principal attrait est qu'il met à disposition son calculateur de trajet. Il a donc le potentiel de répondre aux objectifs de calculateur de superficie d'accès. Un outil HTML a donc été développé pour exploiter l'API de Google et ses potentialités. La démarche de création de l'outil, ses fonctions et ses finalités feront l'objet des suivantes explications.

### **6.2.1 Mesure de superficie : destinations multiples**

L'objectif est de développer un outil ayant les mêmes propriétés que le calculateur de trajets multiples du transport collectif, soit obtenir des surfaces accessibles pour une période de temps. La méthodologie systématique utilisée pour le transport collectif ne peut être réutilisée ici pour calculer la superficie accessible puisque le nombre d'intersections (correspondances) est trop important.

Ainsi, une méthode simplifiée est proposée. La méthode consiste, en résumé, à générer des destinations fictives à différentes distances et orientations de l'origine pour ensuite calculer des trajets vers chacune de ces destinations fictives. Les informations sur le trajet sont récoltées (distances, temps, chemin, etc.). Elles permettent d'estimer des superficies d'accès en regroupant les destinations dont le temps de parcours est similaire. Pour utiliser cette méthode, un outil a été programmé sur JavaScript avec l'utilisation de fonction de l'API de Google maps. Cet API est, en quelque sorte, Google maps version pour programmeur. C'est-à-dire qu'il est possible, par l'intermédiaire de JavaScript, de créer une carte, d'y ajouter des objets (marqueur, ligne, polyligne, polygone, icône, etc.) et d'y faire des calculs de chemin.

Bien que l'utilisation d'outils GIS aurait pu être suffisante pour réaliser ces opérations, l'utilisation des API de Google procure certains avantages.

- Le réseau routier, cyclable et pédestre est codifié et mis à jour directement par Google. Il n'est donc pas nécessaire de détenir ces réseaux et leurs caractéristiques (vitesse, type de lien

(sens), etc). De plus, l'outil demeure valide pour toutes les régions terrestres codifiées par Google. Ceci est particulièrement intéressant lorsque deux villes sont comparées.

- Un outil web peut être partagé facilement lorsque publié sur internet.
- Le calculateur de trajet Google est performant.
- Ce type de programmation offre énormément de liberté à l'utilisateur quant à la modification des paramètres, l'aspect de la carte, la sélection d'un mode, etc.

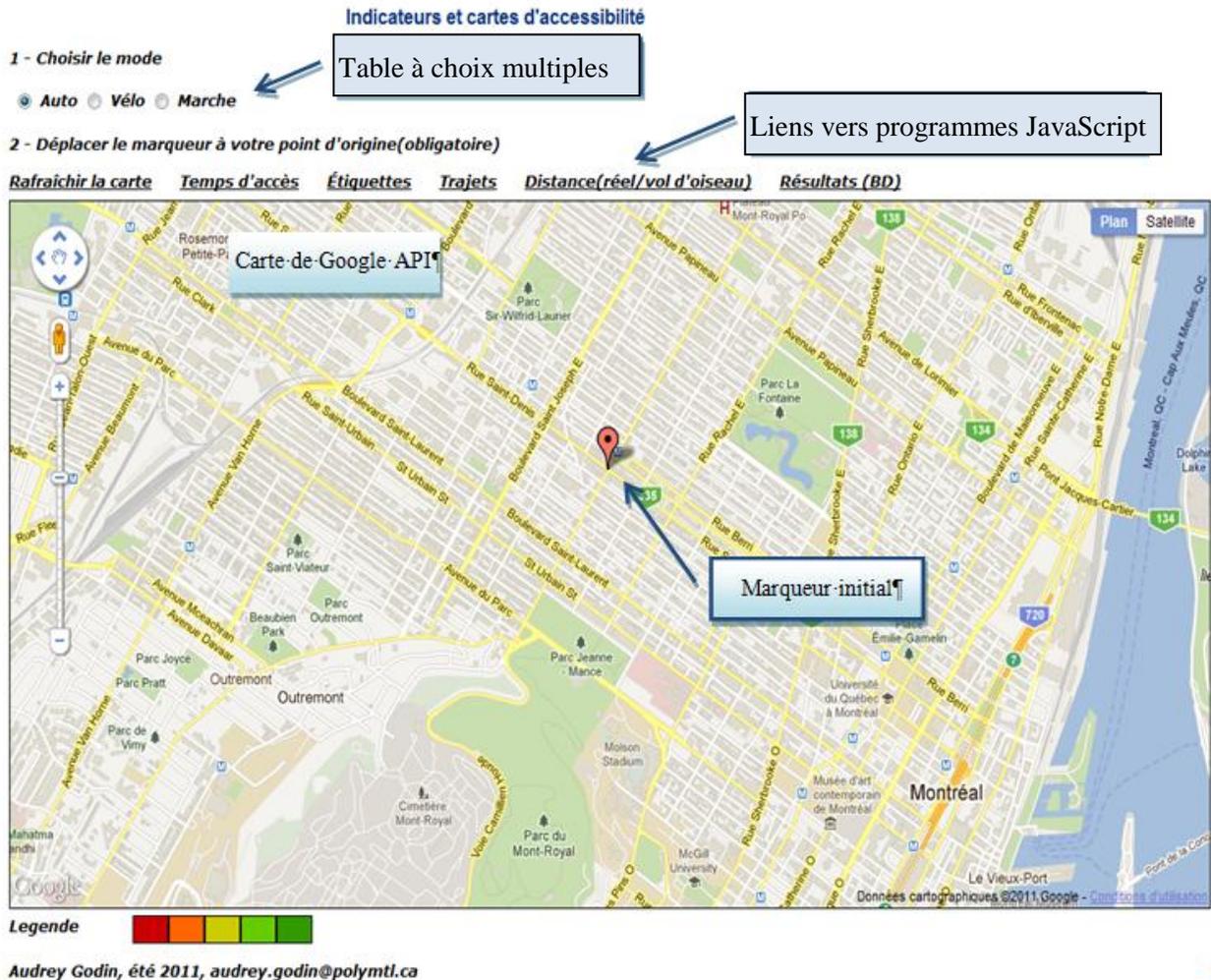
La conception de l'outil sera élaborée en détail dans le présent chapitre.

### **6.2.1.1 Méthode : calculateur de trajets multiples**

L'objectif est de générer automatique une série de destinations autour du point d'origine. Les destinations doivent être situées à des distances et des orientations variables.

#### *6.2.1.1.1 Création de l'environnement*

La première étape consiste donc à créer un environnement où l'utilisateur peut sélectionner son point d'origine, mais également choisir un mode, soit auto, vélo ou marche. L'environnement est de style web. Le script de base est donc en format HTML où sont insérés le titre, une table à choix multiples pour le mode, quelques instructions, différents liens vers des fonctions JavaScript, le cadre de la carte, une légende colorée, etc. La figure suivante en donne un premier aperçu.

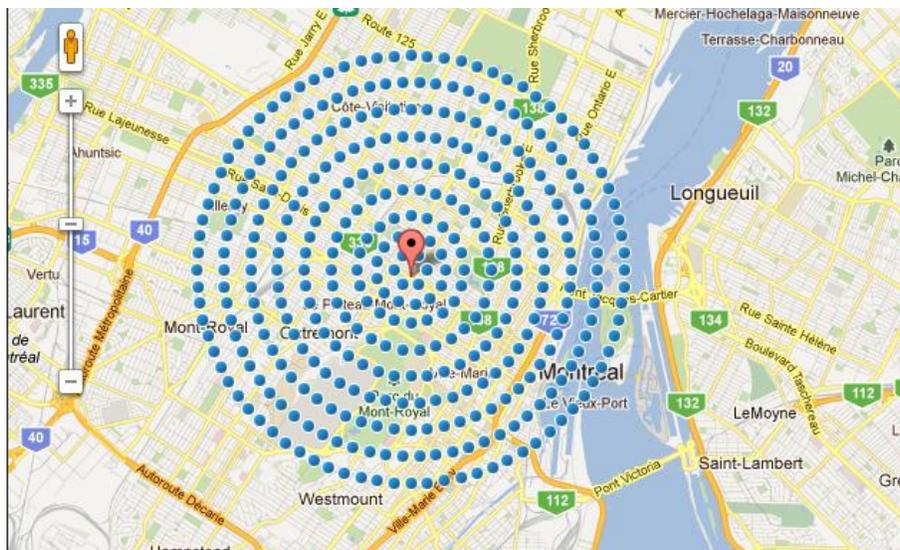


**Figure 50. Création de l'environnement**

Pour afficher la carte, il faut recourir à JavaScript et aux fonctions Google API.

#### 6.2.1.1.2 Point d'origine et génération des destinations

Une fois l'environnement de base créé, l'ajout d'un marqueur désignant le point d'intérêt évalué peut se faire. La fonction « Draggable » des marqueurs Google doit être activée afin de permettre aux usagers de déplacer le marqueur à l'endroit de leur choix. La méthode simplifiée consiste en fait à générer des cercles concentriques à rayons variables autour du point d'origine (voir Figure 51).



**Figure 51. Cercles concentriques autour du marqueur d'origine**

Le concepteur de l'outil peut modifier le nombre de cercles, de rayons et de destinations par cercle dans le code JavaScript. Dans la figure précédente, le nombre de destinations par cercle est la résultante du rayon en mètres divisé par 50. Les cercles sont espacés de 250 m. Il s'agit de choix arbitraires. Il est préférable de faire varier les paramètres selon le mode observé et l'objectif visé. Par exemple, si l'objectif est d'évaluer la superficie d'accès de l'automobile pour 30 minutes, il est préférable d'avoir un espacement intercercle supérieur à 250 m, puis de débiter le premier cercle à une distance (rayon) d'au moins 4 km de l'origine. À l'inverse, si l'évaluation est pour la marche en 30 minutes, l'espacement devrait être inférieur à 250 m et le premier rayon de 500 m.

#### 6.2.1.1.3 *Calculateur de chemins vers les destinations*

Une fois toutes les destinations fictives générées, le calculateur de trajet Google est lancé vers chacune de celle-ci. D'abord, les destinations fictives sont relocalisées sur la route la plus près. Ensuite, le calculateur définit le trajet le plus court entre chaque origine et destination selon le mode. Pour chaque couple origine-destination, il y a production d'une multitude d'objets et de statistiques, dont une polyligne du trajet le plus court, le temps de parcours, la distance réseau, les coordonnées de tous les points d'inflexion du trajet, etc. La figure suivante est un exemple de polygones générées.

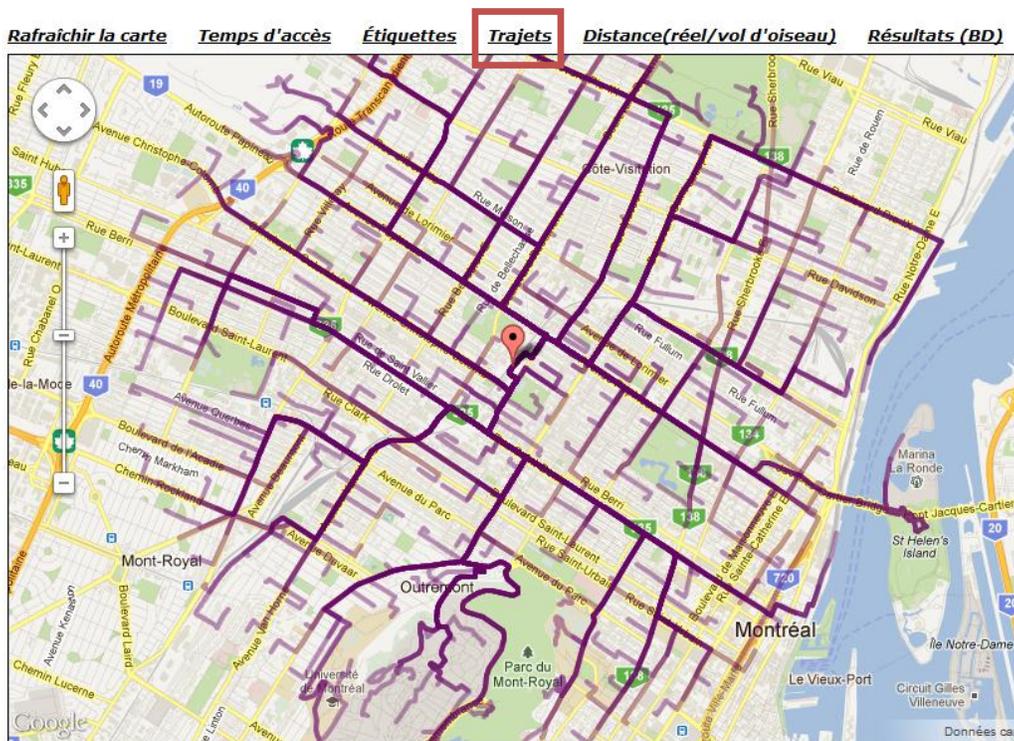


Figure 52. Polygones des trajets vers toutes les destinations

#### 6.2.1.1.4 Récupération des résultats de calcul de trajets

L'usage de programmation JavaScript et HTML permet de récupérer les résultats de trajets, distances et durées de Google. Dans le cadre de cette recherche, deux tables de données sont générées et extraites à des fins d'analyse. La première contient les champs listés dans le tableau suivant et illustré en exemple à la Figure 53.

Tableau 21. Liste des champs de la table 1

Champs	Description
id	Identifiant unique propre à chaque destination
distance(m)	Distance réseau en mètres entre OD
duree(s)	Durée réseau en secondes entre OD
duree(min)	Durée réseau en minutes entre OD
rayon(m)	Rayon du cercle concentrique de la destination
marqueur-lat	Latitude de destination théorique
marqueur-Ing	Longitude de destination théorique
LastPtPath-Lat	Latitude de destination réelle (dernier point du trajet)
LastPtPath-Lng	Longitude de destination réelle (dernier point du trajet)
DE (m)	Distance à vol d'oiseau entre l'origine et la destination
Tort	Tortuosité (Dist. Réseau/ dist. Euclidienne)

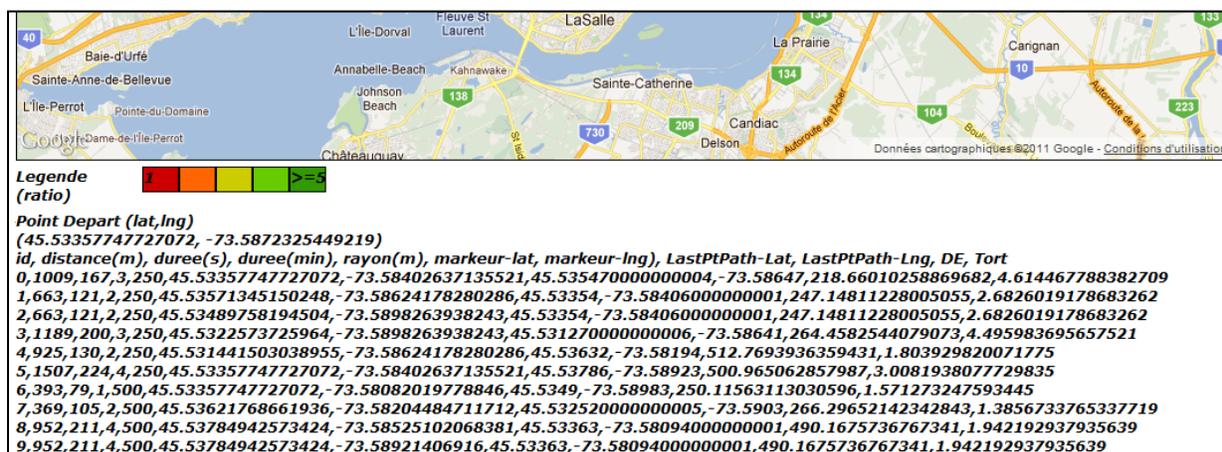


Figure 53. Exemple de table

La seconde table affiche, pour chaque paire OD, l'itinéraire emprunté via les coordonnées des points d'inflexion du trajet dans l'ordre. L'identifiant unique ID de la première base de données est repris pour identifier la paire OD. C'est par l'objet « Path » généré par l'API de Google maps que cette information peut être tirée.

ID, PATH i
0,45.523990000000005,-73.583000000000001
0,45.52622,-73.587870000000001
0,45.52738,-73.586790000000001
0,45.527080000000005,-73.58615
0,45.526970000000006,-73.586090000000001
0,45.52685,-73.586170000000001
0,45.524960000000001,-73.58204
0,45.52389,-73.57988
1,45.523990000000005,-73.583000000000001
1,45.52622,-73.587870000000001
1,45.52738,-73.586790000000001
1,45.527080000000005,-73.58615
1,45.526970000000006,-73.586090000000001
1,45.52685,-73.586170000000001
1,45.524960000000001,-73.58204
1,45.52389,-73.57988
2,45.523990000000005,-73.583000000000001
2,45.52622,-73.587870000000001
2,45.527750000000005,-73.586430000000001

**Figure 54. Exemple de la table 2**

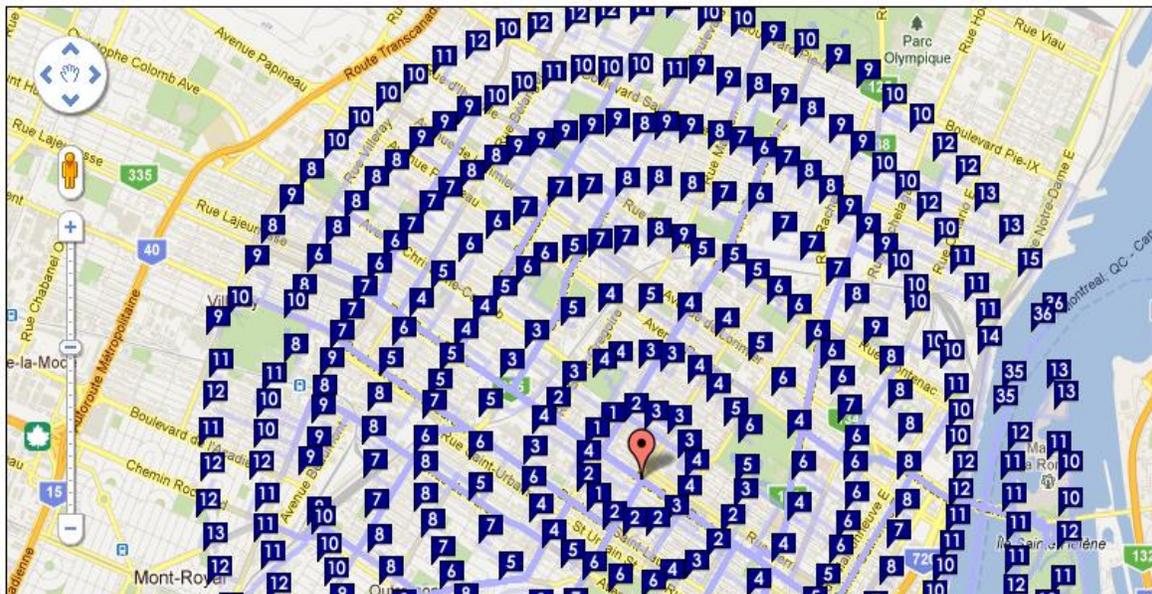
L'utilité de ces bases de données sera explicitée ultérieurement dans ce chapitre dans la section 6.2.2 Mesure de superficie : ajustement des temps de parcours automobile.

### **6.2.1.2 Indicateurs : outil web**

L'objectif premier de l'outil n'est pas d'offrir une performance visuelle des résultats. Peu d'efforts ont été déployés sur l'esthétique des cartes. L'API de Google maps présente également ses limites à ce niveau. Les SIG sont nettement plus performants sur le plan des requêtes spatiales. Or, des méthodologies ont tout de même été développées pour exploiter les résultats des calculs de chemins directement sur le web.

#### *6.2.1.2.1 Étiquette de temps de parcours*

Une première fonction permet d'afficher, par le biais d'icône, le temps en minutes nécessaire pour rejoindre chacune des destinations réelles. Pour ce faire, un algorithme rassemble les destinations de même durée et leur applique l'étiquette dont le chiffre correspond au temps de parcours. Le résultat est présenté à la figure suivante.



**Figure 55. Exemple de la fonction de visualisation par étiquette de temps de parcours (min)**

#### 6.2.1.2.2 Visualisation par échelle de coloration

Cette fonction attribue à chaque destination une couleur qui varie selon la durée. L'échelle de coloration est redéfinie à chaque itération, elle varie en fonction des valeurs de durée minimale et maximale. Les pas de l'échelle sont linéaires. Pour mieux visualiser, un espace tampon est généré autour de chaque destination. Dans la figure suivante, le rayon des espaces tampons a été fixé à 250 m, mais cette valeur peut être modifiée au besoin.

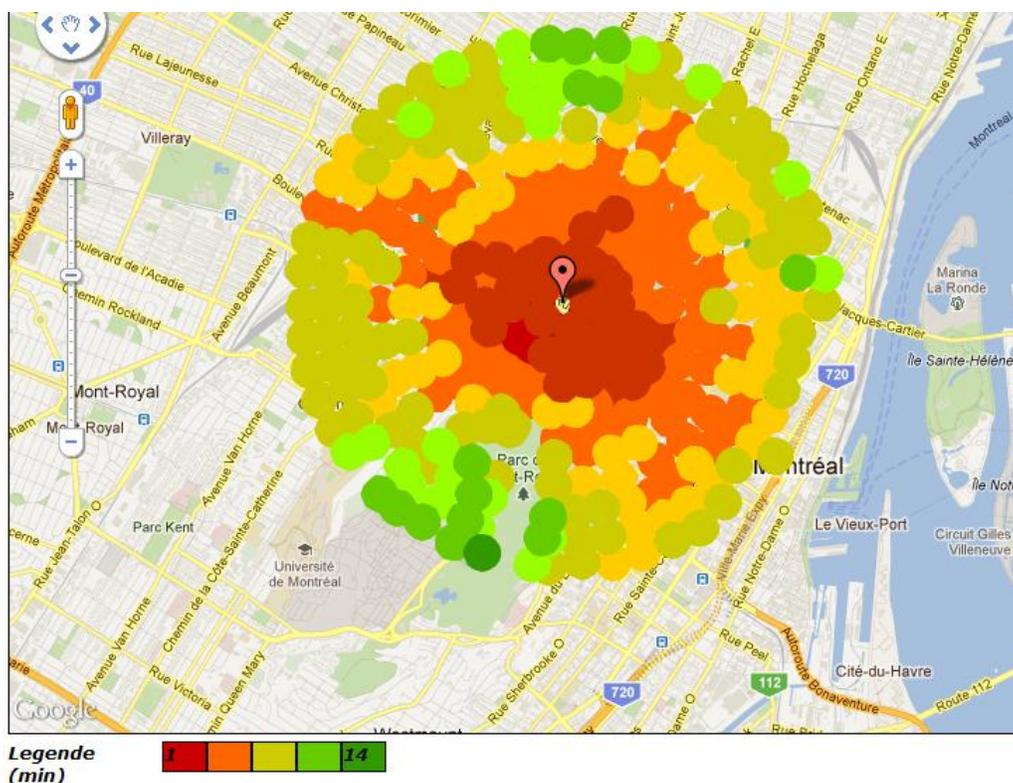


Figure 56. Exemple de visualisation par échelle de coloration

### 6.2.1.3 Indicateurs : outil SIG

La première table créée par l'outil peut facilement être exportée dans un logiciel SIG par l'entremise des coordonnées latitude et longitude. Ces logiciels offrent ensuite une variété de possibilités pour visualiser les résultats et concevoir des indicateurs.

#### 6.2.1.3.1 Courbe de temps de parcours

Les cartes isochrones et les courbes de temps de parcours (courbe de niveau) sont bien connues pour décrire la dispersion des temps de parcours sur un territoire à partir d'un point. Leurs usages peuvent être multiples. Elles peuvent servir à définir des indicateurs tels qu'un graphique du temps de parcours en fonction de la population atteinte.

Les indicateurs issus de courbes de temps de parcours ou cartes isochrones appartiennent aux classes suivantes.

**Tableau 22. Classification des indicateurs de courbe de temps de parcours (carte isochrone)***Courbe de temps de parcours (carte isochrone)*

Classe		Objet / spécification	Vérification par pôle	
Entité globale	PI		Alternative de transport	x
Méthode	Dynamique	Auto, vélo et personne	Utilisation du sol	
Mode	Auto, vélo ou marche		Forme urbaine	
Période (choix)	-	Non disponible		
Mesure de	Superficie			
<i>Mesure de (possibilité)</i>	Flexibilité	-	Minimum 1/3 :	oui
<i>Mesure de (possibilité)</i>	Spatiale	<i>Variation d'espace</i>		
Métrique	Durée			

Ils ont le potentiel d'être des indicateurs de flexibilité spatiale lorsqu'il y a variation du point d'intérêt dans l'espace. La méthodologie présentée ici avec l'outil Google ne permet pas d'évaluer la flexibilité temporelle, car les temps de parcours sont fixes et ne varient pas en fonction de la période. La section 6.2.2 offre une méthodologie complémentaire afin d'offrir cette possibilité.

Obtenir des courbes de niveau de temps de parcours à partir des résultats de l'outil nécessite l'utilisation de fonction d'interpolation pour estimer les durées sur l'ensemble du territoire. De cette couche d'interpolation de type matriciel, la majorité des SIG engendre automatiquement des courbes de temps de parcours. Une carte d'interpolation de type isochrone est illustrée à la Figure 57, le pas de couleur est de 5 minutes. Elle a servi à créer la carte de courbes de temps de parcours (Figure 58) pour des durées de trajet variant entre 2 et 22 minutes.

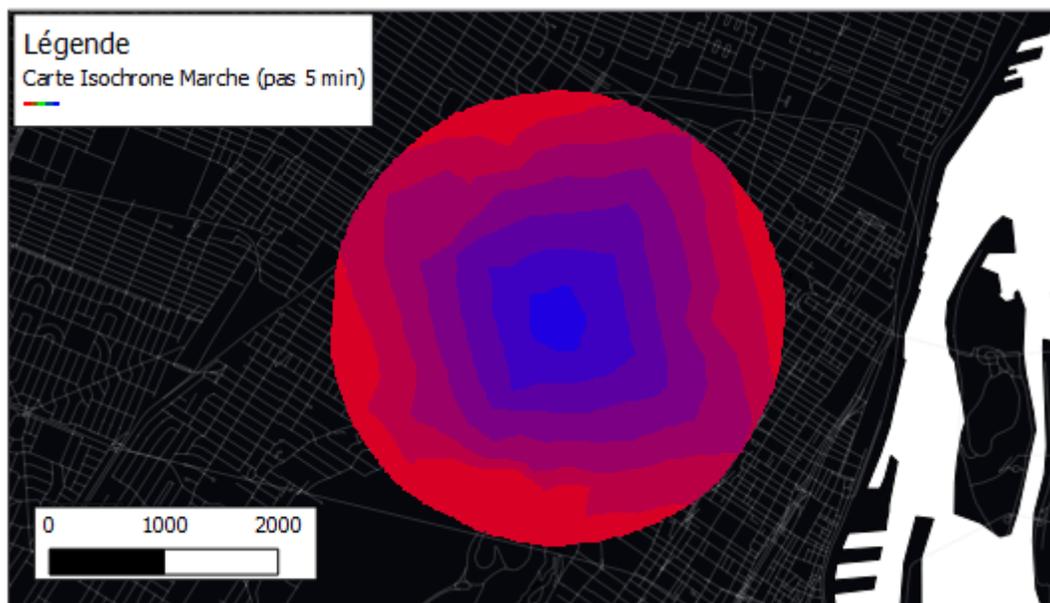
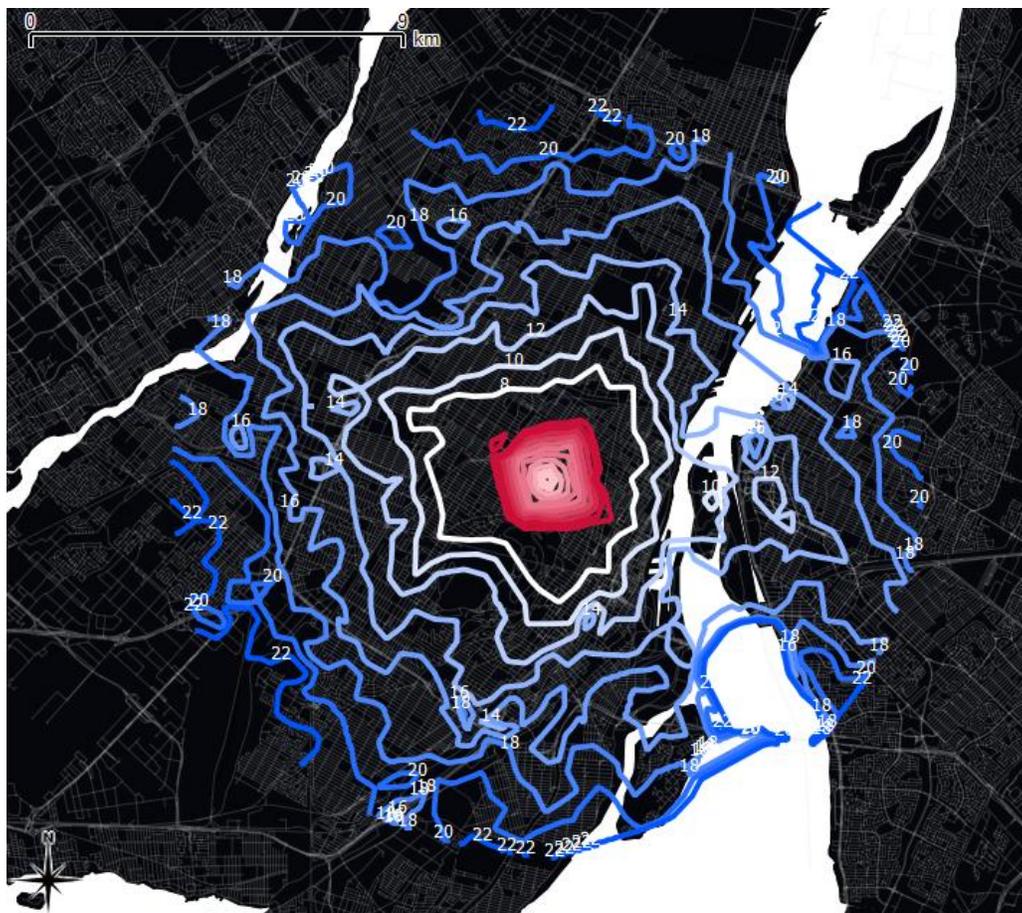


Figure 57. Carte isochrone pour le mode marche à partir du croisement des rues Saint-Denis et Mont-Royal



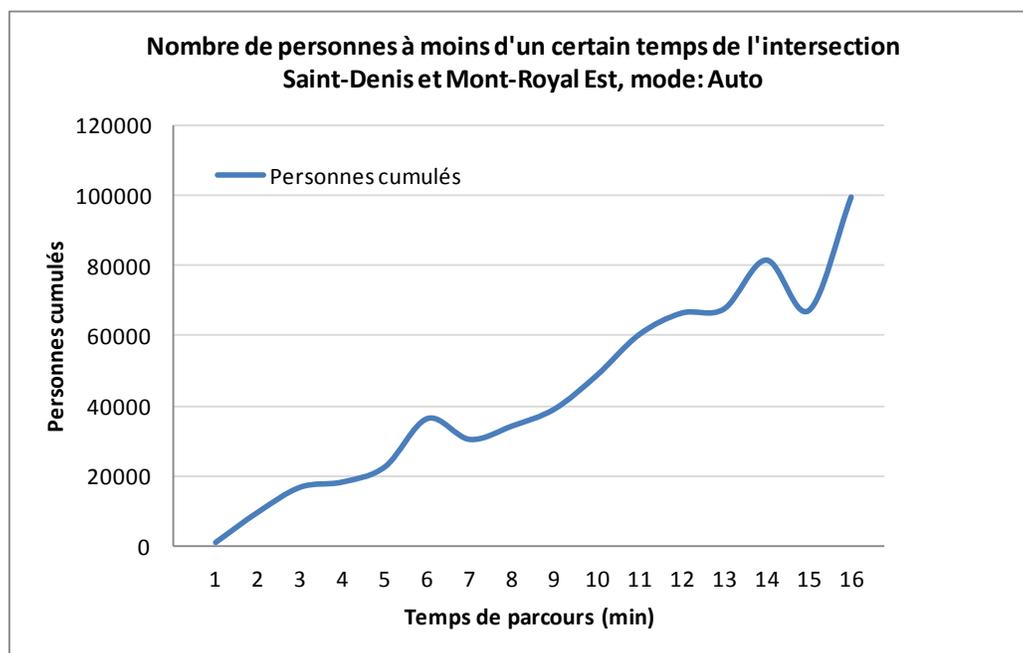
Figure 58. Courbe de temps de parcours

L'évolution de la distance est pratiquement uniforme dans toutes les directions, ce qui n'est pas le cas pour l'automobile. L'ordre de grandeur est également différent entre l'automobile et la marche, la Figure 59 en témoigne. Cette figure en question superpose les résultats pour la marche de 2 à 22 minutes (rouge) à ceux de l'automobile de 8 à 20 minutes (bleu).



**Figure 59. Carte de courbes de l'automobile (bleu) superposées à celle de la marche (rouge) pour le même point d'origine**

Tel que mentionné précédemment, à partir de ces courbes, un graphique de la population atteinte en fonction du temps de parcours peut être compilé. Ceci peut être particulièrement intéressant dans l'évaluation d'un générateur important comme l'Université de Montréal ou le centre-ville. Dans le graphique qui suit, seul le mode automobile a été évalué. Or, il aurait été fort intéressant de superposer sur un même graphique plusieurs modes à des fins comparatives.



**Figure 60. Nombre de personnes à moins d'un certain temps d'accès de l'intersection, mode : Auto**

#### 6.2.1.3.2 Superficie d'accès (un ou plusieurs modes)

Les indicateurs de superficie d'accès ont déjà été explorés pour le transport collectif. L'indicateur demeure le même pour les autres modes, c'est-à-dire la superficie à laquelle une personne peut accéder dans un espace de temps à partir d'un lieu.

Les superficies d'accès peuvent générer plusieurs variantes d'indicateurs. Voici les classes potentielles associées.

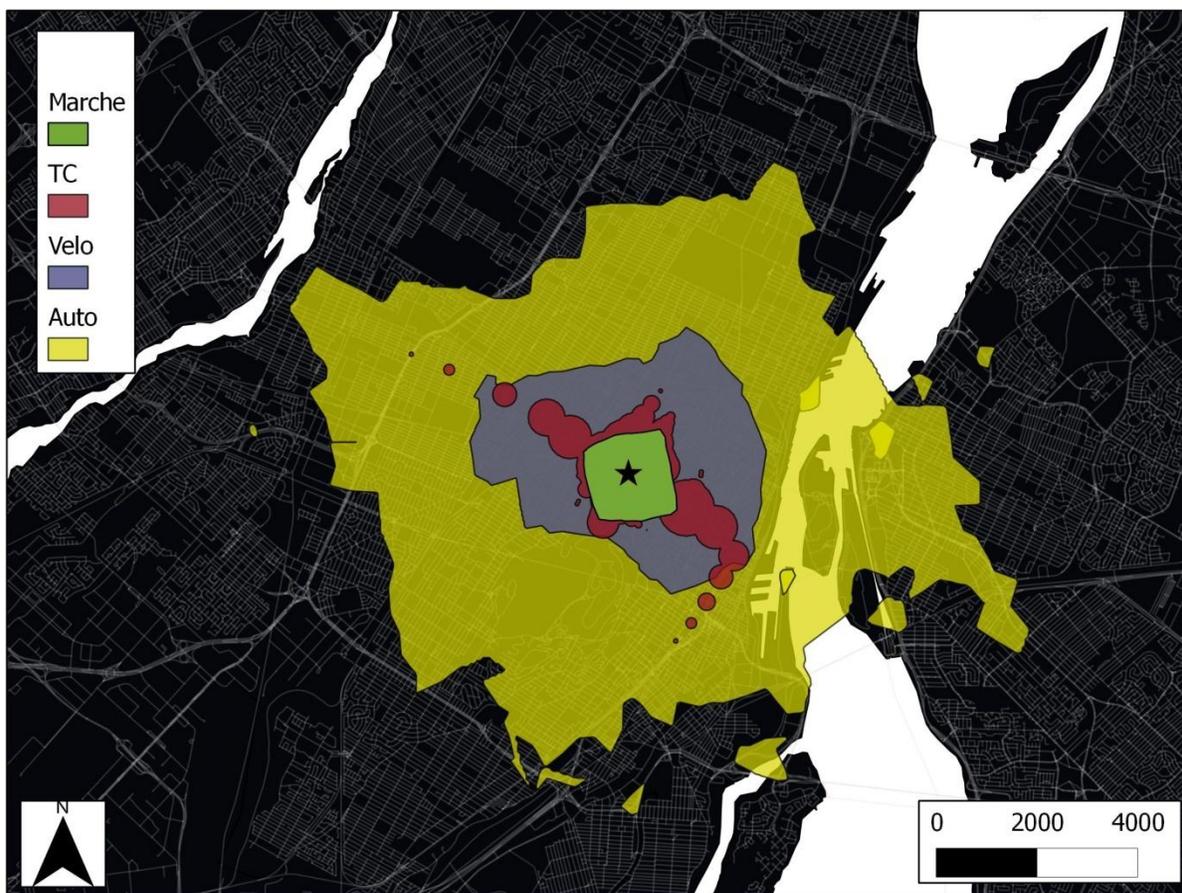
**Tableau 23. Classification de l'indicateur de superficie d'accès**

#### *Superficie d'accès (un ou plusieurs modes)*

	<b>Classe</b>	<b>Objet / spécification</b>	<b>Vérification par pôle</b>	
Entité globale	PI		Alternative de transport	x
Méthode	Dynamique		Utilisation du sol	
Mode	Auto, vélo et marche		Forme urbaine	
Période (choix)	-	Non disponible		
Mesure de	Superficie			
<i>Mesure de (possibilité)</i>	Flexibilité		Minimum 1/3 :	oui
<i>Mesure de (possibilité)</i>	Spatiale	<i>Variation d'espace</i>		
Métrique	Durée	Ex. 30 min de trajet		

Pour obtenir les superficies d'accès, il faut au préalable avoir créé les courbes de temps de parcours dont la méthodologie est explicitée à la section précédente.

À partir des courbes de niveau de temps de parcours, l'obtention de superficies peut se faire aisément en transformant les courbes en polygone. L'outil permet de réaliser cette démarche pour trois modes : auto, vélo et marche. Il est possible de comparer les superficies entre ces modes pour les mêmes paramètres de temps et d'origine. Le transport collectif peut également être intégré puisqu'un indicateur équivalent a été développé. L'expérience a été réalisée pour une durée de 15 minutes à l'angle des rues Saint-Denis et Mont-Royal Est. Les paramètres pour le transport collectif sont pour un déplacement aux alentours de 16h avec un rayon de recherche initial de 500 m. Cette heure a été choisie pour maximiser le potentiel du transport collectif. Les 15 minutes incluent le temps d'accès à l'arrêt.



École Polytechnique de Montréal, décembre 2011  
Audrey Godin

### Superficie d'accès pour 15 minutes de trajet

**Figure 61. Superficie accessible en 15 minutes par mode à partir de l'intersection Saint-Denis/Mont-Royal Est**

Les avantages des modes flexibles comme l'auto, le vélo et la marche sont mis en évidence par la dispersion plus uniforme du polygone dans toutes les directions. Le transport collectif est plus efficace que le vélo dans deux directions, soit vers les extrémités de ligne orange de métro. Les superficies figurent dans le Tableau 24 suivi d'une matrice des rapports de superficie entre les modes.

**Tableau 24. Superficies et rapport de superficie par mode**

Mode	Superficie (km <sup>2</sup> )	B			
	A/B	Marche	Velo	TC	Auto
Marche	2.7				
Velo	20.0				
TC	6.9				
Auto	101.2				
A	Marche	1.0	0.1	0.4	0.0
	Velo	7.3	1.0	2.9	0.2
	TC	2.5	0.3	1.0	0.1
	Auto	36.9	5.1	14.8	1.0

Les rapports observés permettent d'effectuer quelques conclusions telles que l'automobile couvre une superficie 15 fois plus grande que celle du transport collectif pour 15 minutes de trajet. Ces ratios varient probablement en fonction de la durée choisie. Il serait intéressant de visualiser l'évolution de ces derniers.

## **6.2.2 Mesure de superficie : ajustement des temps de parcours automobile**

Dans les limites du calculateur de trajets multiples pour les modes auto, vélo et marche, il y figure le fait que les temps de parcours Google ne tiennent pas compte de la congestion sur le réseau. C'est-à-dire que la vitesse sur le réseau est fixe : elle est la même, peu importe l'heure à laquelle le déplacement est effectué. Une expérience a été menée pour tenter d'ajuster les temps de parcours Google en fonction de vitesses moyennes obtenues à partir de données GPS de véhicules Communauto. Il s'agit en fait de calculer, pour le même trajet que celui sélectionné par Google, un nouveau temps de parcours à partir de la vitesse moyenne observée sur chaque tronçon emprunté. La méthodologie sera davantage explorée dans les paragraphes qui suivent.

Un premier objectif de validation des temps de parcours obtenus par le calculateur Google est poursuivi. Pour ce faire, ces derniers seront comparés à ceux obtenus par le biais de la méthode d'ajustement. Puis, des indicateurs tels que la superficie d'accès peuvent être recalculés suite au réajustement des durées de trajet. L'expérience générale vise également à évaluer la pertinence de la méthode et des indicateurs résultants.

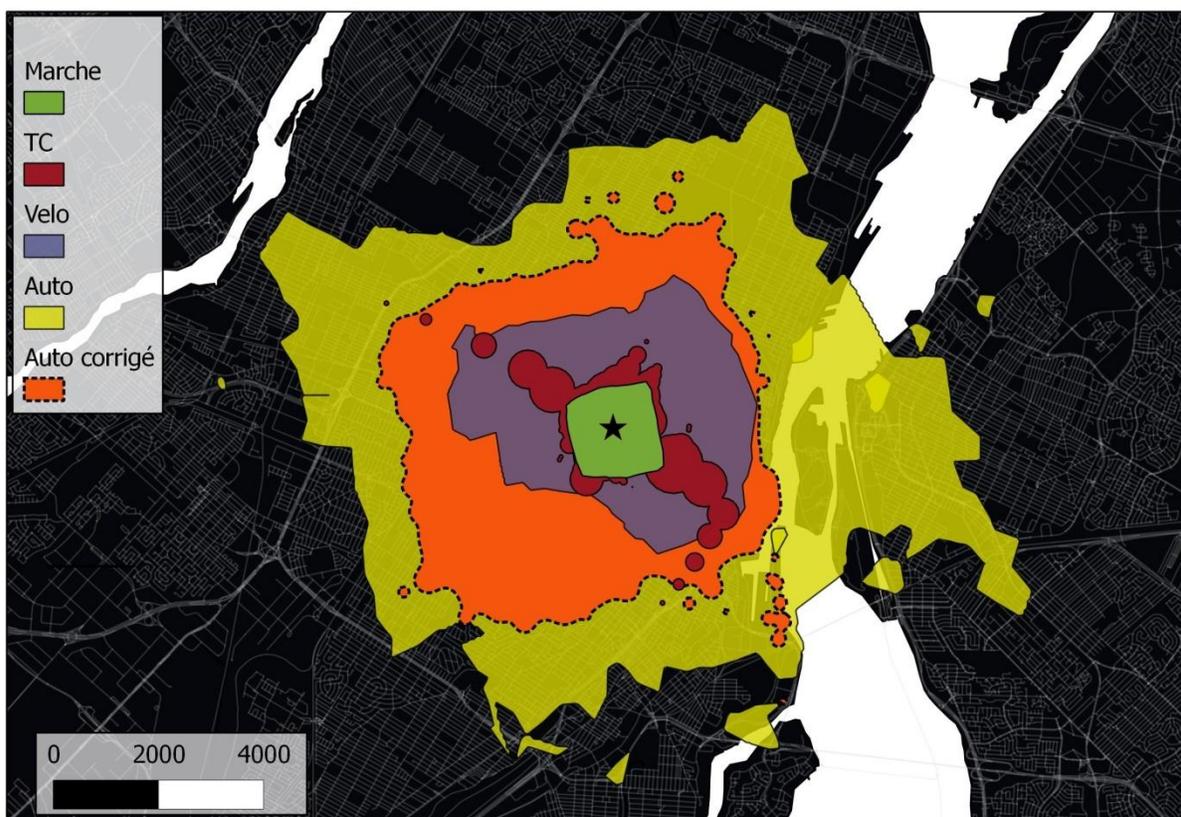
### **6.2.2.1 Méthode et outil pour l'ajustement des temps de parcours**

L'outil de calculateur de trajet multiple servira de base pour la génération de trajets vers de multiples destinations. Rappelons qu'une fonctionnalité de l'outil permet d'extraire, pour chaque paire OD, l'itinéraire emprunté via les coordonnées des points d'inflexion du trajet dans l'ordre. Chaque paire de coordonnées est ensuite transformée en tronçon dans un logiciel SIG.

Les données GPS forment une masse de points sur un territoire. La vitesse au moment du relevé GPS est l'un des attributs des points. Ces derniers peuvent être associés à un des tronçons exportés du calculateur de chemin par proximité spatiale. Ainsi, pour chaque tronçon d'un itinéraire Google, il est possible de calculer une nouvelle vitesse moyenne et par le fait même, un nouveau temps de parcours puisque la longueur des tronçons est connue.

Pour l'expérience, les données du mois d'août 2010 ont été utilisées pour la période de pointe PM, entre 15h et 18h. Quelques hypothèses ont dû être posées en raison des limites des relevés GPS. Les vitesses équivalant à 0 sont rejetées lors du calcul de la vitesse moyenne sur un tronçon. Si un tronçon n'a aucune observation, la moyenne des vitesses instantanées de tous les tronçons est appliquée, soit 30 km/h.

À la suite de ces manipulations, une base de données, similaire à celle générée par l'outil calculateur (BD1), est créée avec un nouveau temps de parcours. Ces données comprennent donc les coordonnées des points et un temps de parcours. Les étapes de la section 6.2.1.3 peuvent être répétées permettant l'obtention d'une nouvelle superficie accessible pour une durée de 15 minutes. La couche auto corrigée (orange) est superposée aux autres modes.



École Polytechnique de Montréal, janvier 2012  
Audrey Godin

**Superficie d'accès pour 15 minutes de trajet**

**Figure 62. Superficie accessible en 15 minutes par mode**

**Tableau 25. Superficies et rapport de superficie par mode**

Mode	Superficie (km <sup>2</sup> )	Ratio Mode / Auto
Marche	2.75	0.03
Velo	20.02	0.20
TC	6.86	0.07
Auto	101.24	1.00
Auto - corr	44.39	0.44

L'ajustement des temps de parcours avec les vitesses instantanées GPS réduit de plus de 50% la superficie accessible en 15 minutes pour la période de 15h à 18h. Pour une collectrice, artère et autres rues, Google attribue une valeur autour de 40km/h. La vitesse moyenne selon les GPS se situe plutôt autour de 30 – 35 km/h. Ceci explique la diminution de la superficie accessible. Il est intéressant de constater que le transport collectif, dans l'axe du métro, devient compétitif à l'automobile lorsque les temps de parcours sont corrigés par la méthode des observations GPS.

#### 6.2.2.2 Indicateurs

Les indicateurs découlant de cette méthode sont similaires à ceux développés à partir de l'outil de calculateur de trajets multiples, soit les courbes de niveau, les superficies d'accès, la comparaison des superficies entre les modes, la variation de la superficie en fonction de la période de la journée, etc.

### 6.2.3 Limites et perspectives des méthodes et indicateurs

Les limites énoncées ici sont attribuables à l'ensemble de la section 6.2. Elles concernent autant les méthodes que les indicateurs résultants.

L'outil utilise le calculateur de trajet de Google pour effectuer l'ensemble des calculs de chemin. Ceci le rend complètement dépendant de l'API Google maps. Les paramètres du calculateur ne sont pas entièrement connus. L'algorithme du chemin le plus court choisi par Google n'est pas dévoilé ainsi que sa méthode de calcul de temps de parcours entre une origine et une destination. Également, aucune information n'est connue sur la codification du réseau en soi. Les caractéristiques des liens codifiés tels le nom du lien, sa vitesse, le type de lien (pédestre, cyclable, autoroutier, etc.), sa trajectoire (polyligne), le nombre de voies, le sens de la circulation, etc. ne sont pas accessibles au programmeur.

La non-divulgence des méthodes et systèmes d'informations engendre diverses problématiques. D'abord, le réseau ne peut être modifié pour évaluer différents scénarios par exemple. Puis, des modifications sur le réseau peuvent être apportées sans préavis. Il n'y a aucune traçabilité dans le temps de l'évolution du réseau. Il est impossible de générer aisément des indicateurs caractérisant le réseau tel que la longueur du réseau cyclable, autoroutier, etc.

Le calculateur de trajet Google ne tient pas compte des effets de circulation, ni de temps de recherche de stationnement. Les résultats obtenus sont à écoulement libre. Pour la marche et le vélo, cela a très peu d'impact sur les résultats puisqu'ils ne sont généralement pas soumis à la congestion, ni aux contraintes de stationnements. Certaines parties du réseau routier montréalais, par contre, ont de la congestion durant les heures de pointe et les stationnements sont limités. Ni la congestion, ni le temps de recherche de stationnement ne sont pris en compte. Ceci implique que les temps de parcours automobile sont parfois sous-estimés dépendamment de la destination du déplacement et l'heure.

L'API Google maps prétend limiter le nombre de calculs de trajets à 2 500 par jour. Par contre, d'après les expérimentations, ce nombre peut-être excédé. Toutefois, il semble exister une limite de requêtes dans le temps. Par exemple, il est impossible pour l'outil d'effectuer plus de 800 calculs de chemins par itération. Le nombre de destinations est donc limité.

Concernant l'outil en soi, l'aspect général de l'interface pourrait être amélioré ainsi que sa facilité d'utilisation.

L'outil actuel calcule les trajets de l'origine (point d'intérêt) vers chacune des destinations. Il serait intéressant de réaliser l'opération inverse, soit de toutes les destinations théoriques vers le point d'intérêt. Ce changement est simple à réaliser, il suffit d'inverser l'origine et la destination.

Dans une perspective plus large, il serait souhaitable qu'un outil intègre les modes marche, auto et vélo ainsi que le transport collectif sous une même interface.

Tel que mentionné, l'outil n'a pas été créé pour fournir une interface graphique intéressante. L'API Google maps n'est pas aussi développé que la majorité des logiciels SIG, principalement au niveau des requêtes spatiales préprogrammées. Il est difficile de générer des couches d'interpolation de type matriciel ou de faire des jointures spatiales avec d'autres bases de données. Les fonctions ne permettent pas de générer de manière satisfaisante des polygones

regroupant les points de mêmes attributs pour créer des surfaces. Actuellement, la fonction Google regroupe les points en ordre de liste sans tenir compte de leur position. Ceci forme une masse incohérente. Toutefois, le web a autant de potentiel qu'un logiciel SIG. Il suffit d'en développer la programmation.

La méthode des courbes de temps de parcours peut servir de base pour la méthode classique d'indicateurs d'opportunités gravitaire. La jointure spatiale d'une couche d'intérêt comme des emplois et une couche d'interpolation ou de courbe de niveau permettrait de calculer ces indicateurs gravitaires.

En ce qui à trait aux indicateurs, plusieurs finalités sont envisageables. Les cartes isochrones peuvent servir à la clientèle d'un générateur important pour connaître leur temps de parcours vers une panoplie de destinations. Elles peuvent également aider au choix de logis parce qu'elles donnent une vue d'ensemble sur le territoire. Par exemple, si une personne souhaite déménager, une carte isochrone à partir de son lieu de travail peut l'aider à connaître tous les secteurs à environ 30 minutes de son travail selon le mode de son choix. Elles peuvent être utiles pour un commerçant ou un employeur pour connaître son bassin d'attraction.

Les indicateurs de superficie d'accès peuvent avoir des effets frontière. Par exemple, si un indicateur d'opportunités d'emplois est développé à partir des superficies d'accès, le centre d'emploi à 31 minutes de déplacement ne sera pas considéré. Les emplois à proximité auront la même importance que ceux à la frontière. Il serait donc pertinent de produire une distribution des emplois en fonction du temps d'accès comme proposée à la Figure 60 pour les personnes.

Dans le calcul de la superficie du polygone accessible, des erreurs se glissent avec la méthode utilisée. Des concentrations localisées se forment à l'intérieur du grand périmètre de 15 minutes. Ces concentrations, illustrées à la figure suivante, sont des endroits où le temps d'accès est supérieur à 15 minutes. Elles sont incluses dans la superficie totale à deux reprises. Les superficies totales ne sont donc pas justes. L'ordre de grandeur demeure la même. Une amélioration quant à la méthodologie devrait être apportée pour les retirer.



**Figure 63. Erratum dans la superfcie accessible totale**

Pour ce qui de la méthode d’ajustement des temps de parcours auto, les nouveaux temps de parcours obtenus supposent que l’itinéraire de départ a été conservé entre l’origine et l’une des destinations. Or, il serait préférable de recalculer les trajets en fonction des nouvelles vitesses sur les tronçons pour obtenir l’itinéraire et le temps de parcours optimal. Par contre, recalculer les itinéraires en modifiant les paramètres de vitesse nécessite l’utilisation d’une ressource extérieure au calculateur Google maps.

Des problématiques sont liées à l’utilisation des données GPS pour obtenir des vitesses moyennes par tronçon. D’abord, certaines vitesses relevées par le capteur GPS sont parfois aberrantes, ces dernières auraient avantage à être corrigées ou supprimées de la base de données. Puis, lorsqu’il y a peu d’observations sur un tronçon, la valeur moyenne accordée peut être à son tour non représentative du tronçon.

Cette méthode pourrait s’appliquer au mode vélo si des relevés de GPS le permettaient. L’impact des feux de circulation, des pistes cyclables et des dénivellations pourrait être observé.

Or, l’expérience a été menée pour valider la pertinence des indicateurs et de la méthode de correction des temps de parcours. D’après les résultats, l’expérience semble pertinente.

Cette méthodologie a plusieurs applications possibles :

- Fournir de base à des indicateurs d'opportunités, opportunités/superficie, de flexibilité (variation dans le temps ou dans l'espace), etc.
- Développer des indicateurs d'attractivité d'un mode par rapport à un autre.
- Comparer des générateurs entre eux par la superficie d'accès offerte à sa clientèle ou par le bassin de population rejoint.
- Observer des lacunes chez certains modes dans une ou plusieurs directions (impasse pédestre, aucun service de transport collectif, etc.).

L'aspect le plus intéressant de cet indicateur est la possibilité de comparaison entre les modes.

## CHAPITRE 7 INDICATEURS CINÉTIQUES

Les objets cinétiques sont, généralement, automatiquement pris en compte indirectement par les méthodes dynamiques puisque la forme urbaine (la structure du réseau) influe sur la facilité à se déplacer. Les méthodes sont donc dites cinétiques si leur objectif premier est de mesurer la performance des objets cinétiques tels que le réseau cyclable et pédestre, les autoroutes, etc.

La structure du chapitre est illustrée à la figure suivante. Un seul indicateur est présenté dans ce chapitre, soit un indicateur de tortuosité moyenne à partir d'un point d'intérêt.

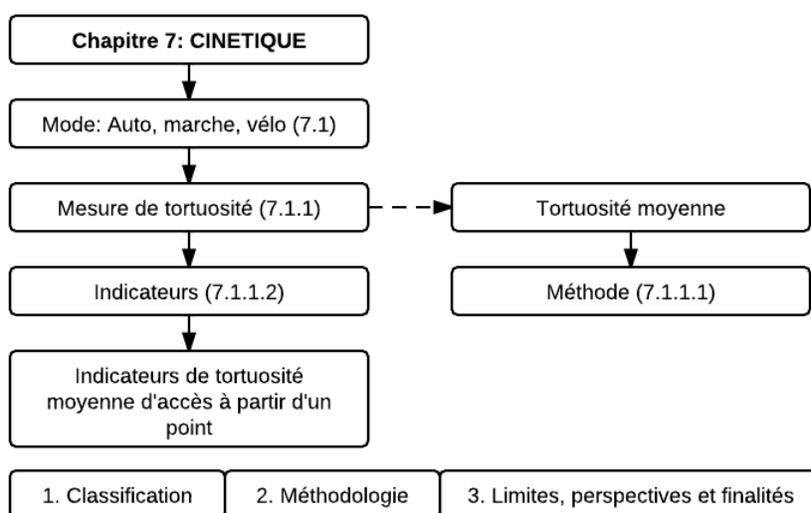


Figure 64. Schéma de la structure du chapitre 7

### 7.1 Réseaux (modes) : auto, vélo ou marche

Les indicateurs cinétiques peuvent être générés pour tous les modes. Dans ce mémoire, les outils élaborés limitent le calcul d'indicateurs aux modes auto, vélo et marche.

#### 7.1.1 Mesure de tortuosité

La tortuosité est en fait la relation entre la distance la plus courte entre deux points, soit la ligne droite, et la distance réelle à parcourir via le réseau. Elle informe de la facilité à se rendre à

une ou plusieurs destinations. Le principe de la tortuosité a été élaboré en détail dans la section au chapitre 3.

### 7.1.1.1 Méthode

Du même outil employé pour générer les indicateurs de superficie d'accès des modes auto, vélo et marche, il est possible de créer des indicateurs basés sur le principe de la tortuosité. Parmi les champs de la première table générée, la distance à vol d'oiseau y figure ainsi que la distance parcourue pour chaque destination atteinte. Ces deux champs permettent le calcul d'indicateurs de tortuosité.

### 7.1.1.2 Indicateurs

#### 7.1.1.2.1 Tortuosité moyenne d'accès depuis un rayon de X mètres d'un point d'intérêt

À partir de ce principe, un indicateur de tortuosité moyenne d'accès à un point d'intérêt est proposé ici. L'indicateur est un ratio moyen de la distance réseau sur la distance à vol d'oiseau. L'indicateur est en fait la tortuosité moyenne d'accès depuis un rayon de X mètres d'un point d'intérêt.

La classification de l'indicateur apparaît dans le tableau ci-après.

**Tableau 26. Classification de l'indicateur de tortuosité moyenne d'accès depuis un rayon de X m**

#### *Tortuosité moyenne d'accès à partir d'un point d'intérêt*

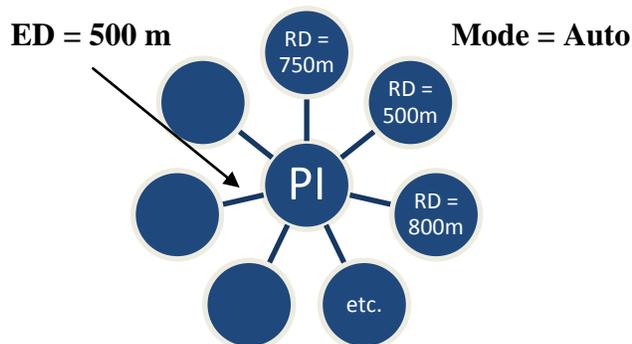
Classe		Objet / spécification	Vérification par pôle	
Entité globale	Point d'intérêt		Alternative de transport	x
Méthode	Cinétique	Réseaux routier, cyclable et piéton	Utilisation du sol	
Mode	Auto, vélo et marche		Forme urbaine	x
Mesure de	Tortuosité		Minimum 1/3 :	oui
Métrique	Distance			

L'équation de tortuosité moyenne proposée ici est la suivante.

$$T_{500} = \frac{\sum RD}{\sum ED}, \quad \text{Équation 6}$$

Où  $T_{500}$  est la tortuosité moyenne vers plusieurs destinations situées à un rayon de 500 m du point d'intérêt, RD est la distance réseau et ED la distance euclidienne (vol d'oiseau). Pour la mesurer, il est nécessaire de posséder une base de données contenant, pour un point d'intérêt (PI),

les distances réseaux d'une variété de destinations situées à 500 m de distance euclidienne. À titre d'exemple, 7 destinations à environ 500 m (ED) sont réparties autour d'un point d'intérêt. La distance parcourue pour atteindre chacune des destinations par le réseau routier y est indiquée (RD). Ces informations permettraient de calculer la tortuosité moyenne par l'équation de droite.



$$T_{500} = \frac{750 \text{ m} + 500 \text{ m} + 800 \text{ m} + \dots}{500 \text{ m} + 501 \text{ m} + 498 \text{ m} + \dots}$$

La première table générée par l'outil de calculateur de trajets multiples fournit les éléments nécessaires au calcul, soit les distances réseaux et euclidiennes. En réalité, les distances euclidiennes varient selon la destination, car le calculateur Google repositionne celles-ci sur le point d'accès au réseau de voirie le plus près.

Un point d'intérêt, situé à l'intersection des boulevards Brunswick et Salaberry (Pointe-Claire), servira d'exemple pour illustrer le potentiel des indicateurs de tortuosité. Ce dernier est localisé à proximité d'une autoroute. Ainsi, pour les destinations situées autour d'un rayon de 500 m et de 1000 m, les résultats de tortuosité moyenne ont été compilés pour trois modes : l'auto, le vélo et la marche. La figure de gauche illustre la localisation des destinations ainsi que la tortuosité à vélo pour chacune d'elles, l'échelle de couleur de tortuosité varie de 1 à 7.

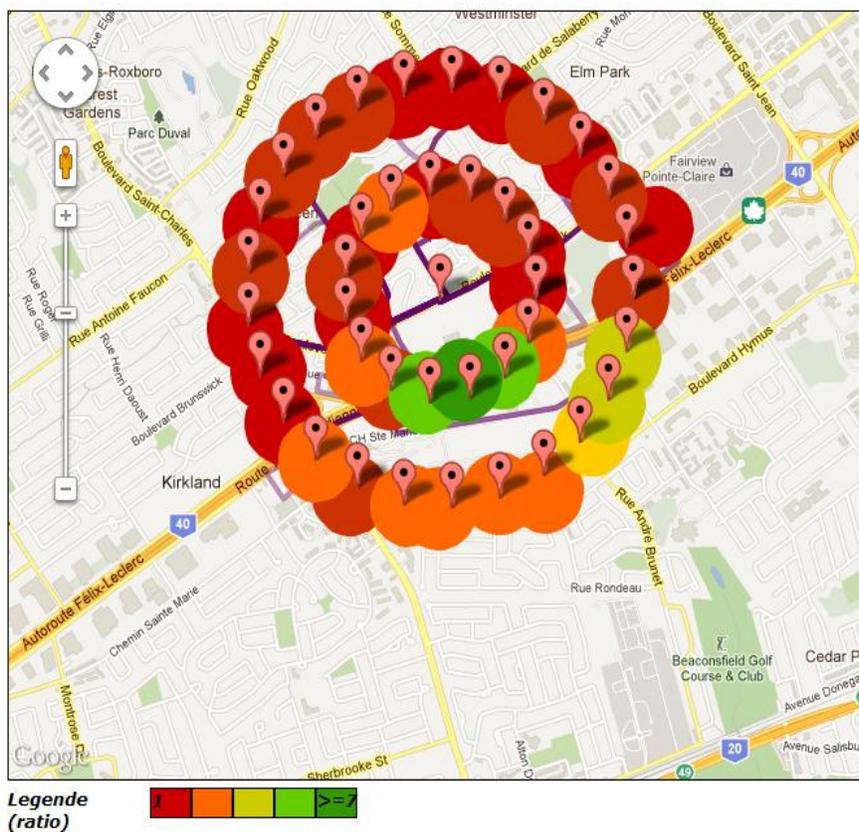


Figure 65. Tortuosité moyenne à 500 et 1000 m de l'intersection Brunswick et Salaberry (Pointe-Claire) à vélo

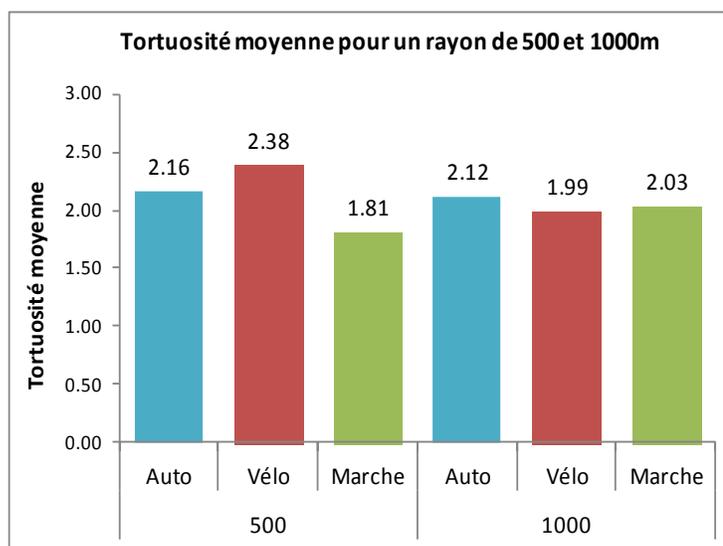


Figure 66. Tortuosité moyenne à 500 et 1000 m de l'intersection Brunswick et Salaberry (Pointe-Claire)

Une valeur de tortuosité moyenne élevée n'est pas favorable pour l'utilisateur, et ce principalement pour les modes actifs puisqu'ils sont plus sensibles à la distance. Pour cet endroit particulier, l'indicateur souligne que le vélo est désavantagé par rapport aux autres modes. Sa

distance moyenne entre l'origine et une destination à 500 m est 2.38 fois plus grande, soit de 1190 m contre 900 m pour la marche. Comme l'illustre la Figure 65, la tortuosité varie grandement en fonction de la localisation de la destination. Bien que la moyenne soit autour de 2, les valeurs varient entre 1 et 7 tous modes confondus. Les graphiques ci-après montrent la distribution des destinations par intervalle de tortuosité.

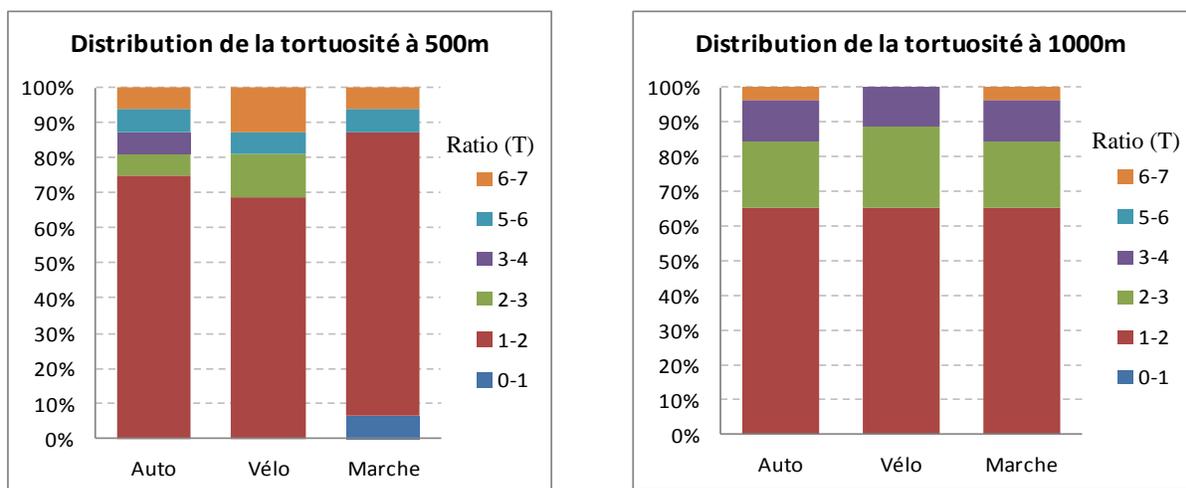


Figure 67. Distribution des destinations par intervalle de tortuosité à 500 m et 1000 m du point d'intérêt

Le graphique démontre que pour une distance de 500 m, 75% des destinations sont atteintes avec une tortuosité inférieure ou égale à 2. Il serait intéressant de reprendre l'exercice pour d'autres points d'intérêt dont la forme urbaine diffère comme au centre-ville de Montréal.

Le choix de la distance à vol d'oiseau peut générer des effets frontière lorsqu'un point d'intérêt est en bordure de coupures telles que sont les autoroutes, les cours d'eau, les chemins de fer, etc. La tortuosité moyenne peut varier significativement entre une destination à l'intérieur de la coupure ou à l'extérieur. De ce fait, le choix de la distance entre le point d'intérêt et les destinations multiples doit tenir compte de l'environnement dans lequel le point d'intérêt se trouve.

La méthode pour calculer un indicateur de tortuosité moyenne en transport collectif n'a pas été développée dans le cadre de cette recherche. La comparaison est donc limitée aux trois modes présentés.

Or, cet indicateur peut mettre en valeur des iniquités en matière d'infrastructure d'un mode par rapport à un autre. Ce dernier peut également rendre compte de la forme urbaine

entourant un point d'intérêt. L'outil pourrait être amélioré en calculant la surface accessible pour une distance réseau sur la surface accessible à vol d'oiseau (taux de desserte, (Heran 2009))

## CONCLUSION

### Contributions

Deux objectifs principaux ont été poursuivis dans ce mémoire. Le premier est d'amorcer une réflexion générale sur la notion d'accessibilité et de ses indicateurs. De cette réflexion suit une nouvelle proposition de typologie pour les indicateurs d'accessibilité. Le second objectif est de proposer, en tenant compte du contexte montréalais, des données et des outils disponibles, des méthodes et indicateurs pour mesurer l'accessibilité. Certains objectifs sont reliés au format des indicateurs, ces derniers doivent être compréhensibles par le milieu politique, sensibles à des variations de l'offre de service et mesurables avec les données disponibles. De ce second objectif, une série d'indicateurs sont proposés ainsi que leurs méthodes. Le schéma suivant résume de manière conceptuelle les objectifs et les contributions de ce mémoire.

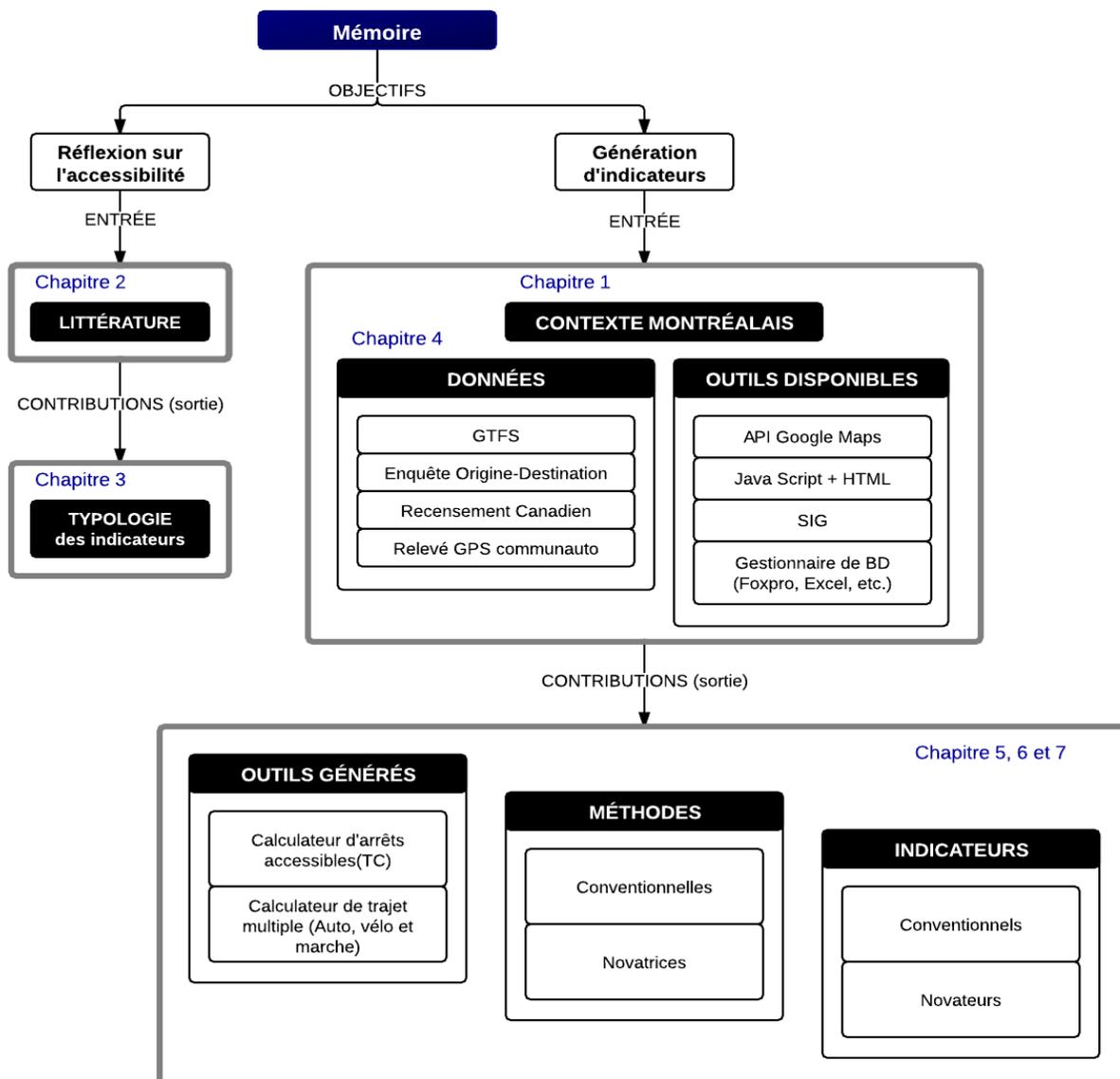


Figure 68. Schéma conceptuel des objectifs et contributions du mémoire

Parmi les contributions, y figure une proposition de typologie des indicateurs d'accessibilité qui découle d'observations faites à travers la littérature suivi d'un processus de réflexion (entrées). Cette proposition fait l'objet du chapitre 3. Cette typologie concerne principalement les indicateurs mesurant l'accessibilité d'une zone ou d'un point d'intérêt. La contribution générale s'inscrit dans l'idéologie de subdiviser les indicateurs par types d'objets mesurés (dynamique, cinétique ou statique) en plus de les associer à au moins un des pôles de l'accessibilité qui sont la forme urbaine, l'utilisation du sol et les alternatives de transport.

La seconde branche de contributions provient de l'objectif de générer des indicateurs. Afin de proposer des indicateurs répondant aux objectifs spécifiques, trois entrées ont été prises en compte dans le processus.

- Le contexte montréalais, c'est-à-dire les enjeux actuels, la configuration des réseaux, les problématiques de transport, le territoire, etc.
- Les données disponibles pour alimenter le calcul d'indicateurs qui sont les GTFS, l'enquête OD, le recensement canadien et les relevés GPS de Communauto.
- Les outils disponibles pour exécuter le calcul d'indicateurs qui sont l'API Google maps, le code HTML et JavaScript, les systèmes d'information géographiques (SIG) et les gestionnaires de base de données (Foxpro, excel, OpenOffice, etc.).

Toutes ces entrées mises en commun ont permis de nombreuses contributions, explicitées aux chapitres 5, 6 et 7. Deux outils ont été créés spécifiquement pour le calcul d'indicateur. Le premier est un calculateur d'arrêts accessibles à partir d'un point par le réseau de transport collectif. Des méthodes et indicateurs découlent directement de cet outil tels que les superficies d'accès.

Le second outil est le calculateur de trajets multiples à partir d'un point en automobile, à vélo ou à pied. Ce calculateur permet, par l'entremise de diverses opérations, d'obtenir des cartes de courbe de temps de parcours (isochrone) et des indicateurs de superficies d'accès. Les relevés GPS Communauto ont permis de recalculer les superficies automobiles selon des vitesses instantanées observées. Au final, une contribution importante est la possibilité d'obtenir un indicateur de compétitivité de mode par le biais des superficies d'accès. Le second outil contribue également au calcul d'indicateurs de tortuosité moyenne d'accès pour les modes auto, vélo et marche.

Ce mémoire met à contribution divers indicateurs et méthodes statiques évaluant la performance du transport collectif, notamment les suivants :

- les indicateurs de performance globale du réseau;
- les indicateurs de visualisation de l'offre spatiale et temporelle;
- les indicateurs de densité de passages-arrêts par zone;

- les indicateurs de passages-arrêts par personne;
- la population à moins de 500 m d'un arrêt haute fréquence;
- les indicateurs de densité désagrégée de passages-arrêts;

Ce mémoire présente non seulement des indicateurs, mais il fournit des exemples d'applications concrets dont les suivants :

- création d'une animation sur 24h des passages-arrêts aux 30 minutes via les indicateurs de visualisation de l'offre spatiale et temporelle;
- utilisation des indicateurs de visualisation de l'offre spatiale et temporelle pour démontrer les impacts du service 10 min max, soit la comparaison du service entre 2009 et 2010;
- calcul du pourcentage de la population à moins de 500 m d'un arrêt Haute-fréquence;
- calcul des indicateurs de densité de passages-arrêts et de passages-arrêts par personne par secteur (SM100);
- utilisation des indicateurs de densité désagrégée de passages-arrêts pour démontrer les impacts de la révision du réseau de nuit de la STM;
- utilisation des outils créés pour générer les superficies d'accès pour tous les modes à partir de l'intersection Saint-Denis et Mont-Royal démontrant la compétitivité des modes à cet endroit;
- ajustement de la superficie d'accès automobile à partir de cette même intersection pour évaluer la compétitivité réelle entre les modes;
- calcul d'un indicateur de tortuosité moyenne en bordure d'une autoroute.

## **Limites et perspectives**

Bien qu'il existe des limites spécifiques propres à chacun des indicateurs, telles que les effets de frontière ou l'agrégation de résultats, certaines limites globales peuvent être rappelées.

- Concernant la typologie proposée, la classification se limite aux indicateurs zonaux et ciblés. Les indicateurs universels et individuels ne sont pas ramifiés.
- Le calculateur d'arrêts accessibles (outil) a certaines limites dont les suivantes :

- sa vitesse d'exécution est lente;
  - les paramètres ont été choisis aléatoirement, ils ne sont pas appuyés par la littérature;
  - les autres organismes de transport de la région ne sont pas intégrés;
  - la distance maximale de marche pour accéder au premier arrêt est fixée, ceci peut engendrer des effets de frontière.
- Le calculateur de trajets multiples (outil) a également certaines limites dont les suivantes :
    - le calculateur est entièrement dépendant de Google;
    - Google ne divulgue pas sa méthodologie pour calculer les chemins;
    - le nombre de calculs de chemins est limité;
    - le calculateur ne tient pas compte de la circulation.
  - Les données GPS Communauto incluent des valeurs aberrantes de vitesses instantanées; un effort supplémentaire devrait être mis pour les corriger.

À ces limites, deux catégories de perspectives peuvent être énoncées. Les perspectives concernant l'amélioration des outils et la seconde sur les développements à venir autour des indicateurs d'accessibilité et leurs finalités. Les outils ont plusieurs lacunes, les perspectives à venir pour le calculateur d'arrêts accessibles sont listées ici :

- Précompiler les correspondances possibles à partir de chacun des arrêts pour accélérer le processus de calcul.
- Offrir la possibilité d'effectuer les calculs en sens inverse, c'est-à-dire de tous les arrêts vers un point d'intérêt et non d'un point d'intérêt vers tous les arrêts.
- Intégrer tous les organismes de transport de la grande région métropolitaine de Montréal dans le calculateur.
- Faciliter la modification des paramètres et améliorer l'aspect général de l'outil.
- Calculer les distances parcourues en véhicule et en accès pour développer un indicateur de tortuosité.

En ce qui concerne l'outil de calculateur de trajets multiples, les améliorations suivantes sont souhaitables :

- Recréer un outil similaire dans un environnement où le calculateur de trajet peut-être contrôlé. Des outils web sont, par ailleurs, disponibles tels que Open Street Planner et Open Street Map (NCTR 2011).
- Offrir la possibilité d'effectuer les calculs en sens inverse, c'est-à-dire de plusieurs destinations vers un générateur et non d'un générateur vers plusieurs destinations.
- Intégrer directement dans l'outil le processus de réajustement des temps de parcours par relevés GPS. En d'autres termes, il s'agit d'ajouter la possibilité d'intégrer la congestion.
- Générer automatiquement des couches de superficies d'accès pour éviter les manipulations dans des SIG externes.

De manière générale, il serait intéressant d'inclure, sous un même outil, tous les modes. Actuellement, le transport en commun est traité différemment. Un outil complémentaire pourrait également afficher l'itinéraire et le temps de parcours pour chaque mode entre une origine et une destination.

À partir des méthodes et outils existants, il serait intéressant de faire l'étude de générateurs. Par exemple, d'explorer une panoplie d'indicateurs pour l'Université de Montréal en comparaison avec le palais des congrès ou la place Bonaventure. Pour un générateur, il serait intéressant d'observer la liste d'indicateurs suivante :

- superficie d'accès pour tous les modes, incluant l'ajustement des temps de parcours automobile pour diverses durées;
- graphique de la superficie d'accès en 30 minutes en fonction de l'heure de départ sur 24h (flexibilité temporelle);
- personnes/Emplois/Restaurants/Personnes non-motorisées... à moins de 30 minutes pour chaque mode;
- tortuosité moyenne par mode pour diverses distances;
- densité de passages-arrêts à proximité.

La liste peut être longue. L'idée est de visualiser l'attractivité d'un générateur par rapport à un autre et d'évaluer leur performance respective en termes d'accessibilité.

Certains indicateurs pourraient être améliorés. Par exemple, l'indicateur de passages-arrêts par personne pourrait devenir un indicateur de passages-arrêts par lieu d'emploi.

Concernant l'accessibilité en général, l'enquête OD pourrait alimenter des indicateurs de type individuel tels que les prismes-espaces temps. L'enquête OD renferme la majorité des informations nécessaires à ce type d'indicateur.

L'accessibilité est un sujet qui suscite beaucoup d'intérêt. Elle informe sur l'offre de service en tenant compte de l'utilisation du sol et de la forme urbaine. Si des investissements sont émis pour améliorer un service, les indicateurs d'accessibilité permettent d'observer les bénéfices réels pour l'individu, le générateur ou le quartier. Avec des indicateurs, des objectifs concrets peuvent être proposés pour améliorer l'accessibilité d'une zone, d'un générateur ou d'un individu. Les indicateurs peuvent suivre l'évolution dans le temps et dans l'espace. La recherche sur le développement d'indicateurs d'accessibilité et de durabilité en transport doit se poursuivre afin de toujours offrir un meilleur portrait du territoire autant au niveau des alternatives de transport que de l'usage du sol et de la forme urbaine.

## RÉFÉRENCES

- AMT. (2011). "L'agence métropolitaine de transport." Retrieved 5 janvier, 2012, from <http://www.amt.qc.ca>.
- AMT, S. a. e. O.-D. m. (2008). Enquête Origine-Destination 2008, La mobilité des personnes dans la région de Montréal, FAITS SAILLANTS. Montréal, Québec, Canada, AMT, STM, RTL, STL, CIT, MTQ et du ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire.
- Apparicio, P. and A.-M. Séguin (2006). "Measuring the accessibility of services and facilities for residents of public housing in Montreal." *Urban studies* **43**, No.1: 187-211.
- Ben-Akiva, M. and S. R. Lerman (1985). *Discrete choice Analysis*. Cambridge, MA, MIT Press.
- Bonnafous, A. and S. Masson (2003). "Évaluation des politiques de transports et équité spatiale." *Revue d'économie régionale et urbaine* **4**: 547-572.
- Case, R. B. (2010). Using Accessibility-Based Travel Odds Factors as a Performance Measure for the Coordination of Transportation and Land-use to Improve Non-driver Accessibility. *Transportation Research Board 2011 Annual Meeting*. Washington, DC.
- Chapleau, R. and M. Trépanier (1997). Transportation Object-Oriented Modeling: an Extension of the Totally Disaggregate Approach. *Eight International Conference on Travel Behavior Research*. Austin, Texas: 17.
- Chen, Y., S. Ravulaparthi, et al. (2010). Development of opportunity-based accessibility indicators. *Transportation Research Board 2011 Annual Meeting*. Washington, D.C.
- Communauto-inc. (2012). "Communauto." Retrieved 4 janvier, 2012, from <http://www.communauto.com/>.
- Dalvi, M. Q. and K. M. Martin (1976). "The measurement of accessibility: Some preliminary results." *Transportation* **5**(1): 17-42.
- Dragu, V. and E. A. Roman (2011). "Accessibility of urban public transport networks component of sustainable development." 109-117.

- El-Geneidy, A., A. Cerdá, et al. (2009) "Using accessibility measures: a test case in Montréal, evaluating the impacts of transportation plans."
- Friedman, B. and al (1994). "Effect of neotraditional neighborhood design on travel characteristics." Transportation Research Record **1466**: 63-70.
- FrontSeat. (2012). "Walk score." Retrieved 12 janvier, 2012.
- Geurs, K. and J. Ritsema van Eck (2001). Accessibility measures: review and applications. Evaluation of accessibility impacts of land-use transportation scenarios, and related social and economic impact, National institute of public health and the environment.
- Geurs, K., B. Zondag, et al. (2010). "Accessibility appraisal of land-use/transport policy strategies: More than just adding up travel-time savings." Transportation Research Part D: Transport and Environment **15**(7): 382-393.
- Geurs, K. T. and B. van Wee (2004). "Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions." Journal of Transport Geography **12**(2): 127-140.
- Google. (2011). "General Transit Feed Specification." Retrieved 17 novembre 2011, 2011, from [http://code.google.com/intl/fr-FR/transit/spec/transit\\_feed\\_specification.html](http://code.google.com/intl/fr-FR/transit/spec/transit_feed_specification.html).
- Gutiérrez, J., A. Condeço-Melhorado, et al. (2010). "Using accessibility indicators and GIS to assess spatial spillovers of transport infrastructure investment." Journal of Transport Geography **18**(1): 141-152.
- Handy, S. (1994). "Highway Blues: Nothing a Little Accessibility Can't Cure"  
" Access **No. 5**: 3-7.
- Handy, S. L. (2002). Accessibility- vs. Mobility-Enhancing Strategies for Addressing Automobile Dependence in the U.S. Report prepared for the European Conference of Ministers of Transport.
- Handy, S. L. and D. A. Niemeier (1997). "Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives." Environment and Planning A **29**(7): 1175-1194.
- Hansen, W. (1959). How Accessibility Shapes Land Use. **25**: 73-76.

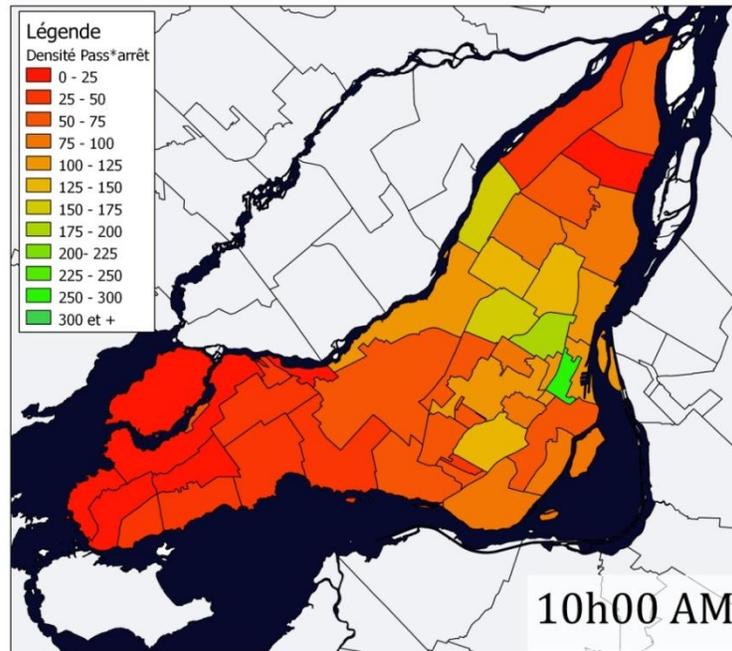
- Heran, F. (2009). Les zones de desserte à pied autour des stations de transport public urbain. 2e colloque francophone de la Plate-Forme intégratrice COPIE de l'INRETS: Le piéton: nouvelles connaissances, nouvelles pratiques et besoins de recherche. Lyon.
- Joly, O. (1999). Anexe 5, PART II : RECENT OVERVIEW OF SPATIAL ACCESSIBILITY INDICATORS APPLIED IN FRANCE: 1ST SYNTHESIS OF THE FRENCH RESEARCH NETWORK CONTRIBUTIONS. Study Program on European Spatial Development (SPESD). France.
- La Mondia, J. J., E. C. Blackmar, et al. (2010). Comparing Transit Accessibility Measures: A Case Study of Access to Healthcare Facilities. Transport Research Board 2011 Annual Meeting. Washington, D.C.
- Lamalice, C. and C. Morency (2009). Définition et mesure de la mobilité durable à l'aide d'indicateurs statistiques et dynamiques. C. AQTR.
- Lee, M. S. and M. G. McNally (2002). Measuring Physical Accessibility with Space-Time Prisms in a GIS: A Case Study of Access to Health-Care Facilities, Center of Activity Systems Analysis, Institute of Transportation studies, UC Irvine.
- Linneker, B. J. and N. A. Spence (1992). "Accessibility measures compared in an analysis of the impact of the M25 London Orbital Motorway on Britain." Environment and Planning A **24**(8): 1137-1154.
- Litman, T. (2007). Evaluating the quality of accessibility for transportation planning. Transportation Research Board Annual Meeting. V. T. P. Institute. Washington.
- Makri, M.-C. and C. Folkesson (1999). Accessibility Measures for analyses of land use and travelling with geographical information systems. Proceedings of 2nd KFB Research Conference., Sweden, Lund University and University of Karlskrona.
- McNeil, N. (2011). Bikeability and Twenty-Minute Neighborhood: How infrastructure and destination influence Bicycle Accessibility. Transport Research Board 2011 Annual Meeting  
Washington, D.C.

- Media, R. (2009). "Le Transport en Commun selon Google Transit (Québec)." Retrieved 2011-12-20, 2011, from <http://www.ressacmedia.com/blog/actualite/le-transport-en-commun-selon-google-transit-quebec/>.
- Mercier, A. and T. Stoiber (2010). Improving accessibility measurement combining transport modelling and GIS analysis: two examples from France and Germany. 12<sup>th</sup> World Conference on Transport Research. Lisbon, Portugal.
- Montréal, V. d. (2008 ). Plan de transport. Ville de Montréal., Montréal: Service des infrastructures, transport et environnement, Direction des transports, Division du développement des transports.
- NCTR (2011). Enabling Cost-Effective Multimodal Trip Planners through Open Transit Data. Florida, University of Florida.
- Olaru, D. and V. Dragu (2001). Accessibility in urban areas. Case study: Peth Study. World Conference on Transportation Research, 9th. Seoul, Korea.
- Páez, A., M. Moniruzzaman, et al. (2011). Deveopind a web-based accessibility calculator prototype for the greater Montreal area. Transport Research Board 2012 Annual Meeting. Washington, D.C.
- Peters, J. R., H. S. Shim, et al. (2010). Disaggregate Multimodal Travel Demand Modeling Based on Road Pricing and Access to Transit. Transport research boad 2011 Annual Meeting. Washington, D.C.
- Pirie (1979). "Measuring accessibility: a review and proposal." Environment and Planning A **11**: 299-312.
- Raux, C., A. Mercier, et al. (2008) ""Évaluation économique des politiques de transport et indicateurs d'accessibilité spatiale: l'apport des SIG"." Cybergeo : European Journal of Geography, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, **article 435**.
- Raux, C., A. Mercier, et al. (2008) "« Evaluation économique des politiques de transport et indicateurs d'accessibilité spatiale : l'apport des SIG », ." Cybergeo : European Journal of Geography, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, **article 435**, .

- Rendall, M. S., D. S. Page, et al. (2010). Quantifying Transport Energy Resilience: Active Mode Accessibility. Transportation Research Board 2011 Annual Meeting
- Rodrigue, J.-P. e. a. (1998). Site Web Géographie des Transports, Théorie des graphes: définition et propriétés. Montréal, Hofstra University: Department of Economics and Geography.
- STM (2010). Pour un transport collectif toujours plus accessible. Montréal, Direction principale des affaires publiques, Direction de la planification, marketing et communications.
- STM. (2011). "Réseau 10 minutes max." Retrieved 5 janvier, 2012, from <http://www.stm.info/info/10max.htm>.
- Trépanier, M. (2002). Modélisation totalement désagrégée et orientée-objet appliquée aux transports urbains [microforme], École polytechnique de Montréal.
- Wehrmeyer, S. (2011). "Mapnificent." Retrieved 27 janvier, 2012, from <http://www.mapnificent.net>.

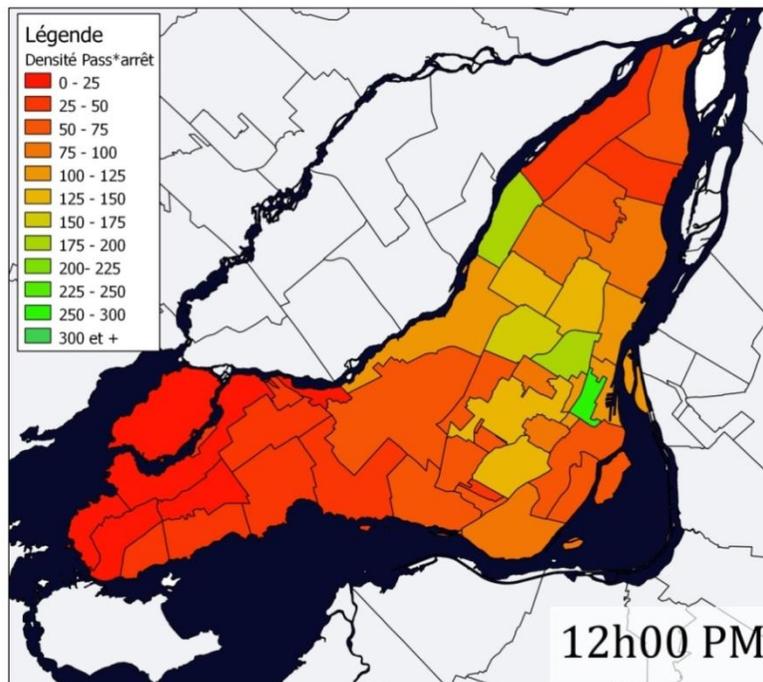
## ANNEXE

## Cartographie des densités de passages-arrêts par zone 24h



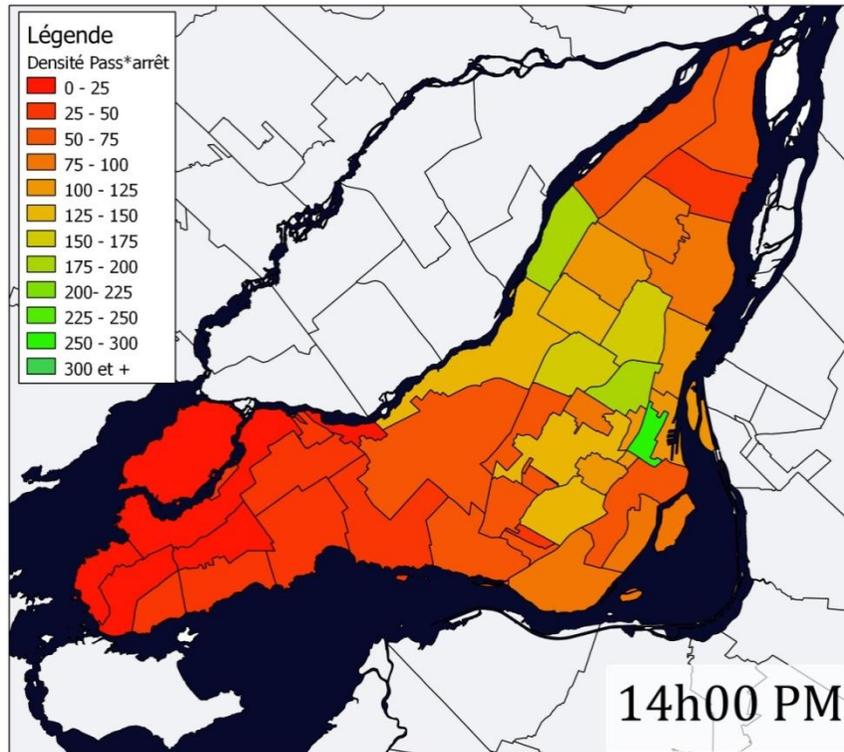
École Polytechnique de Montréal, Novembre 2011  
Audrey Godin

GTFS, STM, Semaine Novembre 2010



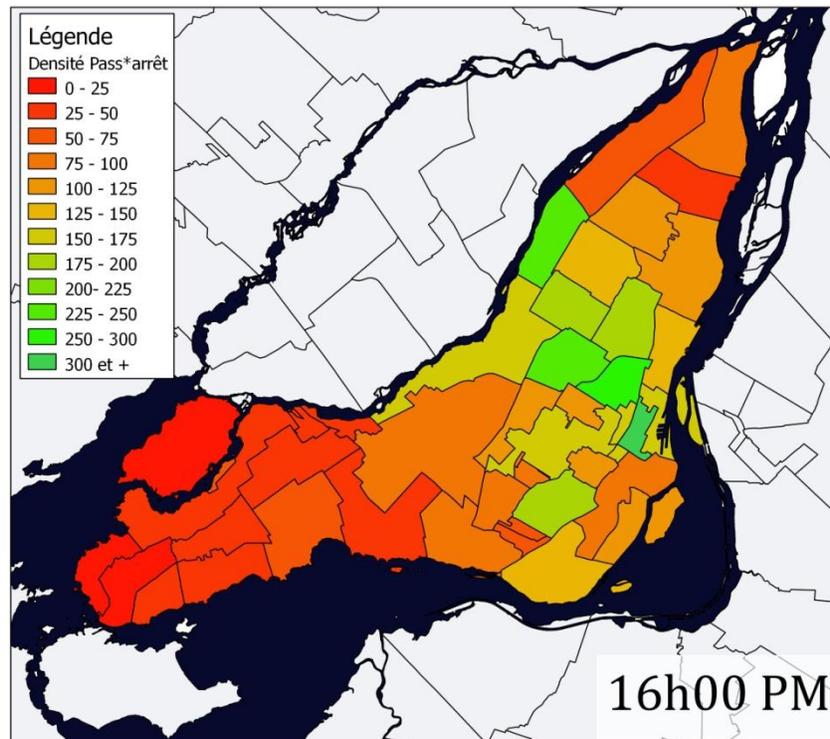
École Polytechnique de Montréal, Novembre 2011  
Audrey Godin

GTFS, STM, Semaine Novembre 2010



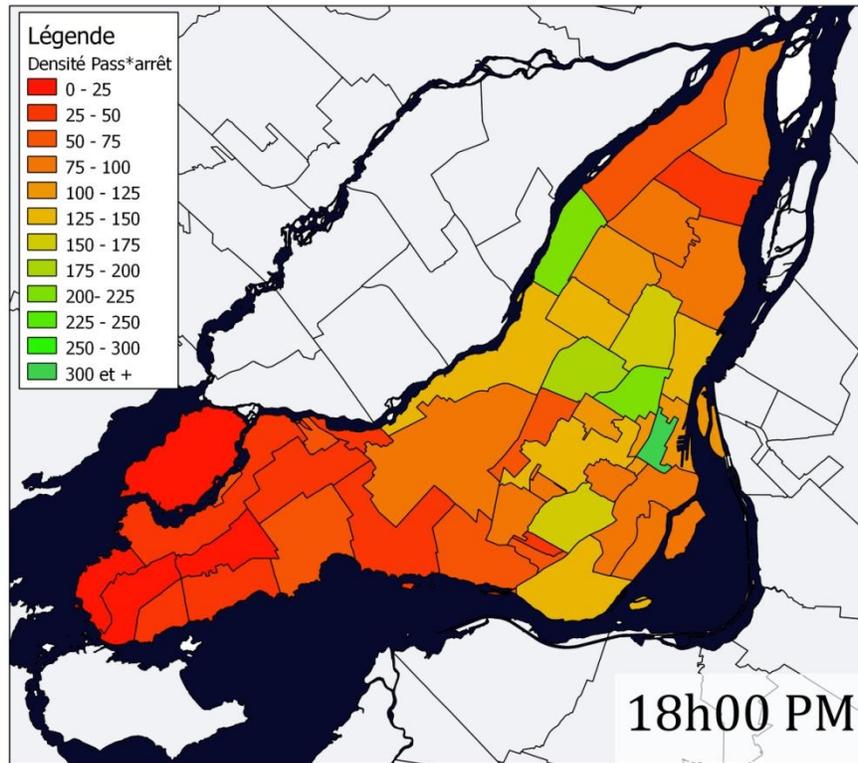
École Polytechnique de Montréal, Novembre 2011  
Audrey Godin

GTFS, STM, Semaine Novembre 2010



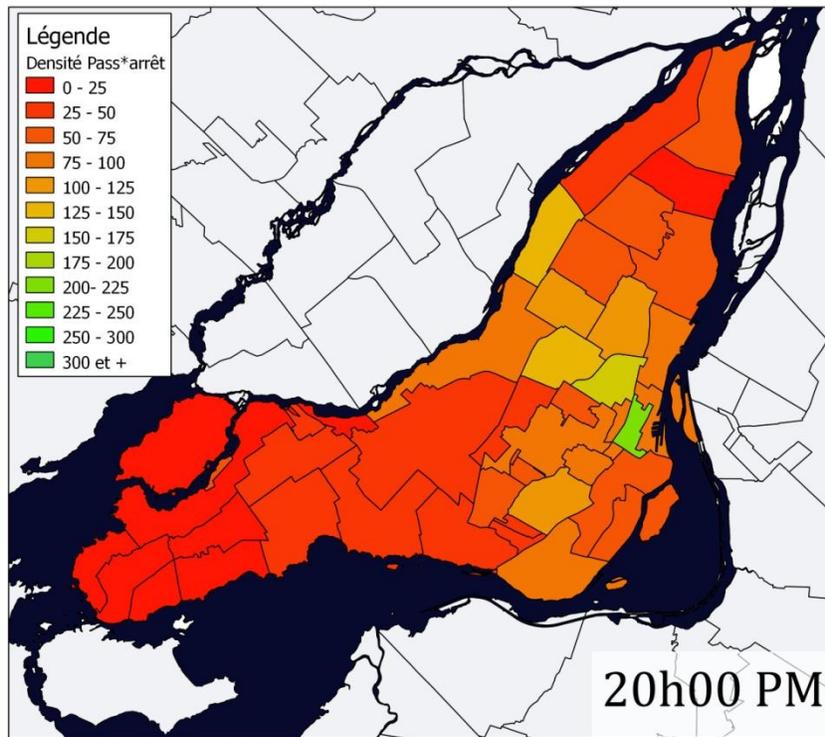
École Polytechnique de Montréal, Novembre 2011  
Audrey Godin

GTFS, STM, Semaine Novembre 2010



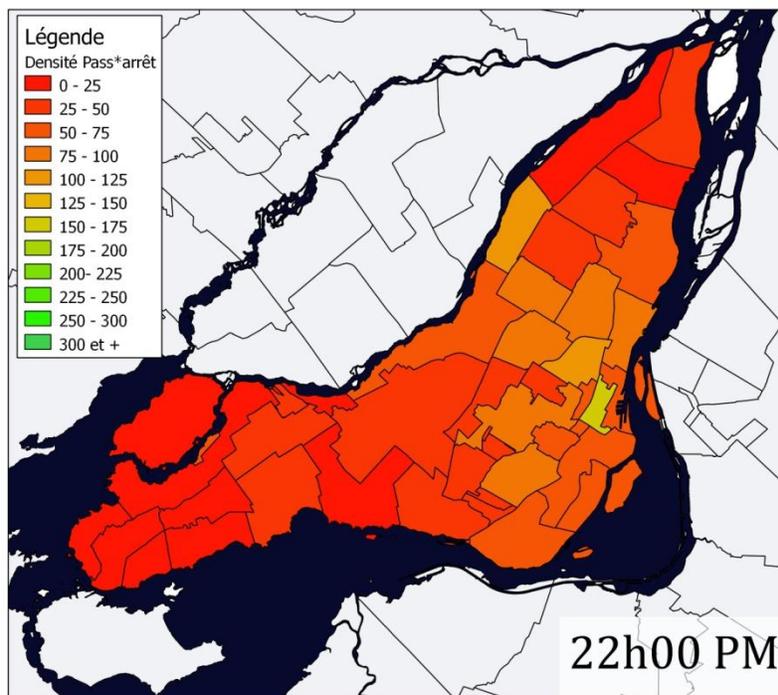
École Polytechnique de Montréal, Novembre 2011  
Audrey Godin

GTFS, STM, Semaine Novembre 2010



École Polytechnique de Montréal, Novembre 2011  
Audrey Godin

GTFS, STM, Semaine Novembre 2010



École Polytechnique de Montréal, Novembre 2011  
Audrey Godin

GTFS, STM, Semaine Novembre 2010

Tableau 27. Densité de passages-arrêts par zone

NOM	SM100	Aire	Dens8h	Dens12h	Dens16h	Dens22h	Dens26h	Total / JOUR	
								Pass-arrêt	Densité
Centre-ville	101	3.60	512	286	471	156	62	21423	5954
Centre-ville périphérique	102	9.24	185	112	159	62	28	20886	2260
Sud-Ouest	103	13.53	95	70	94	57	4	19743	1460
Notre-Dame-de-Grâce	104	10.72	209	137	194	92	6	29748	2775
Côte-des-Neiges	105	15.74	183	126	172	75	20	38271	2431
Plateau Mont-Royal	106	7.33	306	188	258	102	49	27968	3817
Villeray	107	10.81	223	152	238	95	30	34859	3226
Ahuntsic	108	24.08	166	115	160	69	20	56695	2354
Saint-Michel	109	9.71	165	132	178	80	12	25251	2600
Rosemont	110	11.88	206	137	185	86	12	33099	2786
Sud-Est	111	8.64	154	111	148	77	23	19669	2278
Mercier	112	18.98	117	86	120	53	9	33277	1753
Pointe-aux-Trembles	113	18.93	68	69	88	45	6	25632	1354
RiviPre-des-Prairies	114	23.20	56	49	62	24	5	22470	968
Montréal-Est	115	12.46	28	26	35	14	2	6084	488
Anjou	116	13.71	104	75	114	37	8	20828	1519
Saint-Léonard	117	13.52	125	96	136	49	4	25686	1900
Montréal-Nord	118	11.03	215	178	240	103	11	38270	3470
Saint-Laurent	119	42.88	100	56	93	33	4	54219	1265
Mont-Royal	120	7.66	90	62	105	27	6	9398	1227
Outremont	121	3.86	151	91	118	40	14	6824	1767
Westmount	122	4.03	145	97	124	58	8	7675	1906
Hampstead	123	1.79	77	58	84	31	7	2042	1141
Côte-Saint-Luc	124	6.95	74	57	89	39	6	8046	1158
Montréal-Ouest	125	1.41	55	38	51	33	3	1130	803
Saint-Pierre	126	2.07	81	57	75	43	4	2437	1180
Verdun	127	9.84	141	75	114	60	3	17031	1730
Lasalle	128	16.63	135	91	127	74	6	33447	2011
Lachine	129	15.77	81	65	75	43	6	20023	1269
Dorval, Ile-Dorval	130	21.11	47	32	42	23	2	14192	672
Pointe-Claire	131	18.88	52	42	54	34	0	15741	834
Dollard-des-Ormeaux	132	15.11	41	29	39	26	0	9704	642
Roxboro	133	2.27	56	39	46	32	4	1880	829
l'Ile-Bizard	134	22.70	3	3	3	3	0	1442	64
Sainte-Geneviève	135	0.84	46	48	60	57	1	821	978
Pierrefonds	136	24.84	37	22	34	19	4	13574	546
Kirkland	137	9.64	35	17	27	9	0	3350	347
Beaconsfield	138	11.02	33	34	29	23	1	6298	572
Baie d'Urfé	139	6.03	41	30	37	17	2	3443	571
Sainte-Anne-de-Bellevue	140	10.56	22	14	20	6	3	2773	263
Senneville	141	7.41	1	1	1	1	0	129	17
Total		500.40	103	72	101	45	8	735478	1470

## Intégrale de la méthodologie de la création d'une base de données de passages-arrêts

Les GTFS tels que présentés dans le Chapitre 4 sont une série de fichiers textes contenant toute l'information nécessaire pour caractériser l'offre de transport. Or, leur format initial ne correspond pas directement à ceux lu par FoxPro. Des manipulations de conversion de fichier en base de données DBF ont d'abord été réalisées directement dans FoxPro afin de faciliter la gestion de données.

L'objectif d'utiliser Foxpro est en fait de lancer des requêtes de type SQL (Foxpro détient son propre langage) sur les bases de données GTFS pour obtenir les résultats attendus.

L'organisation des fichiers GTFS ne permet pas d'observer dans un même fichier à la fois les heures de passages à tous les arrêts (stop\_times.txt), les attributs de l'itinéraire (trips.txt) et les attributs des arrêts (stops.txt). Afin de faciliter les démarches suivantes, une jointure est faite entre ces bases de données pour obtenir en un seul fichier avec toutes les informations nécessaires. À titre de support, des sections partielles du code Foxpro se trouvent dans les encadrés.

```
SELECT stop_times.*,trips.route_id, trips.service_id FROM stop_times LEFT JOIN
trips ON stop_times.trip_id=trips.trip_id INTO CURSOR ST_join

SELECT St_join.*, stops.stop_lat, stops.stop_lon FROM ST_join LEFT JOIN stops ON
St_join.stop_id=stops.stop_id INTO CURSOR ST_join2
```

Les heures contenues dans les fichiers GTFS (arrival\_time) sont les heures de passage à l'arrêt. Le format heure proposé a une horloge qui commence à 04:00 et se termine à 27:59. Ceci pose parfois problème lors des requêtes. Ces heures ont donc été transformées en format numérique dans les nouvelles colonnes départ.

```
ALTER table St_join2 ADD COLUMN depart n(6,4)
REPLACE ALL depart WITH
VAL(SUBSTR(departure_,1,2))+VAL(SUBSTR(departure_,4,2))/60+VAL(SUBSTR(departure_,7,
2))/3600
```

À ce titre, le fichier DBF résultant des opérations précédentes peut recevoir des requêtes comptabilisant le nombre de départ par arrêt (stop\_id) pour une période de temps (départ) et une période de service (service\_id). Pour ce faire, il s'agit de faire une somme d'enregistrements par arrêt avec des conditions de service (service\_id = X) et d'intervalle de temps (depart >= hh and depart < hh). Le résultat est stocké dans une colonne (ex. p400). La ligne de code est répétée pour tous les périodes de 30 minutes entre 4h00 et 27h59.

À la fin de la requête, il est important de spécifier sur quelle table les opérations sont effectués (FROM) et de grouper (GROUP BY) les données par arrêt, latitude, longitude et type de service.

```
SELECT stop_id,stop_lon,stop_lat,service_id,;
sum(IIF(service_id = "10N_S " AND depart >= 4 AND depart < 4.5,1,0)) as p400,;
sum(IIF(service_id = "10N_S " AND depart >= 4.5 AND depart < 5,1,0)) as p450,;
sum(IIF(service_id = "10N_S " AND depart >= 5 AND depart < 5.5,1,0)) as p500,;
(...)
sum(IIF(service_id = "10N_S " AND depart >= 27 AND depart < 27.5,1,0)) as p2700,;
sum(IIF(service_id = "10N_S " AND depart >= 27.5 AND depart < 28,1,0)) as p2750;
FROM st_join2 ;
GROUP BY stop_id,stop_lon,stop_lat,service_id ;
WHERE service_id = "10N_S ";
into CURSOR PassArret10N_S
```

Le résultat fournit une table de données semblable à la figure suivante. Les colonnes identifiées par pXXX contiennent les passages\*arrêt pour chaque tranche de 30 minutes.

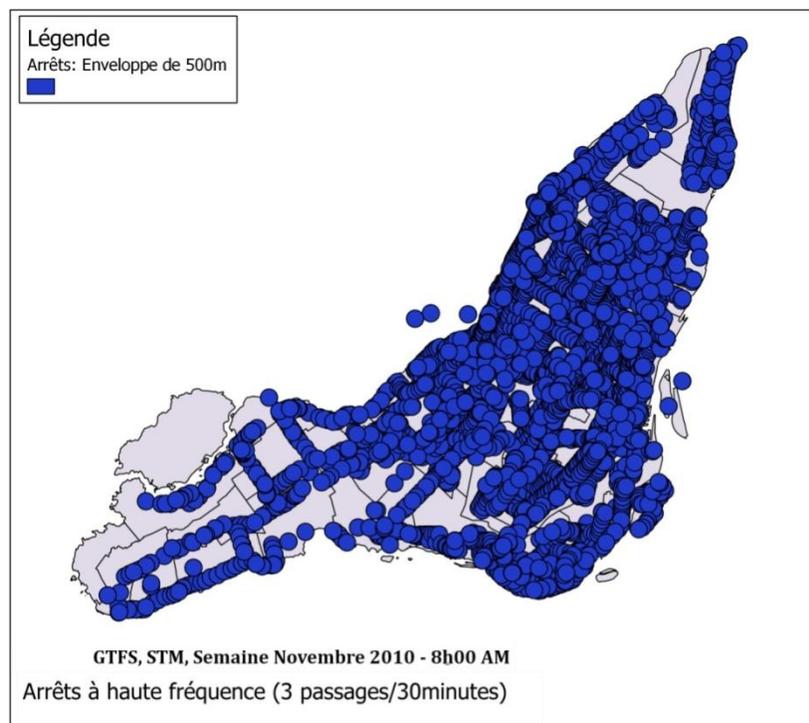
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ
1	STOP_ID	STOP_LON	STOP_LAT	SERVICE_ID	P400	P450	P500	P550	P600	P2400	P2450	P2500	P2550	P2600	P2650	P2700	P2750
2	1	-73.66828	45.55534	10N_S	0	0	1	3	:	6	4	1	0	0	0	0	0
3	2	-73.65593	45.55093	10N_S	0	0	0	4	:	6	4	1	0	0	0	0	0
4	3	-73.63844	45.54609	10N_S	0	0	0	4	§	5	5	1	0	0	0	0	0
5	4	-73.62881	45.54333	10N_S	0	0	0	4	§	5	4	1	0	0	0	0	0
6	5	-73.61470	45.53890	10N_S	0	0	0	9	1§	11	4	1	0	0	0	0	0
7	6	-73.60400	45.53481	10N_S	0	0	0	3	§	6	4	1	0	0	0	0	0
8	7	-73.59808	45.53134	10N_S	0	0	0	4	:	6	4	1	0	0	0	0	0
9	8	-73.58878	45.52794	10N_S	0	0	0	4	§	6	4	1	0	0	0	0	0
8755	4000513	-73.95193	45.40780	10N_S	0	1	1	2	:	1	1	2	1	2	1	0	1
8756	4000524	-73.94635	45.40268	10N_S	0	1	1	2	:	1	1	2	1	2	0	0	0
8757	4000553	-73.95338	45.40680	10N_S	0	0	2	1	:	1	1	1	1	1	0	0	0
8758	4000580	-73.93978	45.41401	10N_S	0	0	0	0	(	0	0	0	0	0	0	0	0
8759	4000583	-73.93952	45.41377	10N_S	0	0	0	0	(	0	0	0	0	0	0	0	0
8760	4000610	-73.93248	45.42382	10N_S	0	0	0	0	(	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure 69. Fichier résultat du nombre de passage par arrêt par tranche de 30 minutes (exemple)

## Intégrale de la méthodologie pour le calcul d'indicateur de type population à moins de 500 m d'un arrêt haute fréquence

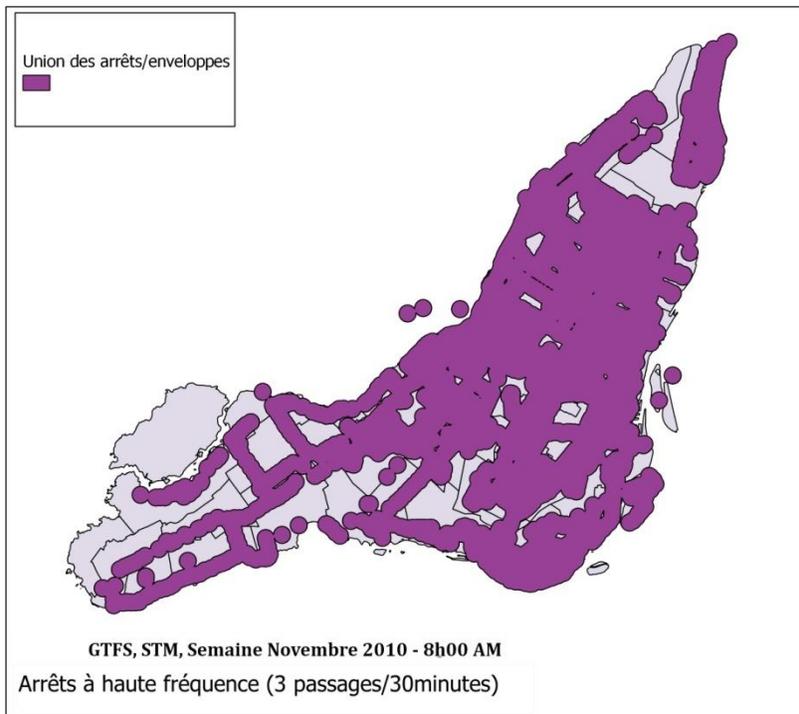
La démarche pour obtenir le % de la population à moins de 500 m d'un arrêt haute fréquence (10 min et moins) débute par l'affichage de ces arrêts dans un logiciel GIS.

Une fois cette couche affichée, il faut appliquer à chacun des arrêts un tampon de 500 m. Ce qui se traduit par un polygone de rayon de 500 m autour de l'arrêt. La prochaine image représente donc l'amas d'arrêts à haute fréquence à 8h00 AM en novembre 2010 avec un tampon de 500 m.



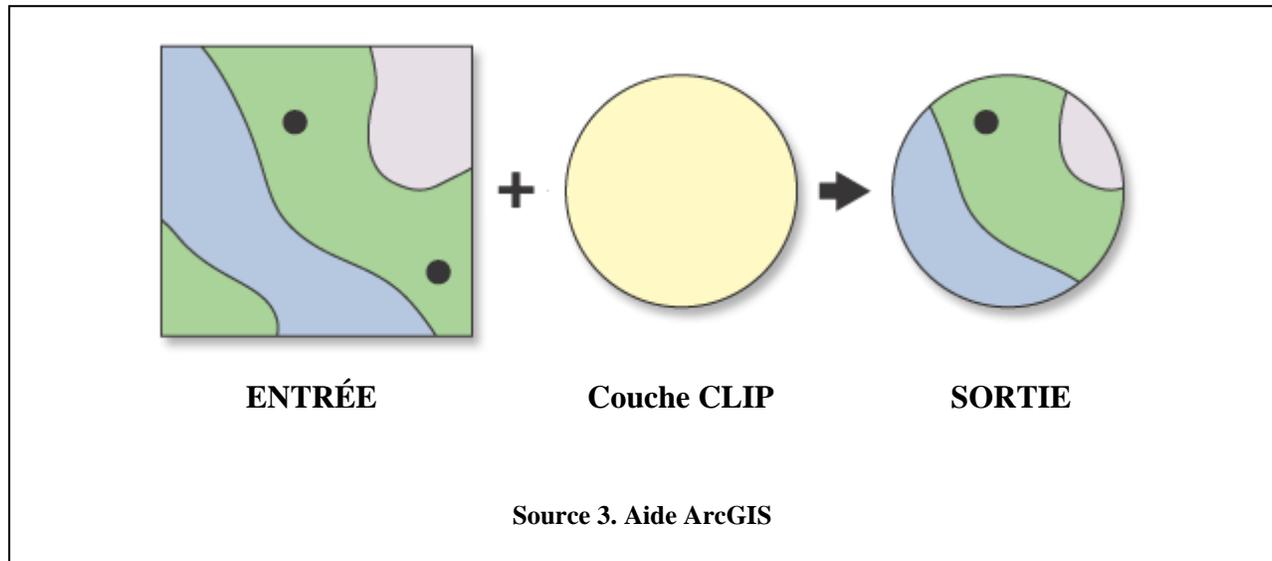
**Figure 70. Arrêts à haute fréquence, STM novembre 2010 service de semaine, 8h00 AM**

Il est impossible de calculer directement la population associée à cette surface en bleue en raison de la superposition des arrêts. Si l'application d'une fonction d'analyse spatiale comme CLIP était faite directement de cette couche à une couche de population, la population serait multipliée par le nombre de tampon superposé. À ce titre, il est préférable d'utiliser une fonction d'union. Celle-ci transforme la couche sélectionnée en un seul polygone. La figure ci-après illustre le résultat de cette opération.



**Figure 71. Union de la couche des tampons de 500 m**

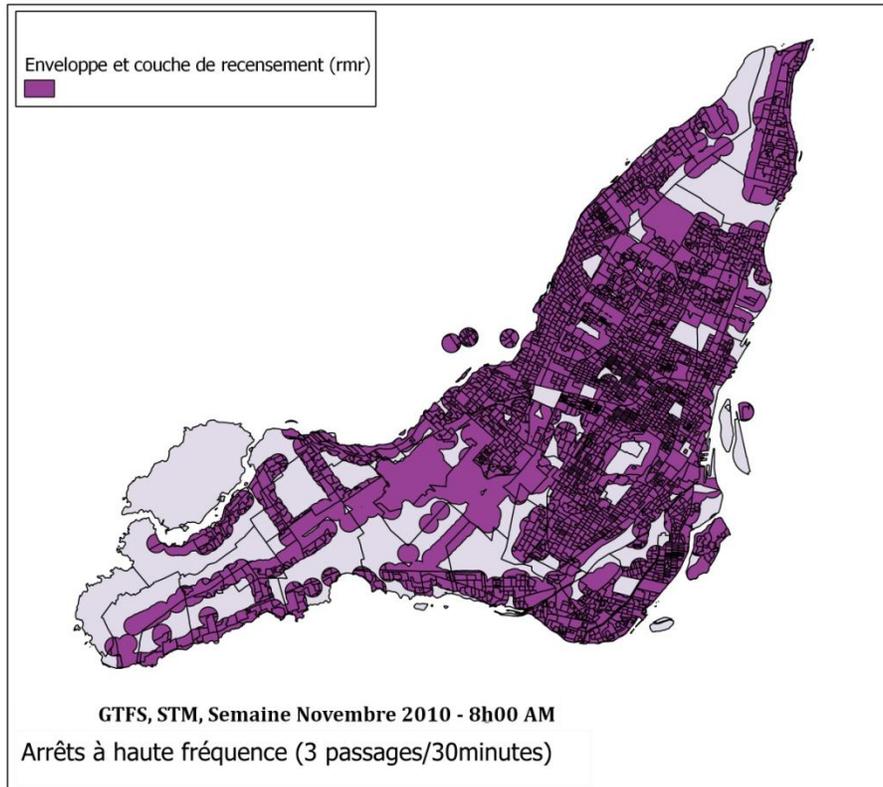
Ensuite, cette nouvelle couche est superposée à la couche de population du recensement. L'utilisation de la fonction CLIP intervient pour fractionner la couche de recensement selon les limites du polygone d'union des tampons. La figure montre les opérations spatiales de la couche clip. L'entrée est ici la couche de recensement, la couche clip correspond à la couche de tampons unifiés et la sortie est une nouvelle couche de recensement rognée. La figure est tirée directement de l'aide d'ArcGIS.



**Figure 72. Opération de la fonction CLIP de ArcGIS**

La fonction copie tous les attributs de la couche d'entrée dans la couche de sortie. Lorsqu'un secteur de recensement est divisé par la couche clip, les attributs qui en résultent, par exemple la population, sont un ratio de la valeur initiale de ces attributs dans la couche d'entrée. La valeur de sortie est basée sur le rapport de superficie/géométrie. Par exemple, si la géométrie d'entrée a été divisée en 2 parties égales, la valeur de sortie de cet attribut sera 50% de sa valeur initiale. Cette politique s'applique seulement aux champs numériques.

En utilisant cette fonction, la couche obtenue est une fraction de la couche de recensement initiale et les valeurs numériques telles que la population est une proportion de la valeur totale (voir Figure 34).



**Figure 73. Résultat de l'utilisation de la fonction CLIP sur la couche de recensement**