

Titre: Méthodologie de diagnostic de l'accessibilité piétonne aux stations
Title: du métro montréalais

Auteur: Eya Chekir
Author:

Date: 2023

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Chekir, E. (2023). Méthodologie de diagnostic de l'accessibilité piétonne aux
Citation: stations du métro montréalais [Mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal].
PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/55719/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/55719/>
PolyPublie URL:

**Directeurs de
recherche:** Catherine Morency
Advisors:

Programme: Génie civil
Program:

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

**Méthodologie de diagnostic de l'accessibilité piétonne aux stations du métro
montréalais**

EYA CHEKIR

Département des génies civil, géologique et des mines

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

Génie civil

Août 2023

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé :

**Méthodologie de diagnostic de l'accessibilité piétonne aux stations du métro
montréalais**

présenté par **Eya CHEKIR**

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

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

Martin TRÉPANIÉ, président

Catherine MORENCY, membre et directrice de recherche

Jean-François CANTIN, membre

DÉDICACE

‘C’est toujours le métro d’en face qui arrive le premier’

Albin Gaudaire

REMERCIEMENTS

Tout d’abord, je tiens à remercier ma directrice de recherche Catherine MORENCY sans qui ce projet n’existerait pas. Durant ces dernières années de maîtrise, elle était une vraie inspiration. Son enthousiasme, sa passion communicante et ses encouragements étaient déterminants pour la réussite et l’aboutissement de mon projet. Chaque réunion était un renouvellement d’énergie et apportait un nouveau souffle à mon projet. J’ai beaucoup appris sous sa direction sur les enjeux de la mobilité et j’ai encore tant à apprendre d’elle sur ce passionnant domaine qu’est le transport.

Je remercie également les partenaires de la Chaire Mobilité, pour les rencontres passionnantes et leur intérêt pour nos recherches : ministère des transports et de la mobilité durable du Québec (MTMD), Société de transport de Montréal (STM), Autorité régionale de transport métropolitain (ARTM), Ville de Montréal et Réseau de transport métropolitain (Exo).

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers les associées de recherche de la Chaire Mobilité, Pierre-Léo Bourbonnais, Jean-Simon Bourdeau, Hubert Verreault et Geneviève Bastien qui ont toujours été là pour répondre à mes questions et m’aider tout au long de ma recherche. Je suis également reconnaissante d’avoir eu le privilège de croiser le chemin de multiples étudiants brillants tout au long de ma maîtrise. Et dans un cadre plus personnel je tiens à remercier ma famille pour son soutien indéfectible.

RÉSUMÉ

Le transport en commun est une composante essentielle pour nos sociétés modernes. Il permet non seulement de dynamiser une ville, relier ses différents quartiers et favoriser les déplacements piétons. En effet, utiliser les moyens de transport public oblige les voyageurs à pratiquer une activité physique lors de chaque déplacement. Cette dépense énergétique peut être très importante lors de chaque voyage. Ce projet se focalise sur l'analyse de l'accessibilité piétonne aux points d'accès aux transports en commun, en se concentrant particulièrement sur les stations du métro montréalais. Dans ce contexte l'accessibilité piétonne est importante pour l'analyse des particularités des conditions de marche associées à chaque station. Elles déterminent la facilité avec laquelle les individus peuvent se déplacer à pied et pourraient expliquer la préférence pour certaines stations plutôt que d'autres.

Dans cette étude, nous développons une méthode pour évaluer l'accessibilité aux nœuds de transport en commun, applicable quel que soit le mode de transport. En effet, à partir des données de trajets réels, nous générons des courbes de niveau d'accessibilité réelle autour de chaque nœud étudié.

Ces courbes de niveau représentent l'accessibilité piétonne autour de chaque station et prennent en considération les propriétés géographiques associées à la zone d'étude. Elles permettent de délimiter les bassins d'attraction de chaque station.

Une fois ces bassins d'attraction obtenus, nous essayons de comprendre leurs caractéristiques propres que ce soit en termes de forme et étendue, ou en évaluant le développement de l'environnement bâti et les réseaux piétonnier et routier associés ou encore en se focalisant sur l'analyse des trajets qui y sont. Tous ces indicateurs peuvent se révéler importants dans l'établissement de perspectives d'évaluation d'une bonne accessibilité et comprendre ce qu'est une bonne accessibilité à une station de transport en commun.

En conclusion, ce mémoire propose une méthodologie qui permet d'évaluer l'accessibilité piétonne aux points d'accès des transports publics, en se concentrant spécifiquement sur les stations de métro. Les courbes de niveaux d'accessibilité développées et les seuils définis permettent d'analyser l'accessibilité piétonne à chaque station de métro, offrant ainsi des outils précieux aux planificateurs de transport pour améliorer l'accessibilité, classer les stations selon leur accessibilité,

offrir des pistes pour modéliser les indicateurs importants ayant une influence sur l'attractivité des stations.

ABSTRACT

Public transportation is an essential component of modern society. Not only does it help to energize a city, it connects its various neighborhoods and encourages pedestrian traffic. In fact, using public transport make users engage in physical activity during each journey. The resulting energy expenditure can be very high. This project focuses on the analysis of pedestrian accessibility at public transport access points, with particular emphasis on the Montreal metro stations. In this context, pedestrian accessibility is important for analyzing the particularities of walking conditions associated with each station. They determine the ease with which people can get around by foot and justify the attractiveness of stations.

In this study, we develop a method for assessing accessibility to public transport hubs, applicable regardless of the transportation mode. Using real trip data, we generate real accessibility contours around each node studied.

These represent pedestrian accessibility around each station and account for the geographical properties associated with the study area.

Once these catchment areas have been obtained, we try to understand their specific characteristics, whether in terms of shape and extent, or by assessing the development of the built environment and the associated pedestrian and road network, or by focusing on the analysis of the journeys made within them. All these indicators can prove important in establishing perspectives for assessing good accessibility and understanding what good accessibility to a transit station is. The metro occupies a central place in this study, since it is a key means of transportation in the region and there are enough relevant data to support the analysis.

In conclusion, this master thesis proposes a methodology that assess pedestrian accessibility to public transport access points, focusing specifically on metro stations. The accessibility level curves developed, and the thresholds defined make it possible to analyze pedestrian accessibility to a metro station, providing valuable tools for transport planners to improve accessibility, classify stations according to their accessibility, offer a way to model the indicators having an influence on the attractiveness of stations, and contribute to inclusive mobility for all.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	III
REMERCIEMENTS	IV
RÉSUMÉ.....	V
ABSTRACT	VII
TABLE DES MATIÈRES	VIII
LISTE DES TABLEAUX.....	XII
LISTE DES FIGURES.....	XIII
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XV
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Problématique.....	2
1.2 Objectifs	2
1.3 Structure du mémoire	3
CHAPITRE 2 ÉTAT DES CONNAISSANCES	4
2.1 La marchabilité.....	4
2.1.1 Facteurs qui influencent la marchabilité	5
2.1.2 Indicateurs caractérisant la marchabilité	6
2.2 Le transport en commun.....	7
2.2.1 Facteurs qui influencent la qualité des transports en commun.....	8
2.3 La marche, un moyen d'accès au transport en commun	14
2.3.1 L'accessibilité piétonne au transport en commun	15
2.3.2 Délimitation du bassin d'attraction vers le transport en commun.....	16
2.4 Les piétons.....	17
2.4.1 Les personnes vulnérables et la marche	18

2.4.2	Psychologie du piéton et sa volonté de marcher	20
2.5	Incitation à la marche	22
2.5.1	Espace propice à la marche	23
2.5.2	Prime financière	23
2.5.3	Améliorer les conditions de marche vers les arrêts de transport en commun	24
2.6	Les contributions de la marche.....	28
2.6.1	Les modes actifs et la santé	28
2.6.2	Impact des déplacements en modes actifs sur l'environnement	29
2.7	Synthèse de la revue de la littérature.....	29
CHAPITRE 3	MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE.....	31
3.1	Mise en contexte.....	31
3.2	Territoire d'analyse	33
3.3	Sources de données	34
3.4	Étude de cas : le métro montréalais.....	35
3.4.1	Les stations métro et leurs caractéristiques	35
3.4.2	Méthodologie de création des bassins d'attraction	37
3.4.3	Sélection des stations à étudier.....	39
3.5	Choix des indicateurs	41
3.5.1	La surface	42
3.5.2	Le périmètre	43
3.5.3	Pourcentage de couverture de la surface théorique par une courbe de niveau (PSCT) 46	
3.5.4	Distribution de la tortuosité (distance)	47
3.5.5	Densité d'intersections	48
3.5.6	Le temps moyen de marche.....	49

3.5.7	Distance moyenne de marche.....	49
3.5.8	Densité de la population.....	50
3.5.9	Nombre total de dépanneurs et supermarchés par kilomètre carré	50
3.5.10	Densité de trottoirs	51
3.5.11	Fréquence moyenne de passager des bus dans une journée	51
3.5.12	Fréquence moyenne de passage des bus pendant la pointe du matin.....	52
3.5.13	Fréquence moyenne de passage des bus pendant la pointe de l'après-midi.....	52
3.5.14	Densité d'arrêts de bus autour des stations métro	52
CHAPITRE 4 RÉSULTATS ET ANALYSE.....		54
4.1	Bassins d'attraction autour des stations du métro de la ligne orange.....	54
4.2	Analyse des différents indicateurs.....	55
4.2.1	Indicateurs de géométrie	56
4.2.2	Indicateurs de caractérisation des trajectoires	62
4.2.3	Indicateurs de caractérisation de l'environnement bâti et des réseaux	65
CHAPITRE 5 EXPLORATION DE L'ENQUÊTE ORIGINE_DESTINATION		70
5.1	L'enquête Origine-Destination.....	70
5.1.1	Les données de l'enquête OD à l'intérieur des CNA	70
5.2	L'utilisation des transports en commun par rapport aux modes motorisés.....	72
5.2.1	Étude du niveau d'accessibilité 200 mètres	72
5.2.2	Pour le niveau d'accessibilité 1000 mètres	74
5.3	Comportement de mobilité des personnes âgées.....	76
CHAPITRE 6 CONCLUSION		78
6.1	Synthèse de la recherche et contributions	78
6.2	Limites de la recherche	80

6.3	Perspectives	81
RÉFÉRENCES		81

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 Stations de la ligne orange (Wikipédia 2023; Société de transport de Montréal 2023)	
.....	36
Tableau 5.1 Nombre de déplacements déclarés à l'intérieur des CNA pour différentes distances	70
Tableau 6.1 Analyse globale des indicateurs	80

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 Facteurs qui influencent la marchabilité (Lefebvre-Ropars et Morency 2017).....	6
Figure 2.2 Distance de marche par mode de transport (selon les données de (van Soest, Tight, et Rogers 2020)).....	10
Figure 2.3 Temps d'accès à pied à différents modes de transport en commun (selon les données de (van Soest, Tight, et Rogers 2020)).....	11
Figure 2.4 Les types de piétons et leurs besoins	18
Figure 2.5 Facteurs influençant la pratique de la marche	22
Figure 3.1 Plan du quartier de la station Côte-Vertu - Schéma général.....	32
Figure 3.2 Méthodologie générale	33
Figure 3.3 Zone A desservie par la Société de transport de Montréal (STM)	34
Figure 3.4 Méthodologie de délimitation des bassins d'attraction.....	39
Figure 3.5 Ensemble de stations de métro étudiées (ligne orange).....	40
Figure 3.6 Les stations de métro et leurs entrées	41
Figure 3.7 les indicateurs de caractérisation des CNA.....	42
Figure 3.8 Surface totale pour une station à deux édifices.....	43
Figure 3.9 Surface du bassin d'attraction pour une station à un édifice.....	43
Figure 3.10 Périmètre total dans le cas d'entrées multiple	45
Figure 3.11 Périmètre total dans le cas d'entrée simple	45
Figure 3.12 Surface réelle par rapport à la surface théorique	46
Figure 3.13 Le calcul de la tortuosité d'un trajet	48
Figure 3.14 Les trajets étudiés pour le calcul du temps moyen de marche.....	49
Figure 3.15 Longueur de trottoir à l'intérieur des bassins d'attraction	51
Figure 4.1 Bassins d'attraction.....	55
Figure 4.2 Les différentes catégories d'indicateurs étudiés	56

Figure 4.3 Surface (en km ²) du bassin d'attraction	57
Figure 4.4 Comparaison de la surface de couverture pour un niveau d'accessibilité de 1 km	58
Figure 4.5 Périmètre des bassins d'attraction.....	59
Figure 4.6 Comparaison des périmètres des CNA	60
Figure 4.7 Pourcentage de couverture de la surface théorique par station par ligne de contour...	61
Figure 4.8 PCST pour la station De La Savane.....	62
Figure 4.9 PCST pour la station Jean-Talon	62
Figure 4.10 Distribution de la tortuosité vers les stations de métro pour un seuil de 600 mètres.	63
Figure 4.11 Temps de marche moyen	64
Figure 4.12 Distance de marche moyenne	65
Figure 4.13 Évolution de la densité de population avec des bassins versants de différents seuils de distance.....	66
Figure 4.14 Longueur du trottoir par kilomètre carré	67
Figure 4.15 Nombre d'intersections.....	68
Figure 5.1 Part modale du TC pour les CNA 200 mètres	73
Figure 5.2 Part du métro dans le TC pour des CNA 200 mètres.....	74
Figure 5.3 Part modale du TC pour les CNA 1000 mètres	75
Figure 5.4 Part du métro dans le TC pour des CNA 1000 mètres.....	76
Figure 5.5 Part modale du TC et du métro chez les 65 ans et plus pour des CNA 1000 mètres ..	77

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

CNA	Courbes de niveaux d'accessibilité
IPP	Indice du potentiel piétonnier
NA	Niveau d'accessibilité
OD	Origine Destination
PCST	Pourcentage de couverture de la surface théorique
PIE	Pedestrian Index of the Environment
SLR	Système léger sur rails
TC	Transport en commun
WI	Walkability index

Chapitre 1 INTRODUCTION

Le transport en commun est une composante importante dans le développement urbain; il en est même le principal moteur. Dans la région métropolitaine de Montréal, on compte plus de 9 millions de déplacements rien qu'en 2018, ou le centre-ville de Montréal tient une place importante comme générateur d'activités (Autorité régionale de transport métropolitain 2018). Il est donc primordial que les modes de transport en commun puissent répondre à une demande en perpétuelle croissance. C'est dans cette perspective que des stratégies d'expansion et de prolongement des systèmes de transport déjà existants ont vu le jour (Autorité régionale de transport métropolitain 2023)

Mais toute cette attention portée à l'infrastructure est-elle vraiment la bonne vision à adopter sur le long terme ? Considérer un déplacement en transport en commun ou même en voiture sans tenir compte du segment de marche peut limiter la compréhension des comportements. Considérer un déplacement dans son ensemble depuis le point de départ vers le point d'arrivée assure une meilleure prise en compte de tous les facteurs qui peuvent l'affecter. Les modes de transport en commun doivent être vus comme des générateurs de piétons. Et les conditions d'accès aux arrêts sont un facteur clé de leur bonne desserte.

Les segments piétonniers permettent d'assurer la liaison entre les activités des quartiers et les réseaux de transport en commun. Ainsi l'attractivité du transport en commun est étroitement liée aux différents facteurs qui caractérisent le chemin d'accès vers les stations et arrêts.

Dans une perspective d'amélioration des conditions de mobilité, comprendre l'interaction entre marchabilité et usage des transports en commun devient un enjeu important pour bonifier l'attractivité du transport en commun et éventuellement diminuer l'utilisation de l'automobile. Cela reconnaît que le passager vit le voyage de l'origine à la destination dans son ensemble et que la qualité des premier/dernier kilomètres peut déterminer la satisfaction globale à l'égard du déplacement. Les implications pour les objectifs de transport durable sont considérables, car le niveau d'attractivité et de rétention des passagers dans les modes de transport en commun peut être peu lié à la qualité intrinsèque de ces modes, si le reste du trajet ne présente pas un attrait suffisant.

Ce mémoire cherche à comprendre l'attractivité du transport en commun à partir de l'étude du chemin d'accès piéton aux arrêts grâce à différents indicateurs de caractérisation de l'accessibilité piétonne.

1.1 Problématique

Les modes de transport en commun sont connus pour être de grands générateurs de déplacements à pied. En effet, pour prendre le transport en commun, il faut d'abord accéder à un de ses points d'accès (tant à l'origine qu'à la destination). Et les conditions dans lesquelles se font les accès aux arrêts sont très déterminantes de l'attractivité globale du transport en commun et, de façon générale, du nombre d'utilisateurs et de destinations qui seront accessibles à l'intérieur d'une distance et d'un temps considérés acceptables. Pourtant, il y a peu de travaux qui s'intéressent spécifiquement aux cheminements d'accès aux réseaux de transport, à leur impact sur l'attractivité du transport en commun et à l'efficacité des bassins d'attraction des nœuds de transport en commun structurants comme les stations de métro. Pourtant, les conditions d'accès aux nœuds de transport en commun sont déterminantes de son attractivité.

Pour cela nous nous intéressons au diagnostic de l'accessibilité piétonne aux différents édifices des stations du métro montréalais à travers l'estimation d'indicateurs de couverture (bassin d'attraction), de tortuosité (des parcours piétonniers) et de caractérisation des chemins d'accès aux stations.

Répondre aux enjeux autour de la demande de mobilité actuelle passe par une meilleure gestion des modes de transport en commun et de l'accessibilité piétonne vers les différentes stations et arrêts. Ainsi, l'analyse des caractéristiques des différents niveaux de bassins d'attraction autour des stations de métro est un moyen pertinent de comprendre les facteurs qui entrent en jeu lors d'un déplacement.

1.2 Objectifs

Ce mémoire est réalisé dans l'objectif de comprendre l'effet de l'accessibilité active aux stations de transport en commun sur l'attractivité du transport en commun.

Les objectifs spécifiques de cette étude sont les suivants :

Définir les bassins d'attraction (accessibilité) autour des stations de métro

Développer des indicateurs pour déterminer la qualité de l'accès aux stations, incluant la caractérisation de l'environnement bâti pour mieux comprendre et évaluer l'attractivité du transport en commun (via son accessibilité active).

Proposer une méthodologie systématique et transposable à tout arrêt de transport en commun apte à diagnostiquer les bassins d'attraction des arrêts TC.

1.3 Structure du mémoire

Ce mémoire comporte six chapitres. Ce premier chapitre permet d'introduire la démarche de recherche et les objectifs du projet. Le chapitre suivant propose un état des connaissances autour du concept de marchabilité dans un premier temps puis discute de son rôle dans l'accès aux nœuds de transport en commun. Ceci permet de mettre en évidence les connaissances à ce sujet ainsi que les enjeux primordiaux relatifs à ce projet. Le troisième chapitre expose la méthodologie développée pour atteindre les différents objectifs ciblés. Cette section permet de décrire les données utilisées, leur provenance et la démarche de délimitation des bassins d'attraction autour des points d'accès aux transports en commun. Les indicateurs choisis pour décrire la qualité des accès y sont également traités. Le quatrième chapitre permet d'analyser les résultats obtenus par les différents indicateurs traités et leur pertinence. Le sixième chapitre forme la conclusion du projet de recherche et les principales contributions du projet de recherche ainsi qu'une discussion des limites de la démarche de recherche et les perspectives qu'elle offre.

Chapitre 2 État des connaissances

La marche est un mode de transport crucial car elle permet l'accès à l'ensemble des autres modes. Elle est donc une part structurante de la ville, pour ses habitants et la dynamique autour de ses modes de transport. En effet, la pratique de la marche est essentielle à l'utilisation du transport en commun; améliorer les conditions dans lesquelles elle est réalisée pourrait faciliter le transport en général, l'accessibilité aux emplois et aux différents lieux de loisir et magasinage. De plus, les transports publics, considérés comme plus durables placent de grands espoirs pour faire face à la crise climatique. Cela passe par une remise en question de l'attractivité de ces moyens et leur facilité d'accès spécifiquement à pied (Keller et al. 2022). De plus l'utilisation des transports en joue un rôle primordial dans la lutte contre la sédentarité et contribue à la pratique d'activité physique. Ainsi dans leurs travaux (Morency, Trepanier, et Demers 2011) mentionnent qu'un trajet aller-retour en transport en commun permet de réaliser en moyenne 25% des besoins en activité physique journaliers. Une autre étude réalisée en 2021 (Mageau-Beland et Morency 2021), mentionne que le fait de se déplacer en transport en commun permet d'atteindre 54% de l'activité physique recommandée par jour. Ainsi il existe une relation entre la marche et l'utilisation des transports publics.

2.1 La marchabilité

La marchabilité est devenue un sujet important à traiter dans nos société modernes, qui tendent à favoriser la pratique de la marche comme premier moyen de déplacement. Définir la notion de marchabilité prête en revanche à la confusion. Les travaux de Dalmat (Dalmat 2021), insistent sur le fait que malgré la présence de preuves témoignant que la variation de l'environnement bâti est associée à la variation de la pratique de la marche, la mesure de la marchabilité d'un lieu donné reste problématique compte tenu des environnements bâtis mesurés de manière incohérente. En effet, il évoque le fait que sur six articles publiés identifiés dans une revue systématique à portée étroite de 2015 sur la relation entre les mesures de potentiel piétonnier basées sur les systèmes d'information géographique et les pas mesurés objectivement par jour, aucune étude n'a utilisé le même ensemble de variables pour représenter le potentiel piétonnier (Dalmat 2021). Toujours selon Dalmat (Dalmat 2021), il existerait plusieurs raisons à cette incohérence. Premièrement, le mot marchabilité ne fait pas référence à une construction ou type de bâti unique - le terme est parfois utilisé pour caractériser un environnement où les gens décident volontairement de marcher-, mais

est également parfois utilisé pour caractériser un environnement qui favorise mieux la marche, tel qu'expliqué dans l'étude de Forsyth (Forsyth 2015). Ainsi ces interprétations apparentées mais distinctes données au concept de marchabilité appellent à mieux mesurer et quantifier cette notion. Dans cette même étude, l'exemple cité par Dalmat concernant les différences possibles autour du terme marchabilité portent par exemple sur le stationnement et son implication dans sa mesure. En effet, nous trouvons, selon cette étude un premier sens de la marchabilité, qui limite la mesure de la marchabilité aux caractéristiques de la forme urbaine. Selon cette définition, la disponibilité du stationnement est un facteur déterminant de la marchabilité. Ainsi, sa faible disponibilité est un déterminant clé du choix du mode de transport puisqu'il limite l'accès en automobile mais ne favorise ni n'empêche directement la pratique de la marche en général.

Dans la réalisation de ce mémoire, nous nous intéressons à la marchabilité correspondant au deuxième sens, celle qui explique si un environnement donné incite un voyageur à marcher afin d'accéder à un nœud de transport en commun donné. En se fiant à ce sens, plusieurs études deviennent très intéressantes pour nous donner des pistes vers de probables facteurs ayant une incidence sur le niveau de marchabilité.

2.1.1 Facteurs qui influencent la marchabilité

La marchabilité ne peut être introduite comme étant une entité unique et universelle. En effet, les facteurs de l'environnement bâti ont un rôle capital à jouer en ce qui concerne la marche. D'autres facteurs ont aussi un impact sur la marchabilité : les caractéristiques des piétons (jeune/âgé, homme/femme, en forme/avec limitations), le but de la marche (travail/loisir), le contexte urbain et d'autres aspects environnementaux et culturels (Moura 2017). Dans les travaux réalisés se concentrant sur les facteurs influençant la marchabilité (Bonnell 2002; Ewing et Cervero 2010), il est question de quatre facteurs majeurs regroupant des variables caractérisant l'individu et le ménage, le déplacement en soi, les différents moyens de transport proposés, ainsi que l'environnement urbain.

Les variables associées à ces quatre familles de facteurs sont introduites dans la Figure 2.1 réalisée grâce à l'inventaire réalisé par Lefebvre-Ropars dans le cadre de ses recherches sur les indicateurs de marchabilité (Lefebvre-Ropars et Morency 2017). Ainsi, quand il est question de l'individu, nous devons le prendre dans son ensemble, en considérant son âge, son genre et son statut (occupation principale). Ces facteurs peuvent avoir un impact sur la capacité physique de la

personne et ses choix en termes de mobilité tel que mentionnés par Lefebvre et Morency (Lefebvre-Ropars et Morency 2017). Concernant le ménage, les choix en termes de mode de transport sont fortement influencés par le revenu, la possession d'automobile, la structure du ménage et également la présence d'un chien comme animal de compagnie. De même pour le déplacement en soit qui est un facteur important influençant la marchabilité. Le motif de déplacement, son urgence ou plutôt sa pratique pour le loisir, peuvent influencer le mode choisi ainsi que sa longueur ou la structure de la chaîne de déplacements, le temps consacré au déplacement. L'offre de transport quant à elle est reliée à la présence de structures piétonnes et la présence de mobilier urbain. Finalement l'environnement bâti défini par les variables de voisinage de densité, design, distance d'accès au transport public et destinations accessibles est un facteur important pour la pratique de la marche.

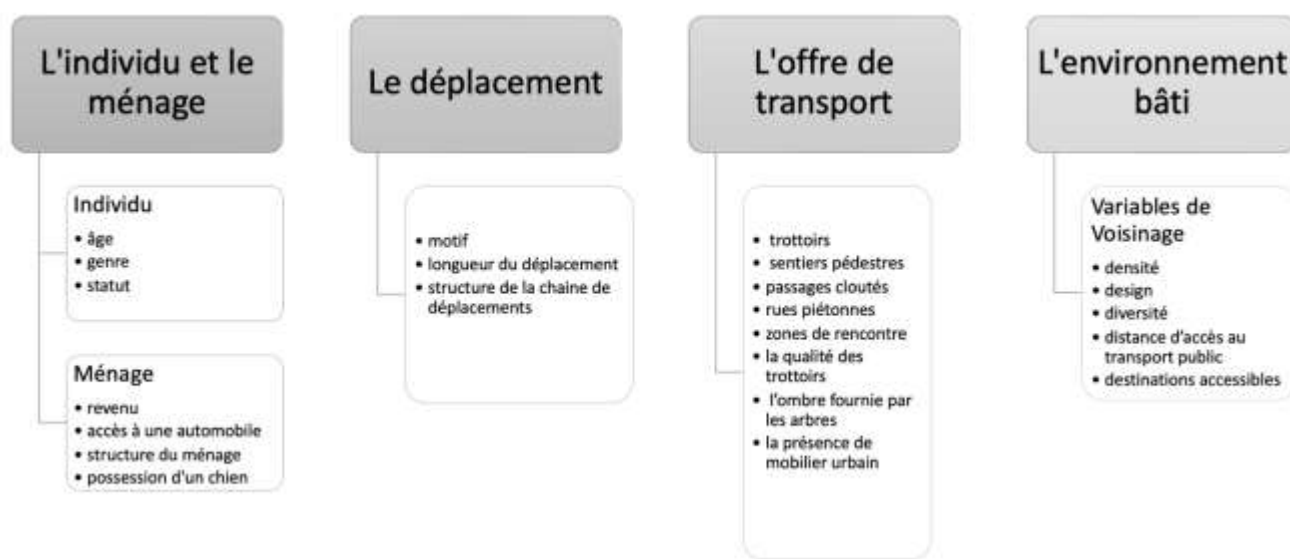


Figure 2.1 Facteurs qui influencent la marchabilité (Lefebvre-Ropars et Morency 2017)

2.1.2 Indicateurs caractérisant la marchabilité

Dans la littérature, nous trouvons plusieurs indicateurs qui ont tenté d'exprimer la marchabilité de diverses façons. Divers indicateurs de marchabilité tels que l'index de marchabilité (Walkability Index -WI) ou l'indice de potentiel piétonnier (IPP) ont été proposés. Nous trouvons également dans la littérature l'indice du potentiel piétonnier (PIE), une mesure basée sur une grille combinant six variables de quartier en un score allant de 20 à 100, développée à Portland en Oregon. Cet indicateur a été utilisé dans l'étude de Singleton parue en 2014 (Singleton et al. 2014) et est utilisé pour expliquer les courts déplacements à pied dans la région de Montréal. C'est dans cette étude

que le PIE a montré un grand potentiel pour représenter l’environnement piétonnier dans les applications de modélisation de marchabilité de l’environnement. Dans leur étude Lefebvre-Ropars et Morency (Lefebvre-Ropars et Morency 2017), comparent plusieurs indicateurs de marchabilité dans un premier temps, où le PIE une mesure composite du potentiel piétonnier, à la région métropolitaine de Montréal, présente une bonne performance. Puis ils analysent la transférabilité du PIE. Les données de l’enquête Origine-Destination de 2013 sont utilisées pour étudier l’impact du PIE sur le comportement de marche pour différents sous-ensembles de trajets courts. Les résultats montrent une corrélation significative entre les résultats du PIE et le choix de la pratique de la marche pour tous les déplacements courts et l’inclusion du PIE améliore la précision du processus de modélisation. Ces résultats suggèrent que le PIE peut être utilisé dans la région du grand Montréal et potentiellement dans d’autres régions métropolitaines pour mieux comprendre l’effet de la forme urbaine sur les déplacements à pied (Lefebvre-Ropars et Morency 2017).

2.2 Le transport en commun

Le transport en commun est une composante essentielle de nos sociétés modernes. Son développement est associé à celui de la ville et il occupe une place centrale dans la vie active de ses habitants (Lunke, Fearnley, et Aarhaug 2021). En effet, dans cette étude les auteurs mentionnent le fait que les différents moyens de transports publics sont cruciaux pour décongestionner les routes, lutter contre la pollution de l’air, offrir une alternative à l’utilisation de l’automobile et dynamiser l’activité économique de la région (Lunke, Fearnley, et Aarhaug 2021). Dans l’étude de Inturri (2021) il ressort que les conditions dans lesquelles se fait le trajet en transport en commun est un important déterminant de son attractivité (Inturri et al. 2021). En effet, dans cette étude il est évoqué qu’augmenter la qualité du service des transports publics permet d’attirer plus de voyageurs, ce qui est l’un des objectifs des entreprises de transport. C’est pour cette raison que les auteurs recommandent un suivi continu des données sur la satisfaction des utilisateurs. Ainsi trouver des corrélations entre l’accessibilité des transports publics, la satisfaction des utilisateurs et l’achalandage des transports en commun pourrait être la clé, selon Inturri (2021),

pour prioriser où et comment les améliorations de la qualité du service des transports en commun doivent être mises en place et mieux gérer les investissements dans ce secteur (Inturri et al. 2021).

2.2.1 Facteurs qui influencent la qualité des transports en commun

Les transports en commun étant une composante aussi importante de la vie urbaine, il semble primordial d'évoquer dans ce qui suit les facteurs déterminants de la qualité de son service. Pour évaluer la qualité du service de transport en commun, nous nous basons essentiellement sur les critères cités dans le Manuel sur la capacité du transport en commun et la qualité de service (Transit Capacity and Quality of Service Manual)(Kittelson & Associates et al. 2013).

2.2.1.1 Destinations possibles

L'accessibilité est un enjeu majeur pour la planification du transport en commun. Elle fait référence à la facilité avec laquelle l'utilisateur arrive aux zones d'activités, un pôle d'emplois ou tout autre générateur de déplacements. On peut mesurer l'accessibilité d'une destination donnée selon la facilité de s'y rendre à pied, à vélo, en transport en commun ou encore en automobile. Les habitants d'un quartier n'auront que de chances d'utiliser les transports en commun pour leurs déplacements si les activités ne sont pas accessibles à pied depuis les stations de transport public. Pour encourager l'usage quotidien des transports actifs en combinaison avec les transports collectifs, les principales destinations d'un groupe d'individus donné (emplois, écoles, institutions publiques, etc.) gagnent à être proches des ménages et il faut offrir un environnement propice à la marche et bien desservi par le transport en commun. Les lieux de destinations favorisant la marche et accessibles à partir de la rue en donnant directement sur le trottoir renforcent la place du transport public dans le paysage urbain (Kittelson & Associates et al. 2013).

2.2.1.2 Distance d'accès au transport en commun

La marche est l'un des modes courants d'accès aux services urbains, y compris les transports en commun, et peut donc largement influencer la dynamique de ces réseaux publics.

Une distance de marche optimale jusqu'aux stations de transport en commun ou aux points d'intérêt est un paramètre d'entrée important pour déterminer la satisfaction des utilisateurs à l'égard du système de transport urbain global et peut même être, en mesure d'émettre des hypothèses sur sa pénibilité. D'autres études se sont penchées sur la distance de marche pour accéder à une station de transport en commun (van Soest, Tight, et Rogers 2020). Dans cette étude et dans le contexte de

ville européenne une distance de marche uniforme jusqu'à une station (temps d'accès de 5 min ou 477 mètres jusqu'à un bus ou un tram) peut être supposée pour mesurer l'accessibilité ; cependant, ce seuil peut varier en fonction de la structure et forme urbaine de la ville (Sarker, Mailer, et Sikder 2019). Les auteurs de cette étude mentionnent également que les activités physiques (c.-à-d. la marche ou le vélo jusqu'aux gares) associées aux transports en commun aident à réduire l'indice de masse corporelle et les usagers des transports en commun sont moins susceptibles d'être obèses. En fait, l'amélioration des installations de marche vers les stations de transport en commun peut non seulement contribuer à réduire la circulation (peut même augmenter la fréquentation du transport en commun), mais peut également faciliter un mode de vie urbaine qui est saine. Cependant, la marche est souvent négligée en tant que mode de transport individuel mais aussi comme mode d'accès au transport en commun. Sarker, Mailer, et Sikder (2019) soutiennent que souvent, les preuves empiriques ne sont pas claires ou il n'y a pas de consensus concernant les hypothèses de planification sur la distance de marche vers les stations. Ainsi, il existe une demande d'explorer si les habitudes de marche des usagers du transport en commun confirment le seuil supposé lors de la planification, y compris leur volonté de marcher pour accéder aux installations de transport public (Sarker, Mailer, et Sikder 2019).

Ceci a bien été indiqué également dans la revue de littérature de (van Soest, Tight, et Rogers 2019); ces auteurs proposent une synthèse des résultats de 41 études explorant les distances d'accès à différents modes de transport. La Figure 2.2est inspirée de cette revue de littérature et témoigne de

l'intention de marche des passagers en mètres. Ainsi, les gens acceptent de marcher le plus pour prendre le métro ou encore le train plutôt que le bus ou le SLR (service léger sur rails).

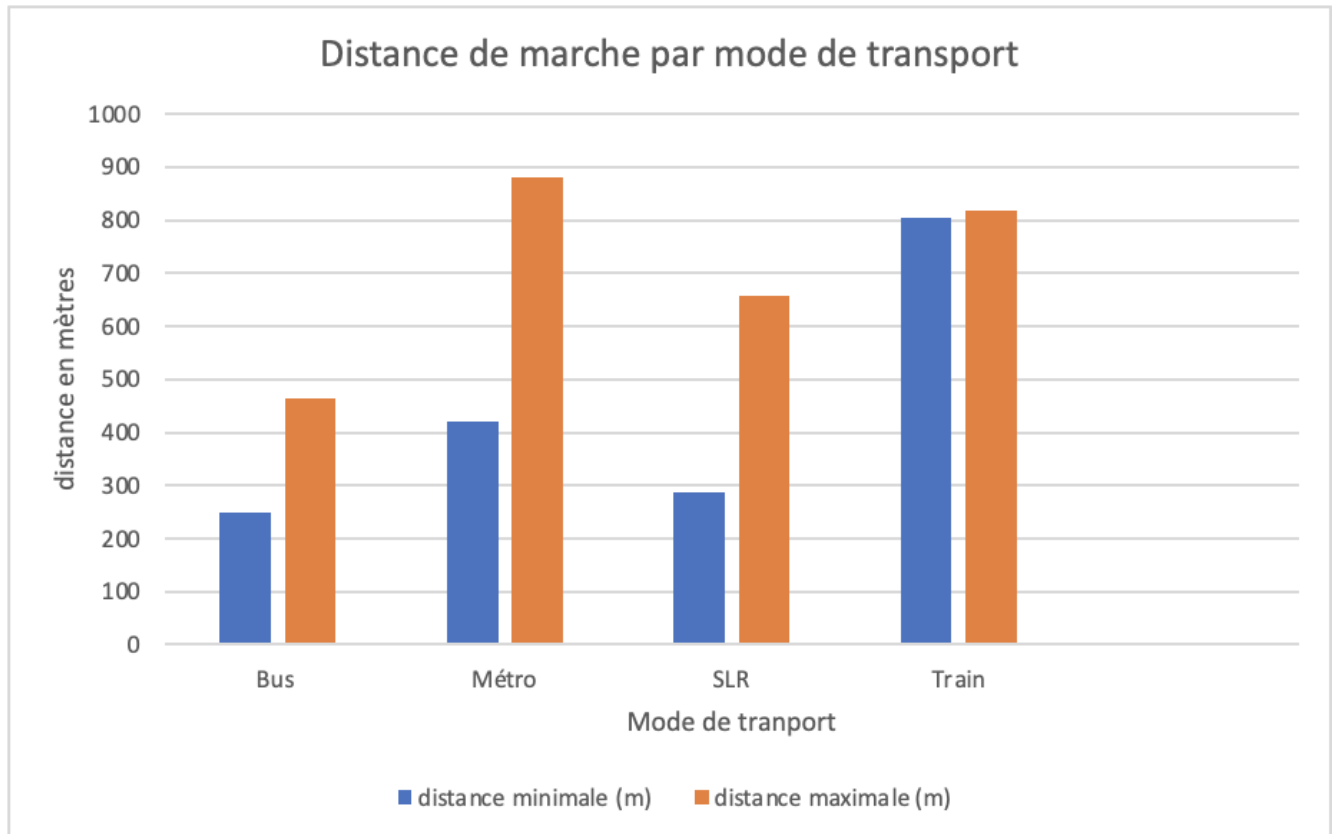


Figure 2.2 Distance de marche par mode de transport (selon les données de (van Soest, Tight, et Rogers 2020))

2.2.1.3 Temps d'accès au transport en commun

Les répondants ayant participé à l'enquête par smartphone de Sarker, Mailer, et Sikder (Sarker, Mailer, et Sikder 2019) ont été interrogés sur leur temps de marche préféré pour chaque mode. Parmi 500 répondants, la plupart des répondants ont répondu à la question. Près de la moitié des personnes interrogées 40 % ont déclaré qu'elles étaient prêtes à marcher entre 5 et 10 minutes pour un bus et moins de 10 % des personnes ont déclaré qu'elles marcheraient 15 minutes pour prendre le bus. Généralement, les répondants des zones suburbaines préfèrent en moyenne marcher plus longtemps pour un bus. En dehors de cela, il y avait des variations dans le temps de marche

préféré à presque toutes les stations. Certains répondants aimeraient marcher pendant seulement 1 à 2 minutes pour un bus et d'autres marcheraient pendant 15 à 20 minutes.

Ceci a également été exploré dans une autre étude par van Soest, Tight, et Rogers (van Soest, Tight, et Rogers 2020). Les auteurs explorent dans leur revue de littérature les 41 études antérieures recensant les temps d'accessibilité aux différents transports en commun. La figure 2.3 se base sur cette étude de littérature pour mettre en évidence que les gens ne sont pas prêts à consacrer les mêmes temps de marche pour accéder aux différents modes de transport en commun de façon égale. En effet, les gens sont prêts à marcher beaucoup plus pour utiliser le train puis le métro et en dernière position le bus.

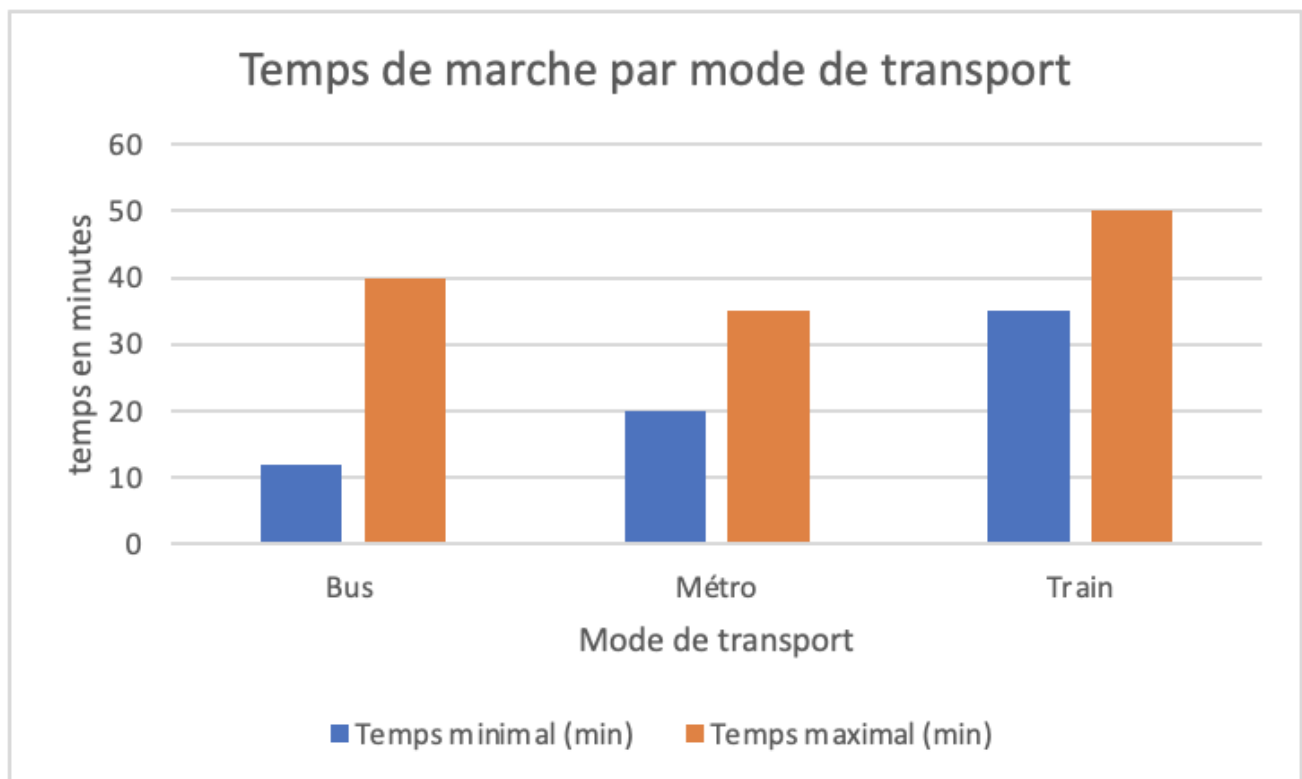


Figure 2.3 Temps d'accès à pied à différents modes de transport en commun (selon les données de (van Soest, Tight, et Rogers 2020))

2.2.1.4 Environnement pédestre

Lorsqu'un arrêt de transport en commun est situé à une distance de marche qualifiée de raisonnable à l'origine et la destination, les constructions piétonnes peuvent ne pas être favorables au transport

en commun. Kittelson mentionne que dans plusieurs études, la relation entre la forme urbaine et la marche ont montré que la forme du trottoir, la densité des intersections et la présence de commerces de détail sont corrélées à des niveaux plus élevés de marche jusqu'au transport en commun, tandis que la congestion routière et les vitesses plus élevées des véhicules et de grands stationnements autour des gares sont associés à des niveaux de marche plus faibles (Kittelson & Associates et al. 2013). Une autre étude (Putranto et Khuana 2022), s'est penché sur le sujet et a révélé que la sécurité des piétons est également un facteur important. Des rues larges ou avec beaucoup de congestion routière sans sécurité et passage piéton découragent les déplacements à pied. De plus, il est important de mentionner que les traversées de rue posent des difficultés particulières aux opérateurs de transport en commun : une artère généralement offre de meilleures vitesses de transport en commun, mais les passagers potentiels utilisant des arrêts le long de la rue doivent traverser la rue à un moment donné au cours de leur voyage aller-retour et peuvent ne pas être en mesure d'accéder facilement aux arrêts de bus entre les zones lors de leurs différents déplacements. Dans son étude, Kittelson et al. (2013), ont révélé que le facteur d'accès le plus important pour les piétons après la distance était la sécurité. Environ la moitié des répondants d'une enquête menée sur l'accessibilité piétonne, ont qualifié de « très important » la présence de dispositifs de circulation et la conduite à des vitesses sûres, ce qui était un taux plus élevé que d'avoir des trottoirs en bon état ou autres considérations esthétiques. Concernant la sécurité des personnes lors des trajets d'accès aux stations de métro léger, Kittelson et al. (2013) mentionnent que des niveaux de criminalité plus élevés à la gare réduisaient la probabilité de se rendre à pied au transport en commun en comparaison avec d'autres modes d'accès (Kittelson & Associates et al. 2013).

2.2.1.5 Disponibilité temporelle

La fréquence à laquelle le service de transport en commun est disponible et le moment où il est fourni pendant la journée sont des facteurs décisifs dans la décision d'utiliser le transport en commun. En effet cela est mentionné dans l'étude menée par Soza-Parra, Raveau, et Muñoz (2022). Les voyageurs acceptent de faire des trajets plus longs et les bus arrivent à capter plus d'utilisateurs (Soza-Parra, Raveau, et Muñoz 2022). Dans le même contexte, Kittelson et al (2013) mentionnent que plus le service est fréquent, plus cela raccourcit le temps d'attente. De plus, quand un bus ou un métro ou un train est manqué ou que lorsque l'horaire n'est pas connu, la flexibilité devient un critère majeur pour les voyageurs potentiels dans le choix des temps de trajet. Le nombre d'heures pendant la journée où le service est disponible, est également très important quand on parle de

flexibilité: si le service n'est pas fourni aux moments où l'on souhaite voyager, le transport en commun ne sera pas une option pour ce voyage. Ces deux facteurs combinés déterminent le temps de disponibilité du service de transport en commun (Kittelson & Associates et al. 2013).

2.2.1.6 Fiabilité

Dans le domaine des transports, le terme de fiabilité recouvre un large ensemble de définitions. Dans les travaux de Diab et al. (2015) sur la fiabilité des services de transport en commun par autobus et stratégies d'amélioration en 2015 (Diab, Badami, et El-Geneidy 2015), on trouve plusieurs définitions de la notion de fiabilité au cours de l'histoire. En effet, ils mentionnent qu'elle peut être définie comme la disponibilité et la stabilité des attributs du service de transport en commun à certains endroits, ce qui a une incidence sur la prise de décision des personnes et des exploitants. Ou encore en tant que « phénomène multidimensionnel dans la mesure où il n'y a pas de critère unique qui puisse répondre de manière adéquate à la qualité du service » comme dans les travaux de Kimpel et al. (Kimpel, Thomas Jeffrey, and Kenneth Dueker. 2001). Plusieurs critères ont été identifiés par les recherches et vont de la minimisation des retards d'horaires, des retards de temps de parcours et des retards dans le parcours au respect des normes de performance de ponctualité (Diab, Badami, et El-Geneidy 2015).

Ainsi, la fiabilité est une notion relative mais qui a un lien avec la durée totale du trajet d'un passager : si des personnes pensent qu'un véhicule de transport en commun est susceptible d'arriver plus tôt, elles peuvent se rendre à la station plus tôt qu'il ne le faudrait pour s'assurer de ne pas manquer le bus ou le train. De même, si les passagers ne sont pas certains d'arriver à l'heure à destination, ils peuvent choisir un départ plus tôt afin de s'assurer qu'ils arrivent à l'heure, quitte à arriver souvent beaucoup plus tôt que prévu.

La fiabilité englobe à la fois la ponctualité et la régularité des parcours entre véhicules de transport en commun successifs. Des fréquences des passages irrégulières se traduisent par un service de desserte en inadéquation avec les besoins des usagers. En effet, un véhicule de transport en commun retardé doit donc ramasser non seulement les passagers réguliers mais aussi les passagers arrivés en avance pour le véhicule suivant. De ce fait, le véhicule est de plus en plus en retard sur l'horaire et davantage de passagers doivent se tenir debout, rendant le trajet encore plus pénible. Il en résulte que le véhicule de desserte suivant a tendance à être en avance sur le calendrier. Avec les bus, ce phénomène de « groupage » est irritant à la fois pour les passagers des bus embarqués

dans le véhicule et pour les passagers attendant d'autres bus dans les stations et qui voient passer plusieurs bus pour un autre itinéraire en attendant leur propre bus, comme il est expliqué dans le manuel 'Transit Capacity and Quality of Service' (Kittelton & Associates et al., 2013).

Toujours grâce aux travaux de Kittelson et al. (2013) nous trouvons que la fiabilité du service dépend de plusieurs facteurs :

- Les conditions de la circulation routière, y compris les embouteillages, retards aux feux de circulation, manœuvres de stationnement, incidents, etc.
- La construction de routes et l'entretien des voies, qui créent des retards et peuvent forcer une déviation de la route normale.
- La qualité du véhicule et de l'entretien, qui influencent la probabilité qu'un véhicule tombe en panne lorsqu'en service.
- La disponibilité des véhicules et du personnel, indiquant s'il y a suffisamment de véhicules disponibles pour opérer les trajets programmés et si un nombre suffisant d'opérateurs sont disponibles un jour donné pour conduire ces véhicules.
- Traitements préférentiels pour le transport en commun, tels que des voies réservées aux autobus ou des feux de préemption qui ne fonctionnent que lorsqu'un bus est en retard, qui permettent d'atténuer les effets de la congestion sur les opérations de transit.
- La faisabilité de l'horaire est évaluée en fonction de plusieurs critères, notamment la capacité de l'itinéraire à être exploité dans des conditions de circulation normales. Cela inclut la considération du nombre de passagers, la présence de temps d'arrêt suffisants et la mise en place de marges de temps appropriées. L'objectif est de permettre aux trajets suivants de partir à l'heure, même si le voyage précédent a connu un retard à la fin du parcours.
- Les fusions de lignes sur les systèmes ferroviaires peuvent causer des retards en cascade pour les véhicules suivants si l'un d'entre eux arrive en retard à un point de fusion. Cela entraîne un manque de fiabilité dans le système (Kittelton & Associates et al. 2013).

2.3 La marche, un moyen d'accès au transport en commun

L'Inde et la Chine sont des exemples parfaits de villes densément peuplées où la marche reprend le dessus dans toutes les mises en œuvre pour améliorer l'accessibilité aux transports en commun. Dans le passé, les responsables gouvernementaux, les planificateurs et les chercheurs n'ont accordé que peu d'attention à l'amélioration de l'accessibilité des stations de métro pour les piétons et cela

s'en ressent. La mise en œuvre de plans pour améliorer le service de transport en commun passe donc par la révision de la marchabilité vers les stations. Le potentiel piétonnier autour des stations de métro a été largement étudié par Bivina (2019) à de nombreuses fins, telles que la planification d'un nouveau service de transport en commun ou l'amélioration de l'accessibilité aux stations. Le métro peut devenir l'option de transport privilégiée si l'accessibilité à pied des stations est améliorée et combinée efficacement à d'autres moyens de transport bien implantés; il pourrait remplacer les véhicules privés (Bivina 2019).

2.3.1 L'accessibilité piétonne au transport en commun

L'accessibilité, est une notion importante dans le domaine de la recherche en transport (Wu et Zhou 2022). Selon Wu et Zhou (2022), la définition de l'accessibilité a largement évolué comme nous l'expliquent les auteurs dans leurs travaux. Ainsi Hansen (1959) a proposé pour la première fois le concept d'accessibilité en 1959 et l'a défini comme « un potentiel d'opportunités d'interaction » (Hansen 1959). Niemeier en 1997, a défini l'accessibilité comme la facilité avec laquelle les destinations souhaitées peuvent être atteintes à partir d'un emplacement d'origine en utilisant un système de transport particulier (Niemeier 1997). Dans le domaine du système de métro, l'accessibilité est principalement expliquée par rapport aux stations de métro, représentant la capacité des personnes à atteindre des destinations en métro. Moniruzzaman et Páez (2012) ont soutenu que la facilité d'atteindre des destinations attrayantes par le système de métro et la facilité d'entrer dans le système sont deux facteurs importants qui doivent être pris en compte pour analyser l'accessibilité au métro (Moniruzzaman et Páez 2012). Par conséquent, l'accessibilité au métro peut être définie comme l'intégration de l'accessibilité grâce au métro et de l'accessibilité vers le métro en soi.

2.3.1.1 Distance : facteur crucial d'attractivité

L'aspect le plus important de la qualité de l'usage du transport en commun est la distance d'accès, en particulier pour l'accès à pied, et de nombreux travaux ont été réalisés sur ce sujet. Bien que la distance d'accès varie considérablement selon les modes et les différents groupes de passagers, les chercheurs ont tendance à attribuer une valeur fixe à un mode particulier. Par exemple, les distances d'accès à pied pour les transports en bus et en train sont généralement considérées comme étant respectivement de 400 m et 800 m, même si certains auteurs ont démontré que la distance de

marche jusqu'à un service de transport en commun par bus est de 524 m et celui d'un train de banlieue est de 1 259 m (Wu et Zhou 2022).

2.3.1.2 Marchabilité vers une station de bus

Le bus est non seulement un moyen de transport de proximité, mais il assure également la liaison entre les quartiers et les stations de transport rapide tels que les gares et aéroports. Le bus devient ainsi central dans le bon fonctionnement des transports rapides et son rôle est décisif pour accentuer l'usage du transport en commun. Il est donc primordial d'en garantir une bonne accessibilité piétonne de n'importe quel point de départ (Ramos-Santiago 2022).

2.3.1.3 Marchabilité vers une station de métro

L'amélioration de la qualité de l'environnement autour des gares est l'une des mesures les plus importantes pour encourager et attirer plus de résidents à utiliser le transport ferroviaire. Les résidents du bassin d'attraction des gares sont 5 à 7 fois plus susceptibles de voyager en train ou en métro que ceux qui vivent au-delà de cette zone. Avant de construire un environnement propice aux piétons autour, il est très important de savoir jusqu'où les usagers sont prêts à marcher pour se rendre à une station ou gare ferroviaire, car la distance de marche des piétons détermine en grande partie la taille de la zone d'attractivité de la station, et donc les incitations potentielles (Niemeier, 1997).

2.3.2 Délimitation du bassin d'attraction vers le transport en commun

Une fois les distances d'accès déterminées, la zone d'attractivité d'une station peut être délimitée. Il existe trois approches généralement utilisées pour déterminer la zone de chalandise d'une station de transport en commun : la simple zone tampon avec la distance à vol d'oiseau, la combinaison du polygone de Thiessen et de la zone tampon, et la méthode basée sur la distance réseau. La zone tampon à vol d'oiseau, même lorsqu'elle est combinée avec le polygone de Thiessen, surestime la zone de chalandise car tout l'espace de la zone tampon n'est pas praticable ou accessible par d'autres modes. Ainsi, la méthode basée sur la distance du réseau est appliquée, en supposant que les passagers marchent, font du vélo ou prennent un bus pour se rendre à la gare par le chemin le plus court sur le réseau routier. Par conséquent, la distance d'accès n'est pas la distance à vol d'oiseau mais la longueur réelle du trajet sur le réseau depuis la gare. Cependant, la méthode basée sur la distance réseau est non seulement trop chronophage, mais sous-estime également souvent la

zone de desserte, car elle néglige les raccourcis piétons, en particulier les petits chemins dans les zones isolées telles que les parcs lorsque le réseau piéton n'est pas bien codé et que les données sont de mauvaise qualité. De plus, il peut parfois surestimer le résultat en n'excluant pas les routes réservées aux voitures. Par conséquent, pour obtenir une meilleure délimitation, une méthode modifiée basée sur la distance réseau a été établie en tenant compte du temps de marche. De plus, pour répondre aux zones de service irréalistes obtenues par la méthode basée sur la distance réseau dans les zones à faible densité routière, les zones hors réseau immédiatement adjacentes au réseau routier ont été affectées au réseau routier pour la détermination de la distance d'accès (Wang 2016).

2.4 Les piétons

L'étude du piéton revêt une importance capitale dans notre recherche en tant qu'élément central de la prévision des déplacements urbains, en raison de son rôle en tant que décideur autonome. De surcroît, il n'existe pas un seul type de piéton. Il faut distinguer plusieurs types de marcheurs dans nos rues. Par simple observation nous pouvons distinguer le voyageur typique; il a une vitesse de marche raisonnable ou assez importante liée aux circonstances de son déplacement, il n'a pas de problème moteur ou psychique, il arrive à suivre la signalisation sans problème, à lire, entendre et voir les signalisations piétonnes et il a tous les réflexes nécessaires pour interagir avec son environnement. Puis, il existe le piéton vulnérable qui a des difficultés pour marcher normalement, il peut être atteint d'un handicap mental ou physique, se déplace à une vitesse relativement faible et l'absence de structures piétonnes peut paralyser son voyage. Ainsi les piétons considérés comme vulnérables, peuvent être sujets à plus d'accidents que la moyenne des marcheurs. En effet, on peut penser qu'ils ont une pénibilité de déplacement plus grande affectant leur perception du temps de trajet, de la distance de marche et de l'attractivité de l'environnement bâti.

Selon plusieurs ressources, les besoins de ces types de piétons peuvent-être également classés (Service public fédéral mobilité et transports 2014; Grenier 2019; Ville de Montréal 2017), (Figure 2.4). On retrouve ainsi :

- Des personnes actives : généralement très mobiles dont les déplacements sont courts et fréquents et vont au-delà des itinéraires proposés.
- Des personnes à la recherche de praticité : qui se déplacent lentement ou pas mais sont à la recherche d'atteinte de leur destination au plus vite, ils sont réticents quant à la prise de détours et acceptent mal les temps d'attentes aux traversées.

- Des personnes à la recherche de sécurité et l'agrément des itinéraires : les trajets jugés dangereux, sujets à de probables agressions ou insécurité routière et les itinéraires mal entretenus sont rédhibitoires.

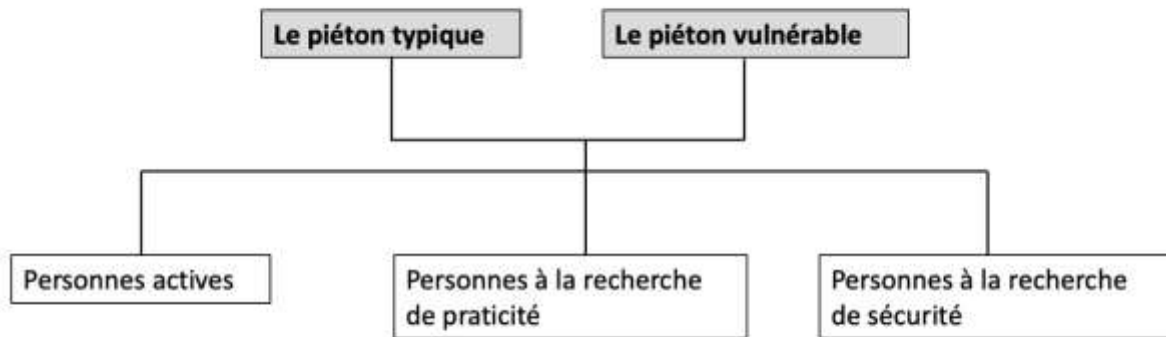


Figure 2.4 Les types de piétons et leurs besoins

Malgré ce classement, il faut quand même tenir compte du fait que la marche n'est pas toujours une tâche agréable même pour des personnes en bon état physique. Tout effort physique intense pour un trajet donné peut être répulsif et ce, quel que soit le type ou le caractère du marcheur (Raulin et al. 2020).

2.4.1 Les personnes vulnérables et la marche

Dans l'optique d'encourager les personnes à la pratique de la marche, il est important de considérer l'égalité de l'accès aux structures piétonnes. En effet, dans un souci d'inclusion sociale nous devons garantir la même accessibilité à la pratique de la marche à toutes les catégories des personnes. Selon le recensement de la ville de Montréal, le nombre de personnes âgées de 65 ans et plus ne cesse d'augmenter. Dans la région montréalaise, ce groupe représentait déjà 17,5% de la population en 2021, et il est prévu qu'il dépasse les 22% d'ici 2036. Cette évolution démographique attendue, souligne l'importance croissante de prendre en compte les besoins en mobilité de la population la plus vulnérable et d'établir des objectifs d'amélioration du service spécifiques liés au vieillissement de la population dans la planification urbaine et les politiques publiques (Raulin et al. 2020; Statistique Canada 2023).

Dans son étude sur la mobilité des personnes âgées, Dumas (Dumas 2012) ,évoque la relation existante entre le taux de fréquentation des transports par les personnes âgées et la pénibilité que de leur accès. La limitation majeure traitée dans ses travaux est la distance de marche entre le lieu de départ ou de la destination et l'arrêt de transport en commun. Dans cette étude nous trouvons également que « *Selon les conclusions de l'étude du ministère britannique des transports, il faut travailler sur les distances de marche, mais aussi sur le confort d'attente aux arrêts souvent sans places assises, le manque d'attention du conducteur, la difficulté de trouver une place assise dans le véhicule, l'insécurité ressentie sur le trajet d'accès au bus, à l'arrêt du bus et dans le véhicule* » (Dumas 2012).

Selon l'enquête Mobilate mentionnée dans cette étude, il a été observé que parmi les personnes âgées de 75 ans et plus, 38% d'entre elles trouvent que le bus a un démarrage brusque. Parmi celles de 65 ans et plus, 46% trouvent que les portes des bus ou des tramways se referment rapidement, 43 % expriment avoir de la difficulté à lire les horaires de passage des transports en commun et les itinéraires, 41% ont du mal à accéder et à sortir du véhicule de transport, 38 % expriment une frustration liée à la rapidité du changement des feux de la circulation, considérant qu'ils changent trop rapidement au rouge et peuvent devenir une grande source d'anxiété, 32 % pensent que la fréquence de passage du transport collectif est faible et 27 % voient qu'il existe un manque d'abribus et d'aires d'attente (Dumas 2012). Plus globalement cette étude témoigne que l'environnement urbain n'est pas assez pensé pour faciliter la marche. De plus les espaces publics sont souvent encombrés, ce qui non seulement entrave la mobilité, mais est également dangereux pour les personnes âgées. L'impact de ce mauvais aménagement urbain entraine des accidents sur la voie publique surtout chez la population la plus vulnérable. Selon le bilan de la sécurité routière de l'année 2008, cité par Dumas (2012) en France, il est constaté que les personnes âgées de plus de 65 ans représentaient 46,7 % des piétons décédés et 30,8 % des cyclistes décédés (Raulin et al. 2020; Dumas 2012).

2.4.2 Psychologie du piéton et sa volonté de marcher

Comme cité par les chercheurs de l'université du Minnesota dans (Tomhave 2022) en se basant sur l'étude de (Sahakian B.J. et Labuzetta J.N. 2013), chaque jour, un cerveau adulte normal et dans la moyenne réalise environ 35 000 choix conscients, soit un peu plus d'une décision toutes les 3 s.

Ainsi, ils insistent sur le fait que parmi ces nombreuses décisions que nous faisons à chaque instant, beaucoup sont consacrés à la mobilité. Par exemple, une personne doit décider à quelle heure elle doit commencer son voyage à destination du travail, doit-elle conduire ou utiliser les transports en commun, lequel des itinéraires disponibles serait le plus rapide et le mieux adapté à ses besoins, préfère-t-elle un itinéraire plus rapide ou plus agréable à marcher, ainsi que de nombreux autres facteurs. Ainsi dans, le cadre de l'étude du transport en commun associé à la marche, les utilisateurs doivent d'abord choisir à quel arrêt commencer leur voyage et sur quel itinéraire (parmi les différents itinéraires disponibles à l'arrêt pour un mode de transport étudié) ils embarqueront initialement. Pour comprendre l'établissement de ces choix à l'aide des enquêtes, sondages ou analyses statistiques, des choix émis par les voyageurs. Varotto et al. (2014) précisent qu'il existe plusieurs erreurs possibles dans les enquêtes car les voyageurs surestiment ou sous-estiment souvent le temps de parcours réel de leur voyage. Leurs choix sont influencés par des facteurs environnementaux ou même par leur propre humeur. De telles erreurs de perception influenceront alors leurs décisions de voyage (Varotto et al. 2014) et peuvent biaiser les résultats si les modèles n'en tiennent pas compte.

Le piéton et le stress

Dans l'étude de Barrero et Rodriguez-Valencia publiée en 2022 sur le niveau de stress des piétons dans les paysages urbains, les auteurs expliquent que les réactions émotionnelles du piéton sont créés par plusieurs facteurs et génèrent du stress (Barrero et Rodriguez-Valencia 2022). Ainsi les parcours à faible stress peuvent devenir attrayants pour la pratique du transport actif, tandis que des niveaux de stress plus élevés peuvent dissuader les gens à choisir un mode de transport plutôt qu'un autre comme il est mentionnée par Murphy et Owen (Murphy et Owen 2019). D'autres études sur les transports incluant le stress ont démontré qu'il y a une corrélation entre un faible stress lié aux déplacements et une attitude positive envers le mode de transport utilisé (Gatersleben et Haddad 2010), ce qui agit sur les comportements futurs et les choix modaux (van Wee, De Vos, et Maat 2019). Ainsi, le niveau de stress qu'une infrastructure provoque chez ses utilisateurs est

étroitement lié aux décisions de déplacement, en particulier lorsque les utilisateurs sont en contact direct avec l'environnement bâti, comme c'est le cas des piétons (Barrero et Rodriguez-Valencia 2022).

Dans la littérature, nous trouvons également que les niveaux de stress les plus importants pour les piétons sont provoqués par une forte densité de piétons. Cela s'explique par l'éventualité élevée d'invasion de l'espace personnel des piétons entre eux dans les environnements trop fréquentés (Ortiz-Ramirez, Vallejo-Borda, et Rodriguez-Valencia 2021). De surcroît, le bruit et la pollution sont évoqués dans une multitude d'études comme étant des facteurs positivement associés au stress (Evans et Stecker 2004; Gatersleben et Haddad 2010). Il est également important de mentionner les variables liées à la perception du trajet : ce sont des variables latentes qui incluent les aspects subjectifs des utilisateurs et les rapportant à des expériences personnelles passées dans certains cas. La variable latente « inconfort » a été identifiée à partir de différentes perceptions des piétons, y compris le stress perçu. Elle influence les caractéristiques de sécurité, de l'environnement urbain et la qualité du trottoir perçues par les piétons pour finalement générer un effet indirect sur la qualité de service perçue par les piétons lorsqu'ils marchent sur les trottoirs urbains (Vallejo-Borda, Cantillo, et Rodriguez-Valencia 2020). D'autres travaux de recherche de ces mêmes chercheurs ont identifié des caractéristiques objectivement mesurées de l'environnement bâti tel que la largeur

et le partage du trottoir avec des terrasses par exemple,, peuvent influencer indirectement une variable latente (Vallejo-Borda et al. 2020).

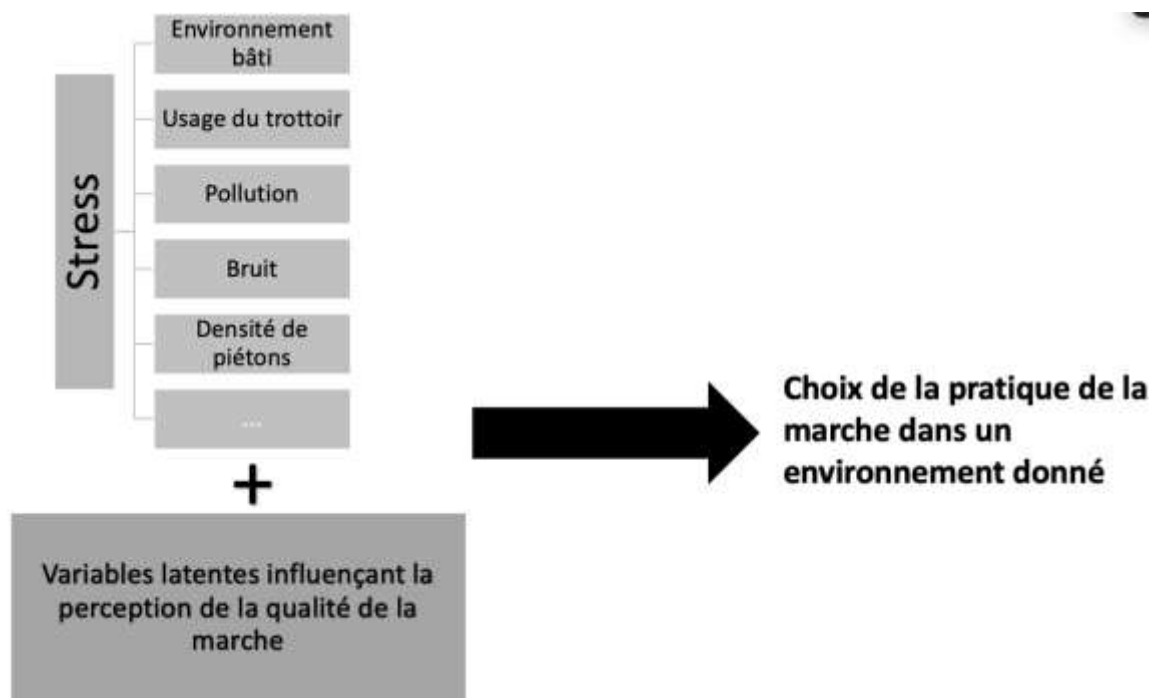


Figure 2.5 Facteurs influençant la pratique de la marche

2.5 Incitation à la marche

Dans l'étude « Mobilité des personnes âgées », un facteur prépondérant dans l'amélioration des conditions de marche des personnes âgées est l'adaptation du temps de traversée au rythme de marche des personnes à mobilité réduite (Dumas 2012). Cette affirmation est également confirmée par les observations de cette étude. Ainsi Dumas donne en exemple le fait que les personnes âgées doivent souvent se précipiter sur le boulevard Atwater pour pouvoir traverser dans les temps. Outre des critères tels que la largeur de la chaussée (typologie des tronçons) et le nombre des trottoirs (typologie des passages pour piétons), la durée des signaux piétons peut également être prise en compte dans l'étude de la marchabilité ainsi que la vitesse de marche moyenne pour les personnes âgées. Ce critère permet aux personnes âgées de pallier le manque de temps dont elles disposent souvent pour traverser la route, qui est lié à des décomptes automatiques ou de boutons d'appel (Dumas 2012). La planification et l'aménagement des infrastructures soutenant la marche sont

essentielles pour promouvoir une vie publique saine, créer des quartiers durables, améliorer la vie sociale et contribuer à la vitalité économique.

2.5.1 Espace propice à la marche

Il est mentionné dans la charte de la ville de Montréal que le premier rôle du trottoir est de créer une séparation entre la circulation piétonne et celle des automobiles. Sa largeur est très importante pour qualifier sa qualité. Il est convenu que le trottoir de base mesure 1,7 mètres de largeur, assurant la capacité de déplacement de 2 personnes côte à côte et la capacité d'accès des camions de déneigement en hiver. Sur les voies piétonnes les plus fréquentées cette largeur est de 3,5 mètres à plus de 6,0 mètres. Assurer des voies encore plus larges est la meilleure solution pour avoir des conditions de marche plus adéquates aux besoins des piétons, considérant qu'il y a des implantations d'éclairage public, des arbres et des poubelles qui sont des obstacles à la circulation piétonne et gênent la circulation fluide dans les deux voies.

2.5.2 Prime financière

Dans le « Guide des bonnes pratiques en matière de mobilité durable pour les déplacements domicile-travail » (2014), une nouvelle pratique a été testée à Bruxelles. Elle consiste à donner une prime financière aux personnes les moins polluantes à savoir les piétons et les usagers des transports en commun. Cette prime peut être traduite par un versement monétaire direct, un abaissement de taxes ou même des primes environnementales annuelles. Le but ici serait de montrer au piéton que même à son échelle, ses habitudes sont appréciées et que ses efforts sont remarqués et encouragés. Et ceci peut continuer au fil des années jusqu'à ce que son comportement

devienne la norme. En effet, il ne faudrait pas arrêter à la moitié du parcours et plutôt adopter cette prime comme une stratégie de long terme (Service public fédéral Mobilité et Transports 2014).

2.5.3 Améliorer les conditions de marche vers les arrêts de transport en commun

Cela passe par une amélioration de plusieurs infrastructures piétonnes capables de changer l'expérience de la marche à l'échelle de l'individu.

2.5.3.1 L'orientation piétonne

Cette pratique vise à accompagner le marcheur pendant son voyage, le guider, lui permettre de marcher paisiblement en se sentant en sécurité en se fiant aux panneaux. L'orientation piétonne est mise en avant dans la stratégie du gouvernement (Les services de l'État dans le Var 2023). Ainsi, il est recommandé de mettre le piéton au cœur du déplacement et faire de la marche le mode de déplacement prioritaire pour atteindre une destination. Cela passe par : favoriser les panneaux piétons, mettre des cartes, des illustrations de parcours et des itinéraires, etc.

2.5.3.2 Signalisation piétonne

Il est recommandé de mettre en place des feux piétons à tous les carrefours nécessaires, d'installer une signalisation sonore pour les personnes malvoyantes, d'aménager des saillies piétonnes pour accroître la visibilité des piétons, de favoriser les avancées de trottoirs et d'améliorer la visibilité des passages piétons en refaisant régulièrement la peinture des traversées réservées aux piétons. Une étude (Beguni et al. 2022; Service public fédéral mobilité et transports 2014) a proposé l'expérimentation d'un nouveau système de traversée piétonne. Ce dernier est conçu pour aider les piétons à emprunter un trottoir en toute sécurité. Le mécanisme de fonctionnement proposé se compose d'une unité de détection et de localisation des piétons qui confirme la présence de piétons sur le trottoir, d'un composant de communication par lumière visible qui transmet cette information aux véhicules qui circulent et d'une interface utilisateur graphique qui permet au conducteur de recevoir des informations sur la sécurité routière. Beguni et al. (2022), montre qu'une signalisation qui ne sépare pas le piéton du conducteur mais qui les met plutôt en relation permet de protéger les piétons et éviter les accidents. La signalisation piétonne doit évoluer pour correspondre aux besoins des piétons, les protéger, et garantir une bonne expérience de marche.

2.5.3.3 Réseau extérieur

Une approche centrée sur le voyage piéton et les distances parcourues consiste à élaborer un réseau de trottoirs plus simple et direct, en minimisant les détours, en nivelant les pentes et en réduisant les intersections superflues.

2.5.3.4 Réseau souterrain

Dans le but de promouvoir la marche tout au long de l'année, en évitant les embouteillages et les autoroutes, il peut être envisagé de développer un réseau pédestre souterrain. Ce réseau peut offrir aux piétons une alternative pratique et sécurisée, leur permettant de se déplacer sans contraintes liées aux intempéries et en évitant les désagréments de la circulation routière. Dans l'étude de Cui et al. (2013), nous trouvons qu'il existe plusieurs raisons qui pourraient soutenir l'importance du développement souterrain de la ville et par conséquent ses infrastructures piétonnes (Cui et al. 2013). En effet, dans cet article, il est évoqué que le réseau souterrain est susceptible d'améliorer la vie urbaine puisqu'il dynamise les fonctions urbaines telles que le transport, le recours au métro, le développement de tunnels automobiles et le stationnement. Il a également une grande influence sur le développement des services publics, y compris le chauffage, l'approvisionnement en eau et l'assainissement. Ainsi un réseau souterrain plus développé participe à l'incitation à la marche, le magasinage et la pratique de loisirs malgré les conditions météorologiques et sans les obstacles et freins à la marche du réseau extérieur. La marchabilité en réseau souterrain peut donc fournir une protection contre les mauvaises conditions météorologiques, améliorer l'accessibilité, la sécurité, réduire la circulation automobile, améliorer l'utilisation des transports en commun, stimuler le développement économique et maintenir la vitalité des centres-villes. De ce fait le développement du réseau souterrain a un grand potentiel pour contribuer positivement au développement urbain (Cui et al. 2013).

2.5.3.5 Arborisation

L'aménagement d'un environnement de marche verdoyant, avec des zones ombragées, est positivement perçu par les piétons. Dans le passé, les arbres étaient considérés comme dangereux en bordure de route. De ce fait, ils étaient souvent éliminés pour assurer la sécurité routière et pour créer des espaces ouverts. Néanmoins, il est désormais largement reconnu que les arbres de rue sont essentiels dans l'aménagement urbain. En outre, ils sont considérés comme des éléments de modération de la circulation. Par conséquent, la présence d'arbres de rue contribue à améliorer

l'environnement de marche, offrir une expérience plus agréable et apporter des avantages tangibles aux piétons. Différentes expériences ont permis d'étudier l'impact des arbres de rue sur la perception des conducteurs, leurs comportements de conduite et la sécurité routière en général (Zhu, Sze, et Newnam 2022).

2.5.3.6 *Présence de lieux de pause et repos*

L'installation de trottoirs et d'aires de repos le long des itinéraires domicile-travail et des parcours de marche récréative favorise la pratique de la marche. Ces aménagements encouragent les déplacements actifs, permettant des déplacements vers différentes destinations à la fois sur de courtes distances et sur des distances plus longues fractionnées. En intégrant la marche dans leur routine quotidienne, les individus peuvent profiter des bienfaits de l'activité physique en adoptant un mode de vie plus sain.

2.5.3.7 *Éclairage*

Il est recommandé de procéder à l'installation d'un éclairage nocturne adéquat dans les ruelles, de manière à assurer une visibilité optimale de l'environnement environnant pour les piétons. Cette mesure vise à permettre une perception précise des éléments présents, à faciliter la détection d'éventuels obstacles et à renforcer la capacité des individus à se prémunir contre tout danger imminent. En effet, l'éclairage s'est révélée être un dispositif efficace dans la lutte contre la criminalité. Ensemble, ces études indiquent qu'un éclairage horizontal moyen sur une surface de stationnement ou rue trottoir d'environ 30 lux fournit suffisamment de lumière pour garantir que les perceptions de sécurité sont proches de ce qu'elles sont à la lumière du jour. Le spectre lumineux est un facteur mineur par rapport à l'éclairage (Boyce et al. 2000). L'une des raisons d'étudier si un environnement est rassurant, est qu'il existe une relation avec la pratique de la marche à pied : un faible niveau de sécurité (ou un niveau élevé de peur) peut mener à un comportement restrictif tel que la décision d'utiliser un autre moyen de transport que la marche à pied ou d'éviter de sortir. En outre, la marche à pied est d'un intérêt plus large car c'est un moyen commun par lequel l'activité physique peut être introduite dans les routines quotidiennes des gens afin d'encourager une bonne santé. En termes de contraintes comportementales, c'est la perception de la sécurité qui influence le comportement. Si un bon éclairage peut augmenter la sécurité, cela peut à son tour conduire à une augmentation de la pratique de la marche. Il est prouvé qu'un meilleur éclairage entraîne un changement de comportement. Painter (Painter 1994), a constaté une augmentation de

l'utilisation par les piétons (101 % pour les hommes et 71 % pour les femmes) d'un point noir de la criminalité après un nouvel éclairage. Donker et al. (Donker, Kruisheer, et Kooi 2010) ont constaté un effet significatif de la lumière sur la vitesse de marche, celle-ci étant plus rapide dans des conditions de lumières éteintes que dans des conditions éclairées du soir ou à la lumière du jour. Un meilleur éclairage extérieur peut également avoir l'avantage d'attirer des personnes/touristes dans une région, améliorant ainsi l'économie nocturne. La détresse psychologique causée par la peur du crime peut conduire certaines personnes à rester prisonnières chez elles et cela peut particulièrement affecter les personnes âgées et les femmes. Ces groupes bénéficieraient particulièrement de la meilleure réassurance possible contre la violence. Un meilleur éclairage extérieur peut également avoir l'avantage d'attirer des personnes/touristes dans une région, améliorant ainsi l'économie nocturne. La détresse psychologique causée par la peur du crime peut conduire certaines personnes à rester prisonnières chez elles, et cela peut affecter les personnes âgées et les femmes en particulier. Ces groupes bénéficieraient particulièrement d'un meilleur niveau de sécurité obtenu par un meilleur éclairage. Il est clair qu'il existe des limites aux effets attendus de l'éclairage. Il est également mentionné dans l'étude de Yanan (2021), que la réticence à se rendre dans certaines zones peut être due au risque de troubles liés à la consommation d'alcool ou au comportement indiscipliné et violent de groupes de jeunes hommes et il est peu probable qu'un meilleur éclairage puisse y remédier. Les facteurs considérés comme importants peuvent changer avec l'âge (Yanan 2021).

2.5.3.8 Outils de diagnostic collaboratifs

Il est préconisé de mettre en œuvre une plateforme collaborative permettant à chaque citoyen de signaler les problèmes relatifs aux trottoirs tels que les nids-de-poule, les manques d'inclusivité pour les piétons, l'absence de poubelles ou encore les problèmes de sécurité. Cette plateforme permettrait ainsi de recueillir les retours des résidents, de manière à faciliter la résolution des problèmes urbains et à favoriser la participation active des citoyens à l'amélioration de leur environnement. Cela permettrait également à la ville d'acquérir une bonne base de données de ses chaussées et d'être à l'affût de problèmes ou infrastructures à améliorer. Cela a été l'objet d'une expérimentation pour la ville de Montréal comme il est mentionné dans un article journalistique sur les aménagements municipaux (Grenier 2019).

2.6 Les contributions de la marche

La marche est une composante essentielle des modes de transports actuels. C'est selon la capacité de la marche qu'est définie l'accessibilité à un endroit donné pour une personne. L'importance de ce mode actif est introduite dans la charte internationale de la marche (2006) par les paroles de son fondateur John Butcher qui dit « Marcher est la première chose qu'un bébé souhaite faire et la dernière chose qu'une personne âgée souhaite abandonner. La marche est un exercice qui ne requiert pas de gymnase. C'est l'ordonnance sans le médicament, le contrôle du poids sans le régime. »(Sauter et al. 2006). Les prochains paragraphes de cette partie expliqueront la véracité de cette citation et sa pertinence.

2.6.1 Les modes actifs et la santé

Il est bien compréhensible que le transport soit un facteur et un moyen important pour assurer la santé de la population en général. La satisfaction des besoins de transport des populations actuelles affecte la santé de nombreuses façons et les pratiques de transport durable sont essentielles pour protéger et améliorer la santé humaine. Par exemple, dans la région européenne, où environ 20 à 30 % des adultes sont obèses, le manque d'activité physique adéquate est associé à environ 900 000 décès par an. La marche et le vélo pourraient contribuer à l'intégration de l'activité physique dans la vie quotidienne, et les schémas de transport urbain le permettraient. Ces modes de transport actifs sont facilement accessibles à presque tout le monde, peuvent remplacer efficacement les trajets courts en voiture et peuvent être plus facilement intégrés dans les emplois du temps chargés des gens dans le cadre de la vie quotidienne (Gossling, Nicolosi, et Litman 2021).

De plus, la circulation routière est une source importante de pollution atmosphérique. On estime que l'exposition aux particules, dont la principale source est la circulation, en particulier dans les zones urbaines, cause une perte moyenne de 9 mois de vie et 82 000 décès prématurés par an dans les pays européens. Selon le rapport de 2015 intitulé « Economic Costs of Health Effects of Air Pollution in Europe : Clean Air, Health and Well-Being », les coûts économiques de ces effets sur la santé s'élèvent à plus de 1,2 trillion de dollars américains par an. La promotion de la durabilité par la limitation de la pollution de l'air et des émissions de gaz à effet de serre dues au trafic, l'amélioration de l'efficacité énergétique et la migration vers une économie à faible émission de CO₂ aiderait aussi indirectement à lutter contre les effets sanitaires liés au changement climatique. Les inégalités seraient réduites par la mise en place d'infrastructures et de systèmes de transport

inclusifs. En se concentrant sur les groupes à risque tels que les enfants, les personnes âgées, les pauvres et les personnes à mobilité réduite, on réduirait l'impact des transports sur les inégalités en matière de santé, notamment leur exposition à des routes dangereuses (Gossling, Nicolosi, et Litman 2021).

2.6.2 Impact des déplacements en modes actifs sur l'environnement

D'après les données du gouvernement du Québec, les émissions de gaz à effet de serre (GES) liées aux transports représentent 43 % de l'ensemble des émissions (Environnement et Changement climatique Canada 2023). Ce secteur inclut le transport routier, aérien, maritime, ferroviaire et hors route. Le transport routier en particulier est la principale source d'émissions de GES. Il représente à lui seul 34 % des émissions totales. Outre les émissions de GES, les transports contribuent également à la pollution atmosphérique. Ces constatations soulignent l'importance de mettre en œuvre des mesures pour réduire les émissions du secteur des transports et promouvoir des solutions de mobilité plus durables. Dans ce contexte une étude menée à Montréal, Toronto et Vancouver suggère que les milieux les plus propices à la marchabilité et où le transport actif est dominant ont des taux de pollution plus faibles. Cela est dû non seulement à la présence de végétation plus développée afin de répondre aux besoins de confort des individus pendant cette activité physique, mais également à la circulation automobile moindre (Doiron et al. 2020).

2.7 Synthèse de la revue de la littérature

Dans ce chapitre, nous avons exploré grâce aux différents travaux ultérieurs, les facteurs qui peuvent influencer la marchabilité, l'attractivité du transport en commun et son accessibilité piétonne. De plus, nous avons appris que la perception des conditions de marche par le piéton pourrait l'inciter à privilégier ce moyen de transport. Chacun de ces éléments a été analysé individuellement pour comprendre son rôle dans la mobilité urbaine. Toutefois, notre objectif principal réside dans la synthèse de ces éléments grâce à la mesure de différents indicateurs développés et inspirés de ce qui a déjà été réalisé dans d'autres travaux. Nous cherchons grâce à ces indicateurs à comprendre comment l'accessibilité piétonne aux systèmes de transport en commun affecte leur attractivité globale. La méthodologie présentée dans le mémoire permettra de mieux appréhender la mobilité urbaine et d'explorer comment l'amélioration de l'accessibilité

piétonne peut contribuer à une meilleure utilisation des systèmes de transport en commun et favoriser les modes de déplacement plus durables.

Chapitre 3 Méthodologie générale

Ce chapitre présente la méthode utilisée pour délimiter les bassins d'accessibilité piétonne autour des points d'accès aux transports en commun et les indicateurs utilisés dans le diagnostic de la qualité d'accès aux stations.

3.1 Mise en contexte

L'estimation de la distance requise pour atteindre une station de transport en commun n'est pas nécessairement simple à estimer pour un voyageur. Dans plusieurs stations du métro de Montréal, un plan de quartier propose une représentation schématique de l'accessibilité piétonne à vol d'oiseau. Un exemple de carte est présenté à la Figure 3.1 pour le cas de la station Côte-Vertu. Ce type de représentation n'est qu'à titre indicatif. Il ne tient compte ni de la structure de rue, ni des trajets piétons réels, ni des différents types d'entraves qui peuvent être rencontrés par un piéton. Cette représentation pourrait aider à l'orientation et son objectif n'est pas d'informer les piétons

sur les temps réels requis pour accéder à une destination en sortant d'un édicule. Mais cela nous inspire dans l'orientation de notre projet.



Figure 3.1 Plan du quartier de la station Côte-Vertu - Schéma général

La Figure 3.2 présente la méthodologie générale de cette recherche. Pour mieux comprendre si la qualité de l'accessibilité piétonne a un impact sur l'utilisation du transport en commun, nous explorons deux volets différents. Le premier consiste à établir le diagnostic des bassins d'attractivité vers les différents points d'accès aux stations de métro. Le deuxième consiste à confronter ces premiers résultats aux trajets réels et comprendre quels facteurs peuvent influencer cette marchabilité. La revue de littérature évoquée au chapitre 2 permet d'identifier les données impliquées dans la pratique de la marche jusqu'aux arrêts de transport en commun. Par la suite

nous évoquerons dans les prochains paragraphes les données qui ont pu être utilisées pour l'aboutissement de ce projet et le processus méthodologique employé.

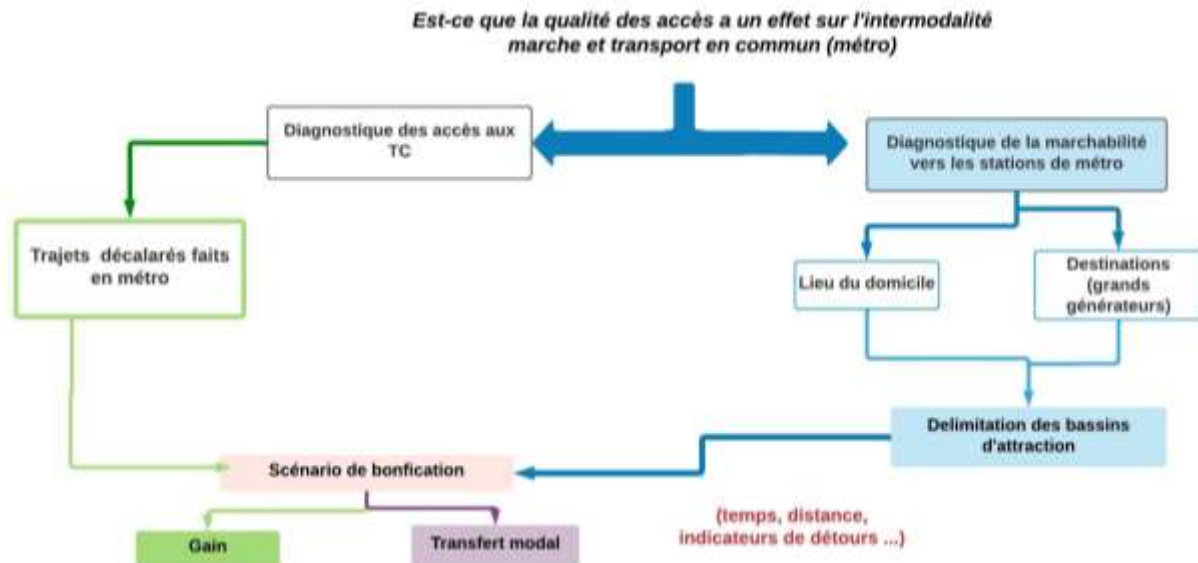


Figure 3.2 Méthodologie générale

3.2 Territoire d'analyse

Le présent travail est réalisé sur l'île de Montréal, définie dans ce projet comme la région desservie par la Société de transport de Montréal (Figure 3.3).

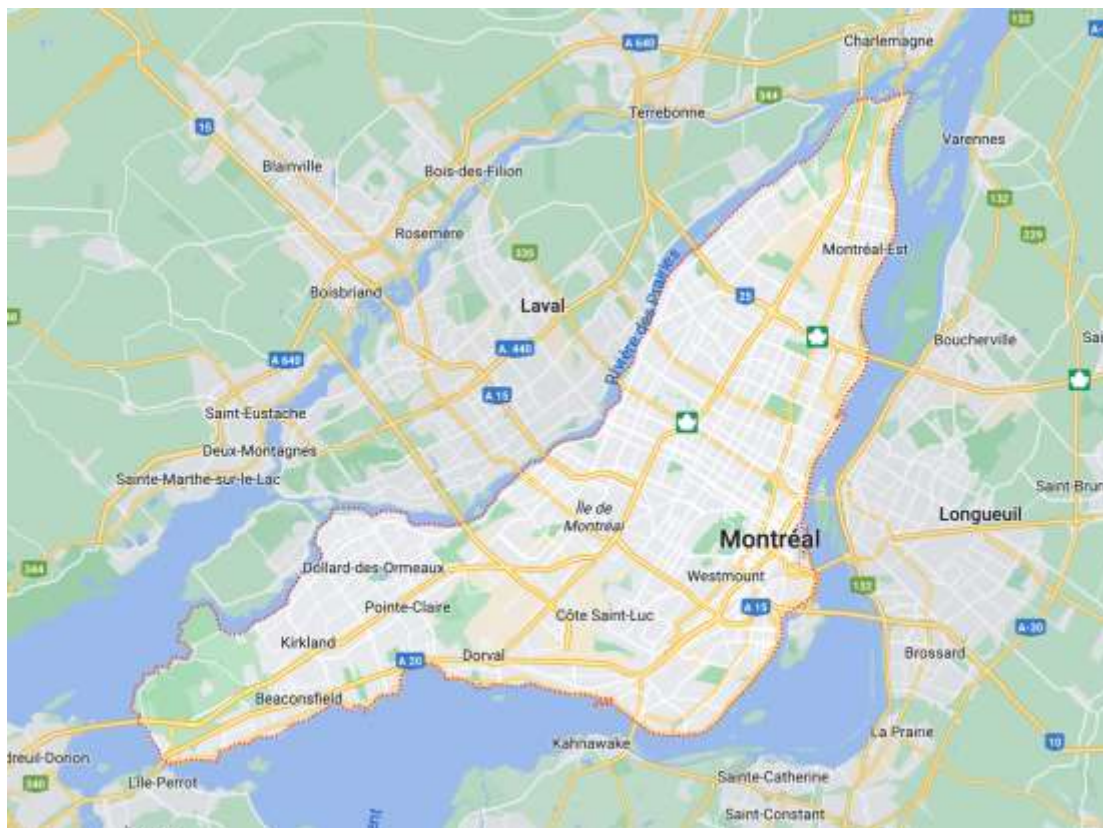


Figure 3.3 Zone A desservie par la Société de transport de Montréal (STM)

3.3 Sources de données

Afin de disposer des données nécessaires à l'élaboration de cette étude, plusieurs données de différentes sources ont été utilisées :

Données ouvertes de Statistiques Canada :

- Nous a permis d'accéder aux données du recensement canadien pour l'année 2016.

Données ouvertes de la ville de Montréal

- Le fichier du réseau routier de Montréal modifié pour la dernière fois en 2013, permet d'avoir une géobase composée de tronçons de routes. Chaque tronçon est caractérisé par un toponyme officiel, des plages d'adresses et des limites administratives. Le fichier permet la classification des voies et regroupe les rues locales, les voies piétonnières, les places d'affaires, les quais, les voies privées, les voies collectrices, les artères secondaires, les artères principales, les autoroutes et les rues projetées.

- La base de données Voirie de la Ville de Montréal créée en 2018, contient des informations sur les actifs de voirie tels que les trottoirs, les bordures et les îlots. Ces derniers, sont représentés par des polygones avec des détails sur leur construction, leur type, les matériaux utilisés, la présence d'arbres ou de voies cyclables, etc.
- Le fichier des intersections de la Ville de Montréal de 2019, répertorie les emplacements de toutes les intersections existantes. Cette base de données, fournit le numéro de référence de chaque intersection, les noms des deux rues qui se croisent à cet endroit, ainsi que les coordonnées géographiques de l'intersection. Ces données permettent de localiser précisément les intersections à travers la ville de Montréal.

La société de transport de Montréal

- Les coordonnées exactes des édicules et stations de transport public sont fournies dans les fichiers GTFS (General Transit Feed Specification) disponibles sur le site de la société de transport de Montréal, la version utilisée ici est celle publiée en 2021.

3.4 Étude de cas : le métro montréalais

Le métro de Montréal est le mode de transport en commun qui dessert l'île de Montréal et ses alentours, Laval et Longueuil. Le métro est entièrement souterrain sur pneus, géré par la Société des transports de Montréal (STM), un organisme public de transport en commun. Les lignes du métro de Montréal sont principalement identifiées par leur couleur, mais peuvent également être identifiées par un numéro. La direction est toujours déterminée par la station terminale vers laquelle on se dirige. La STM exploite quatre lignes de métro. Ce réseau circule non seulement sur l'île de Montréal, mais aussi à Laval (ligne orange) et Longueuil (ligne jaune). Le service commence à 5h30 et se termine entre 00h30 et 1h30 (Wikipédia 2023).

3.4.1 Les stations métro et leurs caractéristiques

Le métro Montréalais assure un service qui s'étend sur quatre lignes différentes jusqu'à présent. En effet, nous ne tenons compte que du réseau existant et fonctionnant normalement en 2022. Chaque ligne du service se distingue par un nombre de stations, une longueur, une date de construction et une année de mise en service. Les stations de la ligne orange sont celles qui sont

utilisées dans ce projet vu leur nombre et leurs emplacements assez diversifiés sur l'Île de Montréal. Le Tableau 3.1, est issu de données publiés sur le site de la STM et recensées sur Wikipédia.

Tableau 3.1 Stations de la ligne orange (Wikipédia 2023; Société de transport de Montréal 2023)

Station	Mise en service	Mise en service d'ascenseurs	Distance entre les stations	Nombre d'édicules
Côte-Vertu	3 novembre 1986	(2016)	777,24 m	3
Du Collège	9 janvier 1984	(2018)	1 281,69 m	2
De La Savane	9 janvier 1984		786,70 m	1
Namur	9 janvier 1984	(2022)	988,47 m	1
Plamondon	29 juin 1982		451,10 m	2
Côte-Sainte-Catherine	4 janvier 1982		693,00 m	1
Snowdon	7 septembre 1981	(2016)	884,41 m	1
Villa-Maria	7 septembre 1981	(2022)	1 407,32 m	1
Vendôme	7 septembre 1981	(2019)	1 450,88 m	2
Place-Saint-Henri	28 avril 1980	(2022)	579,60 m	1
Lionel-Groulx	28 avril 1980	(2016)	758,60 m	1
Georges-Vanier	28 avril 1980		530,60 m	1
Lucien-L'Allier	28 avril 1980		381,60 m	1
Bonaventure	13 février 1967		392,60 m	6
Square-Victoria-OACI	6 février 1967		356,60 m	8

Tableau 3.1 Stations de la ligne orange (Wikipédia 2023; Société de transport de Montréal 2023) (suite)

Station	Mise en service	Mise en service d'ascenseurs	Distance entre les stations	Nombre d'édicules
Place-d'Armes	14 octobre 1966	(2017)	370,60 m	1
Champ-de-Mars	14 octobre 1966	(2016)	720,50 m	1
Berri-UQAM (Berri-de-Montigny)	14 octobre 1966	(2016)	579,10 m	8
Sherbrooke	14 octobre 1966		932,10 m	2
Mont-Royal	14 octobre 1966	(2020)	499,60 m	1
Laurier	14 octobre 1966		746,10 m	2
Rosemont	14 octobre 1966	(2016)	541,10 m	1
Beaubien	14 octobre 1966		712,10 m	2
Jean-Talon	14 octobre 1966	(2016)	977,10 m	4
Jarry	14 octobre 1966		825,60 m	1
Crémazie	14 octobre 1966		1 279,60 m	2
Sauvé	14 octobre 1966		771,60 m	2
Henri-Bourassa	14 octobre 1966	(2016)	1 101,60 m	4
Cartier	28 avril 2007	28 avril 2007	2 073,60 m	1
De La Concorde	28 avril 2007	28 avril 2007	847,60 m	2
Montmorency	28 avril 2007	28 avril 2007	Terminus	2

3.4.2 Méthodologie de création des bassins d'attraction

Pour pouvoir délimiter le bassin d'attraction autour d'un accès de station de métro, l'approche illustrée à la Figure 3.4 est utilisée. En premier lieu, nous générons des points aléatoires près de chaque station. Nous utilisons pour cela le réseau routier de la ville de Montréal à partir duquel on

génère des points aléatoires équidistants de 15 mètres. Nous les considérons ensuite comme points d'origine d'un déplacement. La station de bus ou l'accès à la station de métro ou l'entrée d'une gare, est considérée comme destination visée. Ces points étant définis nous pouvons créer une base de données prête à être utilisée dans un calculateur de chemins. Il s'agit d'obtenir le trajet à pied incluant le temps et la distance de marche pour aller de l'origine vers le point d'accès en transport en commun. On utilise, dans ce projet, le logiciel Transition (www.transition.city) développé par l'équipe de la Chaire Mobilité, qui nous permet d'avoir les chemins piétons relatifs à chaque origine et destination. La distance de chaque parcours obtenu est ensuite utilisée pour délimiter les zones où la distance de parcours est inférieure à 200 mètres, 400 mètres, 600 mètres, 800 mètres et 1000 mètres. Les surfaces obtenues sont considérées comme les bassins d'attraction autour des stations pour les usagers du transport en commun. Si une station de métro possède plusieurs entrées (édicules), cette méthodologie est appliquée pour chaque entrée individuellement. Puis le bassin d'attraction résultant pour la station est le résultat de la fusion de tous les bassins d'attractions générés pour chacun de ses différents accès. Une fois ces zones définies, nous des

indicateurs sont développés pour comparer les résultats entre les stations de métro et faire des analyses quant à leur niveau d'accessibilité.



Figure 3.4 Méthodologie de délimitation des bassins d'attraction

3.4.3 Sélection des stations à étudier

Pour débiter cette étude, nous nous concentrons sur le métro de Montréal. La ligne orange, aussi appelée ligne 2 du métro de Montréal, est la ligne la plus importante du réseau, que ce soit pour sa fréquentation, sa longueur ou le nombre de stations qu'elle comporte. Cette ligne permet également de relier le territoire de l'île de Montréal à celui de la ville de Laval. Cette ligne traverse également plusieurs quartiers centraux de Montréal, créant ainsi un lien entre plusieurs quartiers tels que le quartier des spectacles, le quartier latin, le quartier chinois, la petite Italie, le petit Maghreb, le

centre-ville, le plateau, etc. La Figure 3.5, montre toutes les stations étudiées de la ligne orange (Wikipédia 2023).

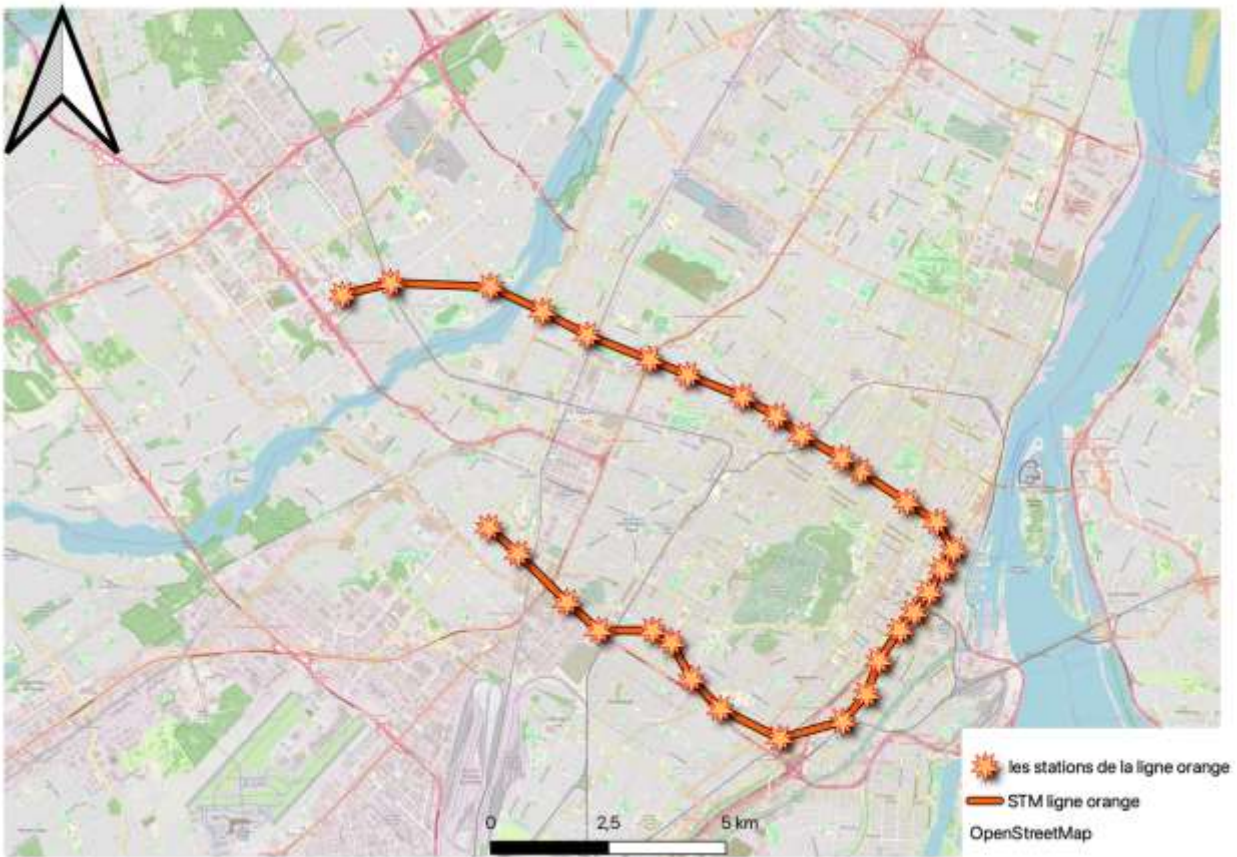


Figure 3.5 Ensemble de stations de métro étudiées (ligne orange)

Ces différentes stations ne sont pas traitées de la même façon pour délimiter leur zone d'attractivité ou bassins d'attraction. En effet nous distinguons la présence de deux différents types de stations : des stations à une seule entrée, ne possédant donc qu'un seul édicule et des stations à plusieurs entrées possédant jusqu'à plus de 8 huit édicules. Comme le montre la Figure 3.6, la ligne orange, compte en effet 27 stations dont 14 ont une seule entrée et 13 plusieurs édicules d'entrée. Elle

comporte également 4 stations de correspondance Berri-UQAM, Lionnel-Groulx, Snowdon et Jean-Talon qui 2 stations à entrées simples et 2 stations à entrées multiples.

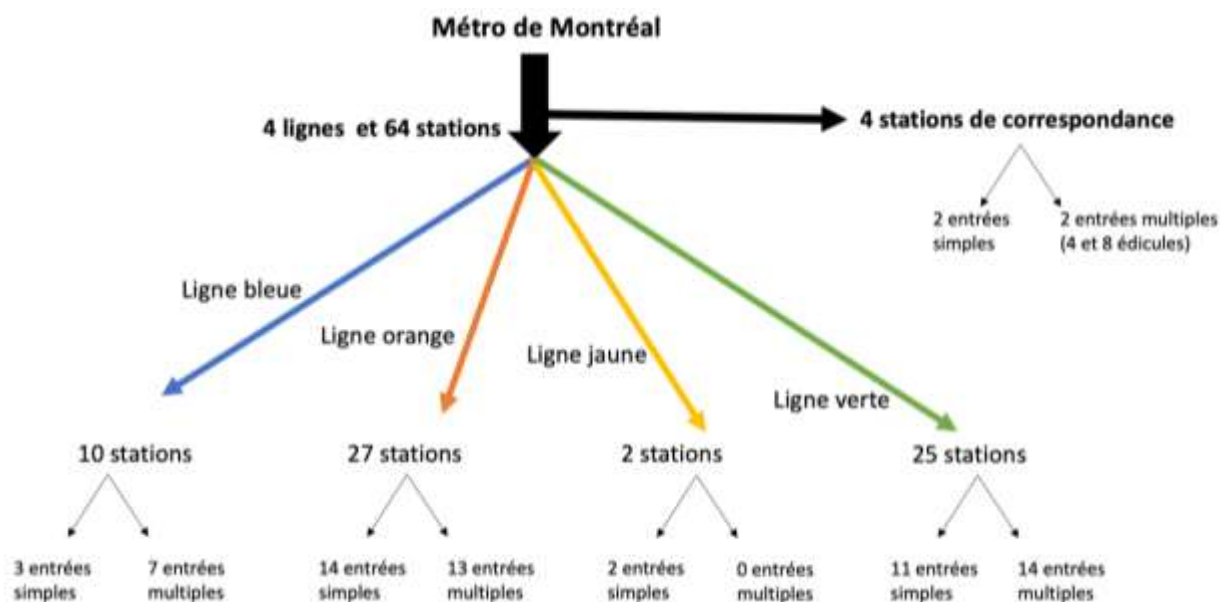


Figure 3.6 Les stations de métro et leurs entrées

3.5 Choix des indicateurs

Pour caractériser les bassins d'attractions relatifs aux différentes stations étudiées, les analyser, les comparer et comprendre les facteurs qui influencent leurs propriétés, plusieurs indicateurs sont envisagés. Ainsi on peut classer les différents indicateurs abordés dans notre étude en trois catégories, tel qu'il est représenté dans la Figure 3.7. Des indicateurs servant à caractériser la géométries des courbes de niveaux d'accessibilité, à caractériser les trajets et à caractériser l'environnement bâti et réseaux à l'intérieur des courbes de niveaux d'accessibilité. Ainsi le travail fait pour délimiter les bassins d'attraction, permet de mieux comprendre les conditions réelles

d'accès aux stations de métro. Les différents indicateurs présentés permettent de comparer différentes stations, montrant la diversité des contextes d'accès.



Figure 3.7 les indicateurs de caractérisation des CNA

3.5.1 La surface

Cet indicateur permet de calculer la surface couverte par les courbes de niveau autour des stations de métro. Cela est possible grâce aux systèmes d'information géographique. Des fonctions spatiales permettent de connaître l'étendue spatiale des zones accessibles par les piétons à 200, 400, 600, 800, et 1000 mètres des points aux nœuds d'accès aux transports publics. Plus la surface est étendue plus l'accessibilité piétonne est importante et bonne. Cet indicateur peut se révéler important dans la compréhension de ce qu'est une bonne accessibilité à une station de métro. En effet, si la surface du bassin d'attraction est grande cela peut être signe d'une bonne accessibilité et de la présence efficace d'infrastructures piétonnes. Ce qui pourrait impliquer une attractivité plus importante vers certains points d'accès. Les stations concernées peuvent apporter de ce fait de potentiels nouveaux usagers du métro en combinaison avec d'autres facteurs jugés attractifs par les usagers. Avant toute analyse des bassins d'attraction associés à nos stations nous pouvons supposer que plus une station comporte d'édicules, plus elle offre de possibilités de trajets aux usagers. Par conséquent, la surface du bassin d'attraction des stations à plusieurs édicules pourrait être plus importante comparée à celle des stations de métro ayant un seul édicule.

Dans le cas illustré par la Figure 3.8, la station possède deux entrées. Pour déterminer le bassin d'attraction de la station étudié, nous délimitons le bassin d'attraction relatif à chacun des édicules

L'indicateur d'étude du périmètre de couverture des courbes de niveau d'accessibilité piétonne aux stations de métro, permet de calculer et comparer le périmètre de couverture des zones d'accessibilité piétonne autour des stations pour les différentes distances de marche. Ce qui le différencie de la mesure de la surface c'est qu'il ne permet pas seulement d'avoir de l'information sur la taille du contour des courbes d'accessibilité, mais il permet aussi d'avoir une idée de leur complexité. Cet indicateur permet, dans ce contexte, d'émettre des hypothèses sur la présence de détours et d'irrégularités dans la géométrie des trottoirs et des infrastructures piétonnes à l'intérieur du bassin étudié et peut être leur manque de praticité.

Dans le cas de la station illustrée à la Figure 3.10, la station possède deux entrées. Pour déterminer le bassin d'attraction de la station étudiée, nous délimitons le bassin d'attraction relatif à chacun

des édicules séparément et nous faisons ensuite le regroupement pour avoir l'union des surfaces résultantes et obtenir le périmètre de couverture totale pour cette station.



Figure 3.10 Périmètre total dans le cas d'entrées multiple

Dans le cas de la station illustrée par Figure 3.11, on voit qu'elle ne possède qu'une entrée. C'est le cas le plus simple : nous prenons le périmètre relatif au bassin d'attraction générée par les points à une distance de marche appropriée vers cette entrée pour étudier l'indicateur de périmètre.

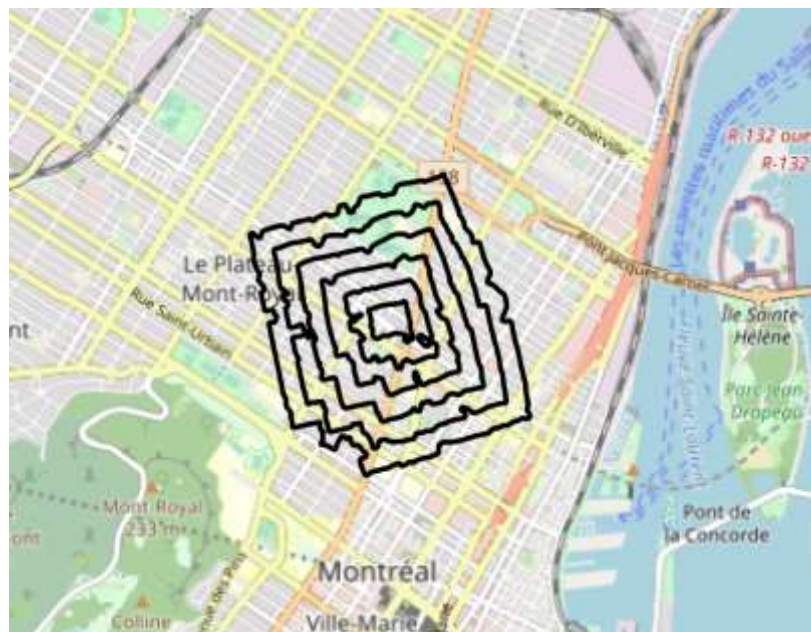


Figure 3.11 Périmètre total dans le cas d'entrée simple

3.5.3 Pourcentage de couverture de la surface théorique par une courbe de niveau (PSCT)

Cet indicateur permet de comparer la surface de couverture théorique représentée par un cercle dont le rayon est égal à la distance d'accessibilité à vol d'oiseau pour un niveau d'accessibilité donné, par rapport à la surface de couverture réelle pour ce même niveau d'accessibilité. Cet indicateur est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$PCST = \frac{\text{Surface couverte réelle}}{\text{Surface théorique}} * 100 \quad (3.1)$$



Figure 3.12 Surface réelle par rapport à la surface théorique

L'indicateur de couverture de la surface théorique, permet d'évaluer le bon aménagement territorial et d'émettre des hypothèses sur la présence importante ou non de détours et d'infrastructures piétonnes. Ainsi, il permet de mettre en évidence la différence entre la distance de marche à vol d'oiseau et la distance de marche réelle calculée. Le pourcentage de surface couverte par une courbe de niveau permet d'appréhender la complexité du développement urbain d'un bassin d'attraction. On peut supposer qu'elle met en évidence la présence importante de détours lorsque

ce pourcentage est faible. Et un bon aménagement urbain lorsque ce pourcentage est à son maximum.

Dans le cas d'une station à une entrée simple, nous considérons pour cet indicateur la surface théorique comme étant celle du cercle de rayon équivalent au niveau d'accessibilité étudié et dont l'origine est l'édicule de la station étudiée.

Dans le cas d'une station avec de multiples édicules, nous devons tenir compte de la présence de multiples accès à chaque station. De ce fait, nous faisons le regroupement des lignes de contour des courbes de niveaux pour les différents édicules comme mentionné plus haut (voir 2.5.1 et 2.5.2.) pour avoir les courbes de niveaux d'accessibilité réelle pour chaque niveau étudié. Pour ce qui est des courbes d'accessibilité théoriques, ces dernières sont effectuées pour chaque édicule séparément pour traduire la distance à vol d'oiseau relatif à chaque niveau d'accessibilité étudié. Ensuite, nous procédons au regroupement de ces cercles pour chaque niveau pour avoir l'accessibilité théorique finale.

3.5.4 Distribution de la tortuosité (distance)

Cet indicateur est calculé pour étudier la tortuosité des trajets empruntés pour accéder aux nœuds de transport en commun, en se basant sur les mesures de distance. Ainsi nous considérons comme référence une distance d'accessibilité de 600 mètres pour l'étude de cet indicateur. Le but est de comparer la distance d'accessibilité réelle par rapport à la distance à vol d'oiseau. La tortuosité est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Tortuosité} = \frac{\text{distance de marche à pied}}{\text{distance à vol d'oiseau}} \quad (3.2)$$

Le calcul de la tortuosité se fait comme montré dans la Figure 3.13 selon certaines hypothèses. Nous considérons comme l'origine de notre déplacement, le point sur le cercle d'accessibilité théorique, puis nous nous intéressons à sa trajectoire réelle et la comparons à la distance relative au rayon du cercle théorique relatif à ce niveau d'accessibilité. Pour l'étude de cet indicateur, le cercle théorique pris en considération est différent de celui vu dans les parties précédentes. En effet, dans le cas d'une station à multiples édicules, nous considérons édicule de référence pour nos calcul un point moyen. Cet édicule moyen est le centroïde issu des édicules relatifs à la station étudiée. Ce point est donc dans la suite le centre du cercle théorique et la destination adoptée dans le calculateur pour le calcul du trajet piéton. Plus l'indicateur est proche de 1 moins il y a de détours et le trajet peut

être considéré comme optimisé. Plus l'indicateur a une valeur supérieure à 1 plus le trajet est tortueux. Il présente des détours, des obstacles à contourner et des mètres de marche supplémentaires. Le calcul de la tortuosité moyenne dans une zone peut nous aider à envisager la pénibilité d'accès à une station plutôt qu'une autre.

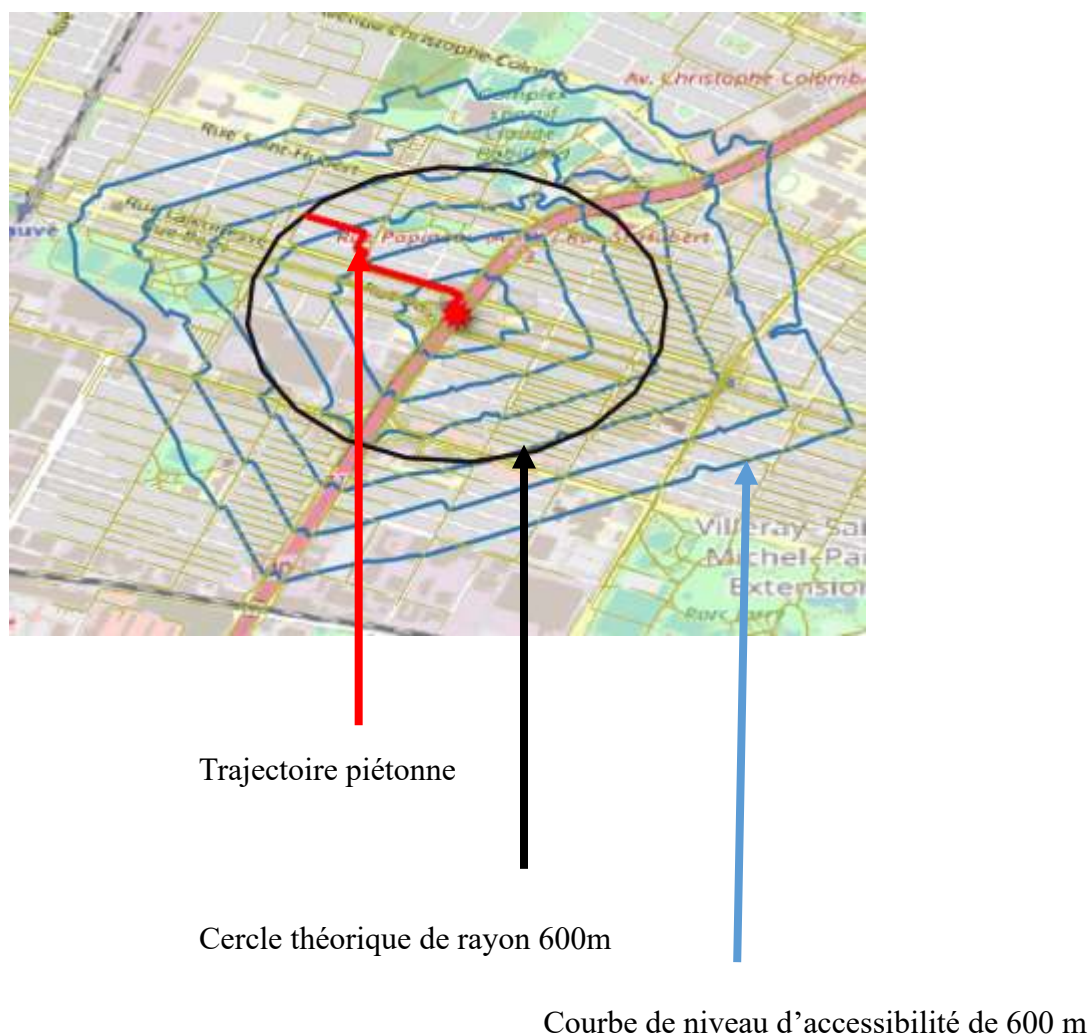


Figure 3.13 Le calcul de la tortuosité d'un trajet

3.5.5 Densité d'intersections

Cet indicateur permet de caractériser le nombre d'intersections par kilomètre au sein des courbes de niveau d'accessibilité pour chaque niveau étudié. Il nous propose de comprendre via la densité d'intersections la pénibilité d'un trajet, la lenteur d'accessibilité ou le renforcement de la sécurité piétonne. Il peut également fournir de l'information sur la présence de trajets avec moins de détour, favorisant un trajet avec plus de lignes droites et moins de mètres de marche.

Dans le cas d'une station avec de multiples édicules, les courbes de niveaux d'accessibilité sont issues du regroupement des courbes de niveau d'accessibilité relatives à chaque édicule pour un niveau d'accessibilité étudié.

3.5.6 Le temps moyen de marche

Pour cet indicateur, le cercle théorique est celui issu du regroupement des cercles générés avec comme origine chaque édicule d'entrée d'une station. Ce regroupement sert à représenter l'accessibilité à vol d'oiseau vers une station. L'entrée de la station considérée dans l'étude de cet indicateur est le centroïde des emplacements des différents édicules (dans le cas d'entrées multiples). Nous considérons par la suite nos points d'intérêt, comme étant les origines de déplacements vers la station qui sont présents sur le contour de notre cercle théorique. Par la suite, nous nous intéressons à chaque trajet dans son individualité et générons une moyenne de temps de parcours réel. Cet indicateur prend les hypothèses du calculateur « Transition » notamment la vitesse de marche à 5 km/h. Dans le calculateur de trajet à pied, on a 15 secondes de pénalité par feu de circulation.

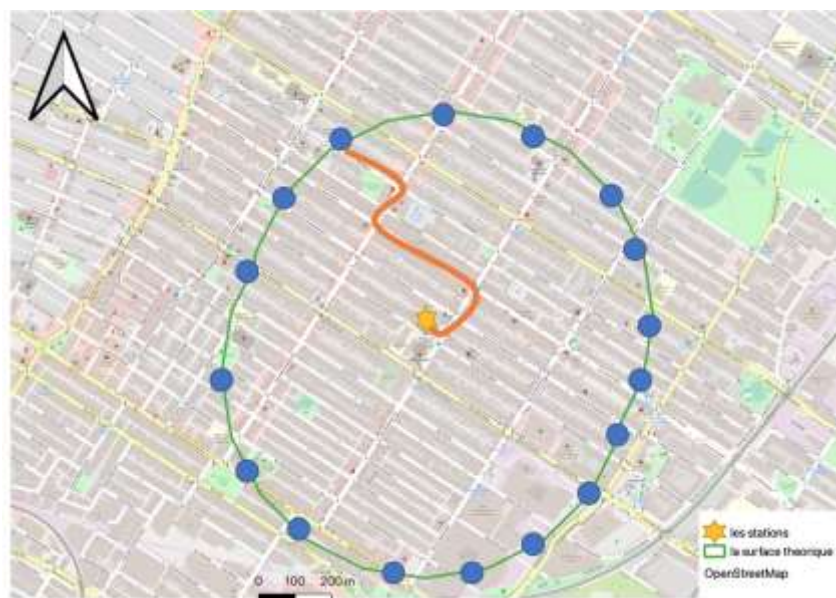


Figure 3.14 Les trajets étudiés pour le calcul du temps moyen de marche

3.5.7 Distance moyenne de marche

De même que la méthodologie appliquée pour la mesure du temps moyen de marche, ici nous nous intéressons au trajet du point de vue de la longueur. Nous procédons à la moyenne de distance à

parcourir pour accéder à l'édicule moyenne (centroïde des édicules de la station dans le cas d'entrées multiples) pour un point existant sur le contour du cercle théorique d'accessibilité considéré. Cet indicateur est pertinent lorsqu'il s'agit de comparer cette moyenne des distances d'accessibilité des stations entre elles et voir les différences qu'il peut y avoir et peut-être expliquer les préférences des usagers pour des stations à la place d'autres par exemple.

3.5.8 Densité de la population

L'étude de cet indicateur part de l'hypothèse que les gens habitent là où tout est plus accessible à pied et où les transports en commun offrent une bonne desserte. Ainsi, plus la station de métro est accessible à pied, plus il y a de monde. Cet indicateur se base sur les données du recensement canadien de 2016. Chaque îlot de diffusion est représenté par son centroïde auquel on attribue la valeur de la population résidente. Lorsque les centroïdes sont à l'intérieur des courbes de niveau d'accessibilité leur population est additionnée puis divisée par la superficie couverte par les courbes de niveau d'accessibilité, pour avoir la densité. Plus la densité de population est importante, plus le nombre d'utilisateurs du transport public est important. Cela pourrait même suggérer qu'une bonne accessibilité piétonne aux différents moyens de transports en est la cause. Nous pouvons à travers cet indicateur mieux comprendre les préférences d'habitation des personnes. Les quartiers présentant une concentration d'habitants importante pourront peut-être se démarquer par l'accessibilité aux moyens de transport en commun ou encourager à l'amélioration des infrastructures pour faciliter la mobilité des gens et répondre à la demande.

3.5.9 Nombre total de dépanneurs et supermarchés par kilomètre carré

La présence de supermarchés et de dépanneurs dans une région est un bon indicateur de son accessibilité piétonne. Car ces commerces doivent être accessibles au plus grand nombre et pas seulement aux automobilistes. On peut donc supposer que leur présence inclut une bonne

infrastructure piétonne. Ainsi, nous supposons qu'une attention particulière au confort des piétons peut être apportée lorsque le nombre de commerces est élevé à l'intérieur d'un bassin d'attraction.

3.5.10 Densité de trottoirs

La longueur des trottoirs à l'intérieur des courbes de niveau d'accessibilité est additionnée puis rapportée à la surface des courbes de niveau d'accessibilité pour avoir la densité de trottoirs.



Figure 3.15 Longueur de trottoir à l'intérieur des bassins d'attraction

Cela nous permet d'émettre des suppositions sur la bonne implantation de structures piétonnes dans la zone d'étude ou bien la complexité des trajets piétons. La longueur d'un trottoir peut être vue comme un investissement supplémentaire dans l'infrastructure piétonne, d'une attention particulière prêté au confort des usagers et de la présence de plus d'espace pour l'accessibilité piétonne. Ainsi, une longueur de trottoir importante peut signifier plus d'efforts et d'investissements de la part de la municipalité pour faciliter la marche et le transport actif. Mais cet indicateur peut se révéler important pour refléter la complexité de la configuration urbaine, la présence de détours et la pénibilité générale de la pratique de la marche dans l'environnement étudié.

3.5.11 Fréquence moyenne de passage des bus dans une journée

Cet indicateur fournit des informations sur la fréquence moyenne journalière de passage des bus d'une ligne donnée, qui permet d'accéder au métro, tout au long de la journée. Il permet d'évaluer

si la zone étudiée bénéficie d'une bonne desserte en transport en commun et si toutes les commodités sont disponibles pour permettre aux personnes de rejoindre une station de métro.

3.5.12 Fréquence moyenne de passage des bus pendant la pointe du matin

La fréquence moyenne de passage des bus pour une ligne tout autour d'une station de métro la pointe du matin (entre 5h et 9h) est très importante pour les usagers des transports en commun. Cet indicateur peut montrer si la zone délimitée par le bassin d'attraction étudiée est bien desservie par les transports en commun lorsque la demande est intense.

3.5.13 Fréquence moyenne de passage des bus pendant la pointe de l'après-midi

La fréquence moyenne de passage des bus pour une ligne tout autour d'une station de métro la pointe de l'après-midi (entre 15h et 18h) est très importante à étudier. Cet indicateur évalue la qualité de la desserte des transports en commun dans une zone lors de la pointe de l'après-midi, en prenant en compte la disponibilité d'autres modes de transport pour permettre aux personnes de se rendre à une station de métro au même moment.

3.5.14 Densité d'arrêts de bus autour des stations métro

Le nombre d'arrêts de bus qui vont de et vers la station de métro et qui sont présentes à l'intérieur de ses courbes de niveau d'accessibilité est additionné et rapporté à la surface délimitée par les

courbes de niveau d'accessibilité pour avoir la densité d'arrêts de bus dans le voisinage. Cette densité permet d'évaluer la bonne desserte autour des stations de métro.

Chapitre 4 Résultats et Analyse

Comme mentionné dans les trois précédents chapitres, l'étape cruciale de cette étude est de délimiter la zone géographique autour de chaque station à l'étude selon ses différents niveaux d'accessibilité et ce peu importe le nombre d'édicules d'entrée. Puis, dans un second temps, nous voulons comprendre sa potentielle attractivité pour l'usage du métro dans notre cas à travers l'exploration des résultats fournis par les différentes caractérisations des bassins d'accessibilité piétonne. Dans ce chapitre nous évaluerons et discuterons les résultats obtenus.

4.1 Bassins d'attraction autour des stations du métro de la ligne orange

La création de bassins d'attraction autour des stations de métro sur la ligne orange nous donne comme prévu des formes géométriques très différentes des cercles publiés dans les plans de quartier. La Figure 4.1, montre les courbes de niveaux d'accessibilité réelle relatives à chaque station de métro. Ces courbes sont, comme expliqués dans la section méthodologie, issues des résultats donnés par le calculateur Transition. Il a été utilisé pour générer des itinéraires piétonniers, ce qui nous a aidé à délimiter les surfaces qui ont les mêmes distances de marche. La Figure 4.1, montre les différentes courbes de niveau relatives à chaque station de métro de la ligne orange. Visuellement, nous pouvons remarquer que les géométries obtenues concordent avec la forme urbaine quadrillée de la ville de Montréal. Dans un second temps, nous distinguons qu'en fonction de l'emplacement et du nombre de points d'accès étudiés nous n'avons pas les mêmes formes de

CNA et dimensions. En effet, chaque zone étudiée a des caractéristiques propres et plus on se rapproche du centre-ville, plus les CNA des différentes stations se rapprochent et se chevauchent.

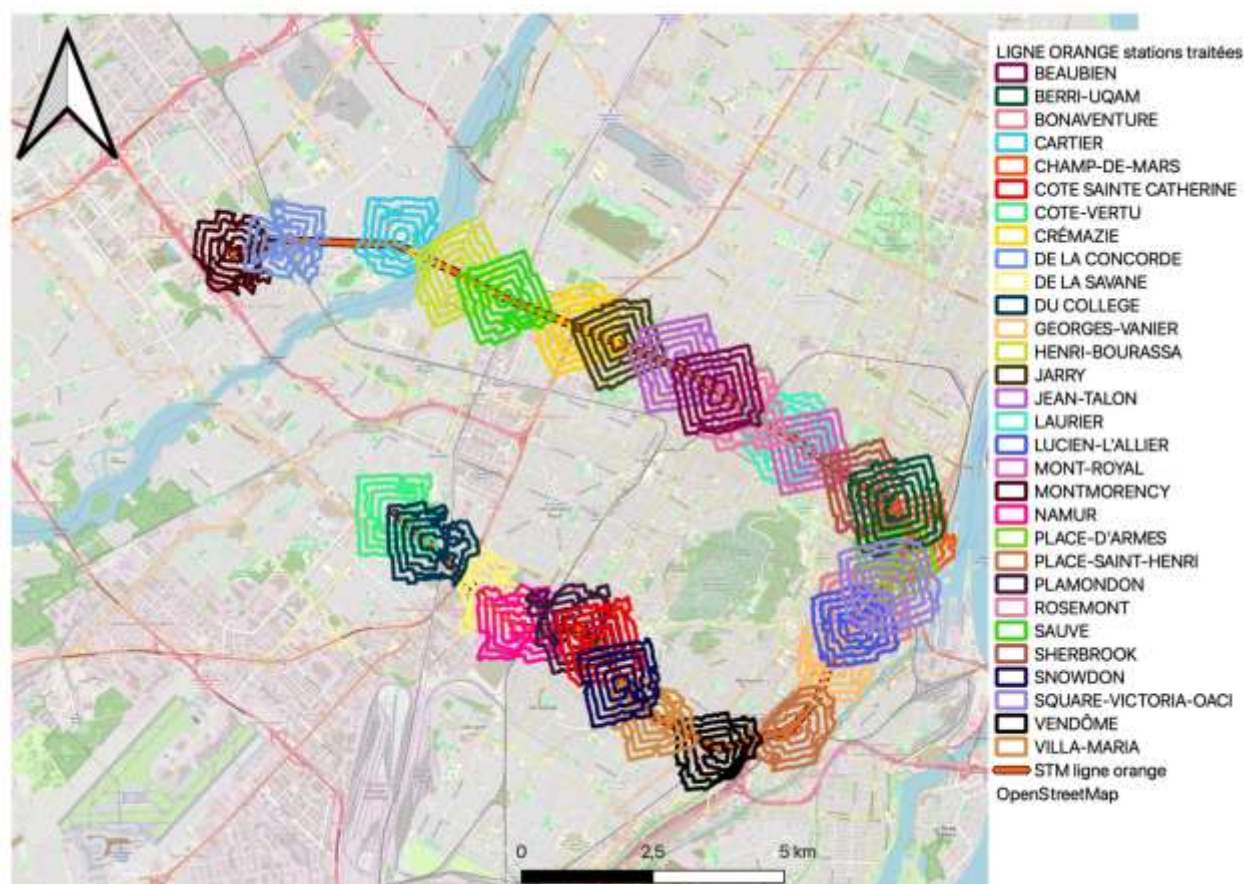


Figure 4.1 Bassins d'attraction

4.2 Analyse des différents indicateurs

Tel que mentionné dans le chapitre 3, plusieurs indicateurs sont calculés pour caractériser les bassins d'attraction formés par les CNA pour les différentes stations. La Figure 4.2 regroupe les indicateurs étudiés et qu'on a classé en trois catégories. On trouve ainsi, des indicateurs de caractérisation de la géométrie qui tiennent compte de toutes les caractéristiques relatives aux formes des CNA générés. Puis, on s'intéresse aux indicateurs de caractérisation des trajets qui eux se focalisent sur les propriétés du chemin d'accès : longueur, changements de direction, détours, etc. On étudie finalement des indicateurs de caractérisation de l'environnement bâti et des CNA qui regroupent les propriétés des infrastructures piétonnes et activités humaines susceptibles d'influencer les comportements de déplacement. Les indicateurs que nous traitons dans les

prochains paragraphes de ce chapitre sont soulignés en vert dans la Figure 4.2. Afin de faciliter l'analyse des différents indicateurs nous utiliserons dans les prochaines sections des graphiques. La plupart du temps et lorsque cela est possible, l'ordre des stations est gardé constant pour voir faire des comparaisons entre les station en fonction de l'indicateur.

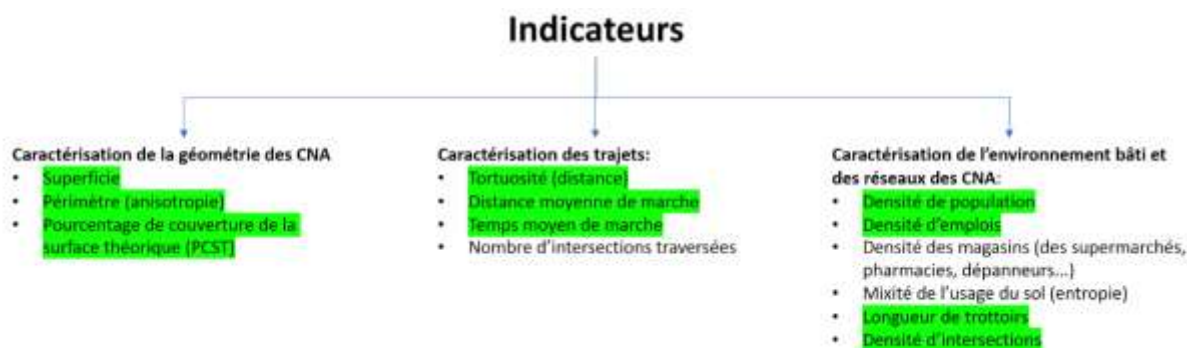


Figure 4.2 Les différentes catégories d'indicateurs étudiés

4.2.1 Indicateurs de géométrie

4.2.1.1 Indicateur de surface

L'étude de cet indicateur peut aider à caractériser l'accessibilité piétonne globale aux stations de métro. Avant d'explorer les résultats relatifs à cet indicateur, on peut dans un premier temps supposer que si une station a plus d'édicules, elle offre plus de possibilités aux utilisateurs pour accéder au métro et par conséquent la surface couverte par les CNA est plus étendue que pour les stations avec un seul édicule. Dans cette étude, nous supposons également que l'usager arrive à la station une fois arrivé à l'édicule et non au quai de la station. La Figure 4.3 présente la surface de la zone couverte par les CNA des différentes stations de métro étudiées en fonction des niveaux d'accessibilité. La courbe en noir, représente la surface théorique couverte pour les niveaux d'accessibilité à vol d'oiseau (les surfaces théoriques sont regroupées dans le cas de stations à multiples édicules). Dans un premier temps, en observant les résultats, on voit qu'il existe des différences entre la surface théorique et celle du reste des stations. Aucune station ne peut atteindre la surface de couverture théorique quel que soit le nombre d'édicules. De plus, nous confirmons l'hypothèse selon laquelle le nombre d'édicules a un impact sur la couverture spatiale par les CNA d'une station. En effet, nous remarquons que les stations Berri-UQAM et Square-Victoria-OACI, ont les surfaces de couverture les plus importantes. Cependant, il ne faut pas négliger la présence de stations qui ont moins d'édicules et qui ont quand même une surface remarquable dépassant

celle de stations qui ont plus d'édicules. Nous parlons du cas des stations Mont-Royal et Laurier qui chacune ne possède que deux édicules pour entrer, mais dépassent largement la surface des CNA de la station Henri-Bourassa par exemple. Quant aux stations qui ont les surfaces couvertes par les CNA les moins importantes, nous trouvons les stations De La savane, Namur et Du Collège. Cette différence peut être expliquée par un nombre d'édicules d'entrée moins important que d'autres stations, l'absence potentielle d'aménagements urbains pour faciliter l'accessibilité piétonne, ou encore la présence d'autoroutes et plus d'obstacles à contourner.

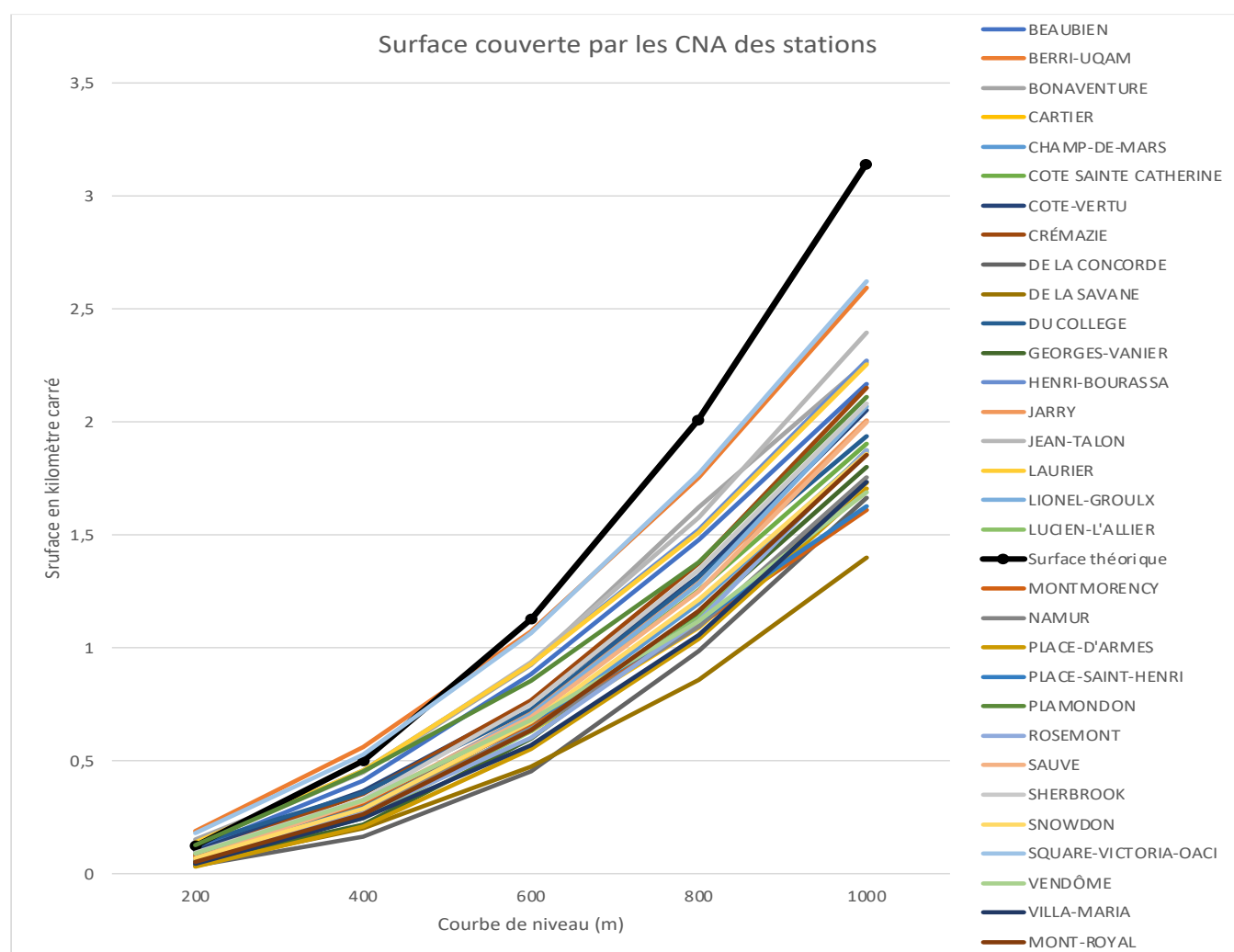


Figure 4.3 Surface (en km²) du bassin d'attraction

La Figure 4.4, met en évidence le fait que pour des stations différentes, on peut facilement doubler la surface couverte par les CNA. Par exemple, pour un niveau d'accessibilité de 1 km, on passe

d'une surface couverte de 1,4 km² pour la station De la Savane à 2,6 km² pour la station Square-Victoria-OACI.

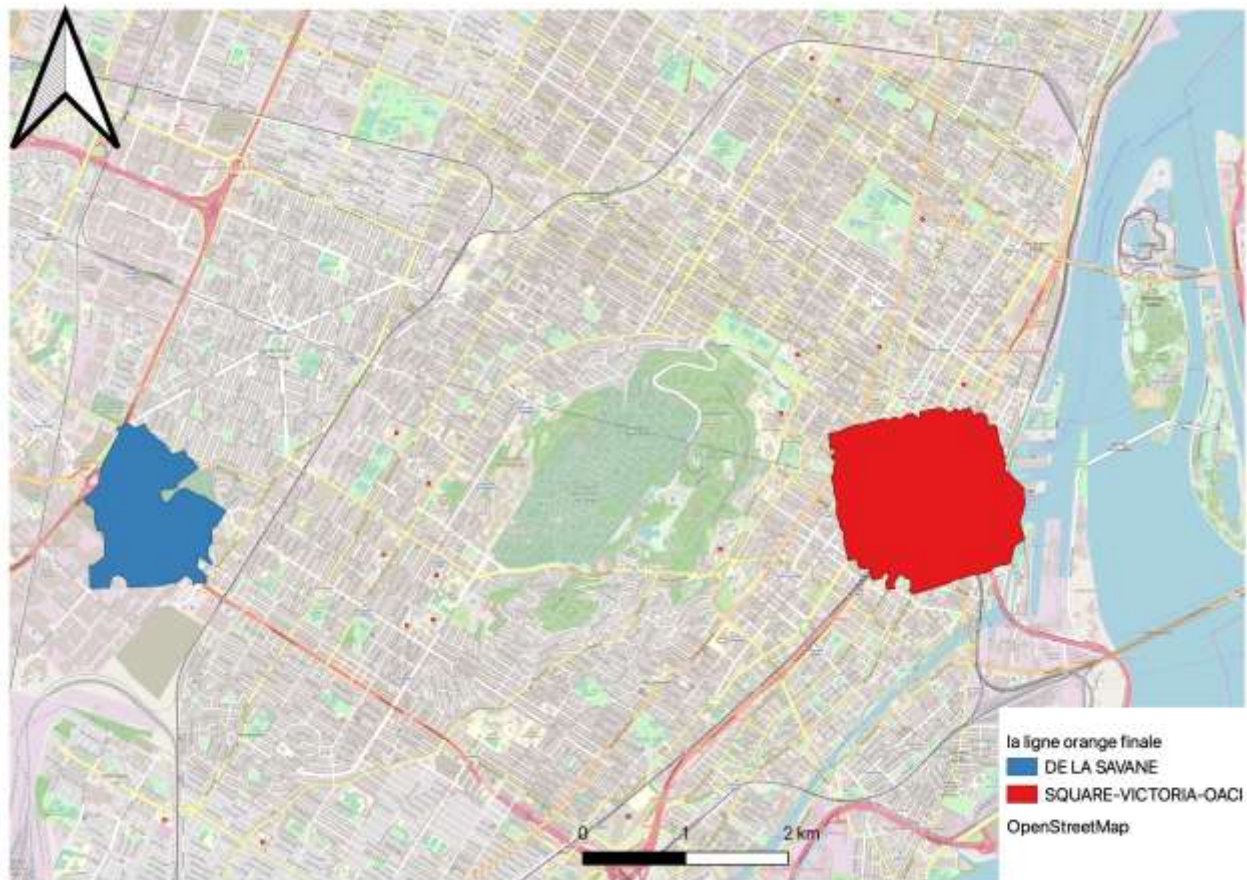


Figure 4.4 Comparaison de la surface de couverture pour un niveau d'accessibilité de 1 km

4.2.1.2 Périmètre

Le périmètre des CNA est un indicateur de l'anisotropie qui renseigne sur la marchabilité aux nœuds d'accès aux transports en commun. Le périmètre diffère de la mesure de la surface, car il fournit également de l'information sur la complexité de la forme des CNA. La Figure 4.5 montre l'évolution du périmètre pour différents niveaux de distance d'accessibilité. Dans cette figure, le contour théorique est représenté par un trait noir, sa valeur est dans la moyenne de ce qu'on obtient pour le cas réel. Les stations ayant de grandes valeurs de périmètre ont une géométrie complexe

comme les stations Laurier et Plamondon suivies de Berri-UQAM et Square-Victoria-OACI. Nous trouvons les stations Vendôme et De la Savane parmi celles qui ont le périmètre le moins important.

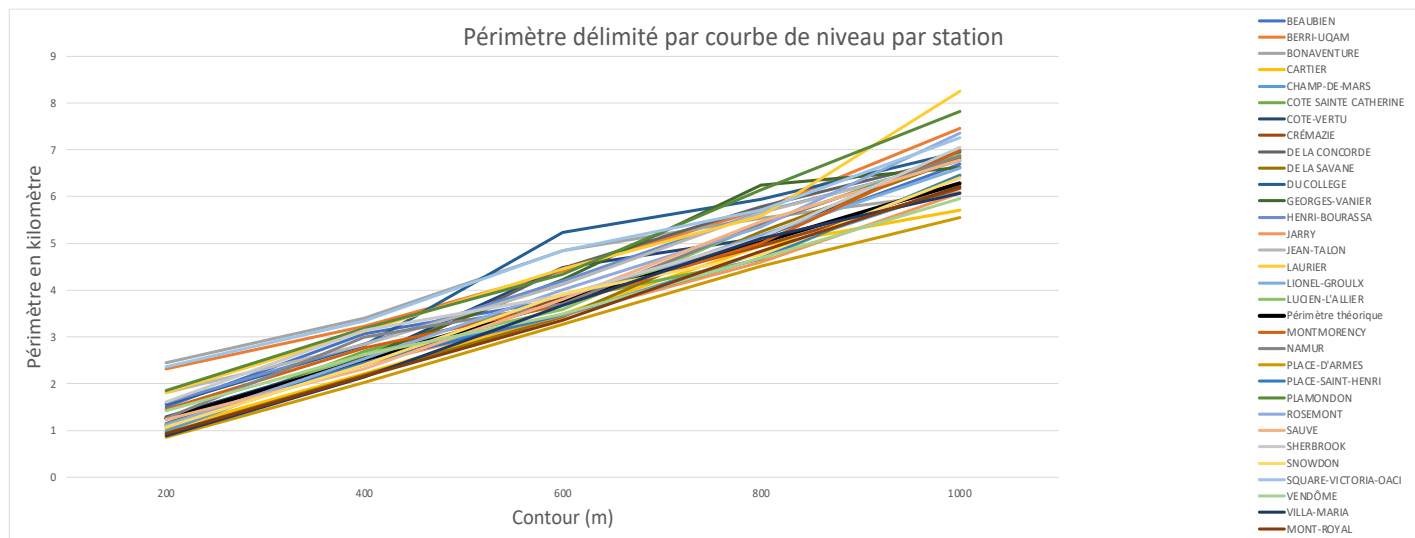


Figure 4.5 Périmètre des bassins d'attraction

La Figure 4.6, témoigne de l'influence de la forme urbaine sur la forme des CNA et par conséquent sur la valeur des périmètres associés.

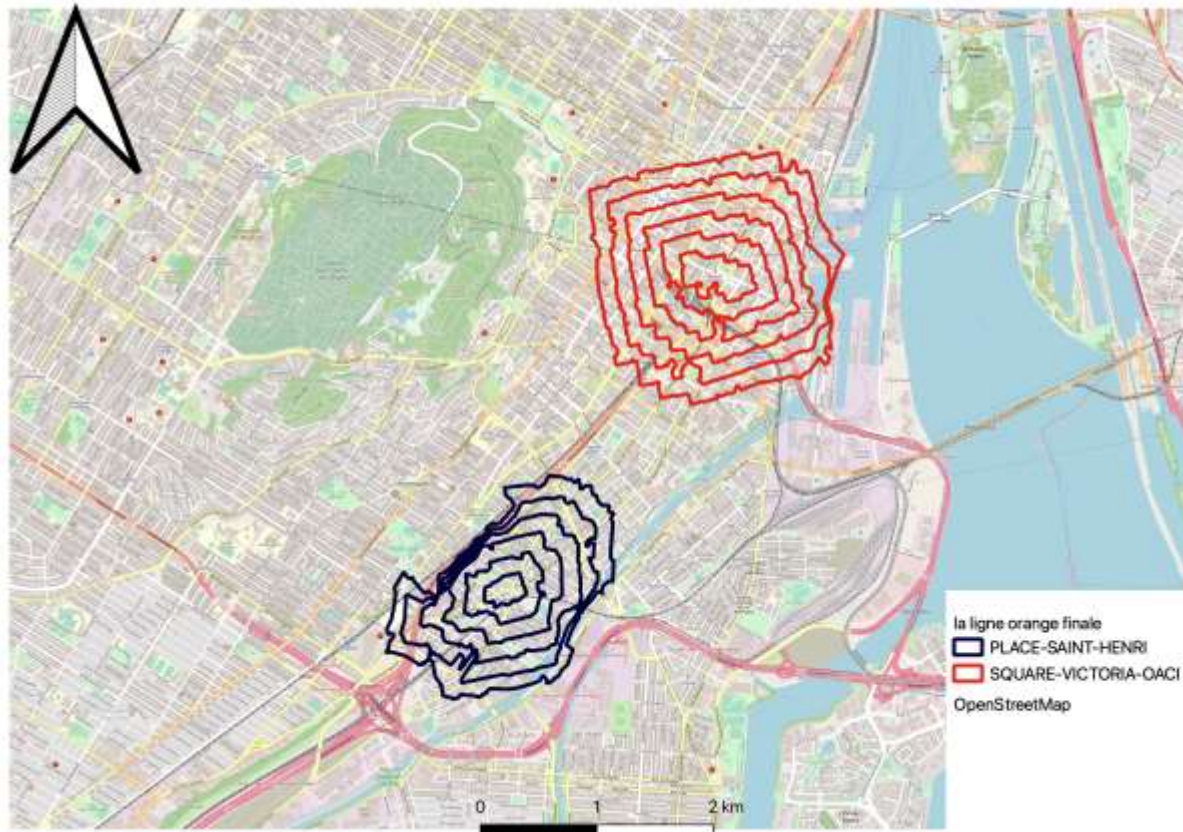


Figure 4.6 Comparaison des périmètres des CNA

4.2.1.3 Pourcentage de la surface couverte par une courbe de niveau

Cet indicateur compare la surface réelle des CNA par rapport aux surfaces de couverture théorique. Le pourcentage de la zone couverte par une courbe de niveau reflète la performance de l'accès piéton aux stations. Une faible valeur de pourcentage de couverture de la surface théorique (PCST), peut signifier que les stations sont moins accessibles de façon générale à la population à proximité de la station étudiée par rapport à d'autres. On peut supposer que la différence de valeurs entre les valeurs du PCST est due à des détours et à une moins bonne structure du réseau piétonnier. La Figure 4.7 présente les valeurs du PCST pour les différentes stations de métro de la ligne orange. On remarque que toutes les valeurs sont inférieures à 70 % montrant qu'en réalité, il est très difficile de se rapprocher de la couverture théorique. On peut observer grâce à cette figure, que les stations ayant plusieurs édifices d'accès ont un meilleur PCST, tels que les stations Berri-UQAM et Square-Victoria OACI. Les stations De La Concorde et De la Savane quant à elles ont le PCST le

moins important ce qui pourrait suggérer une moindre accessibilité et disponibilité d'infrastructures piétonnes pour ces stations.

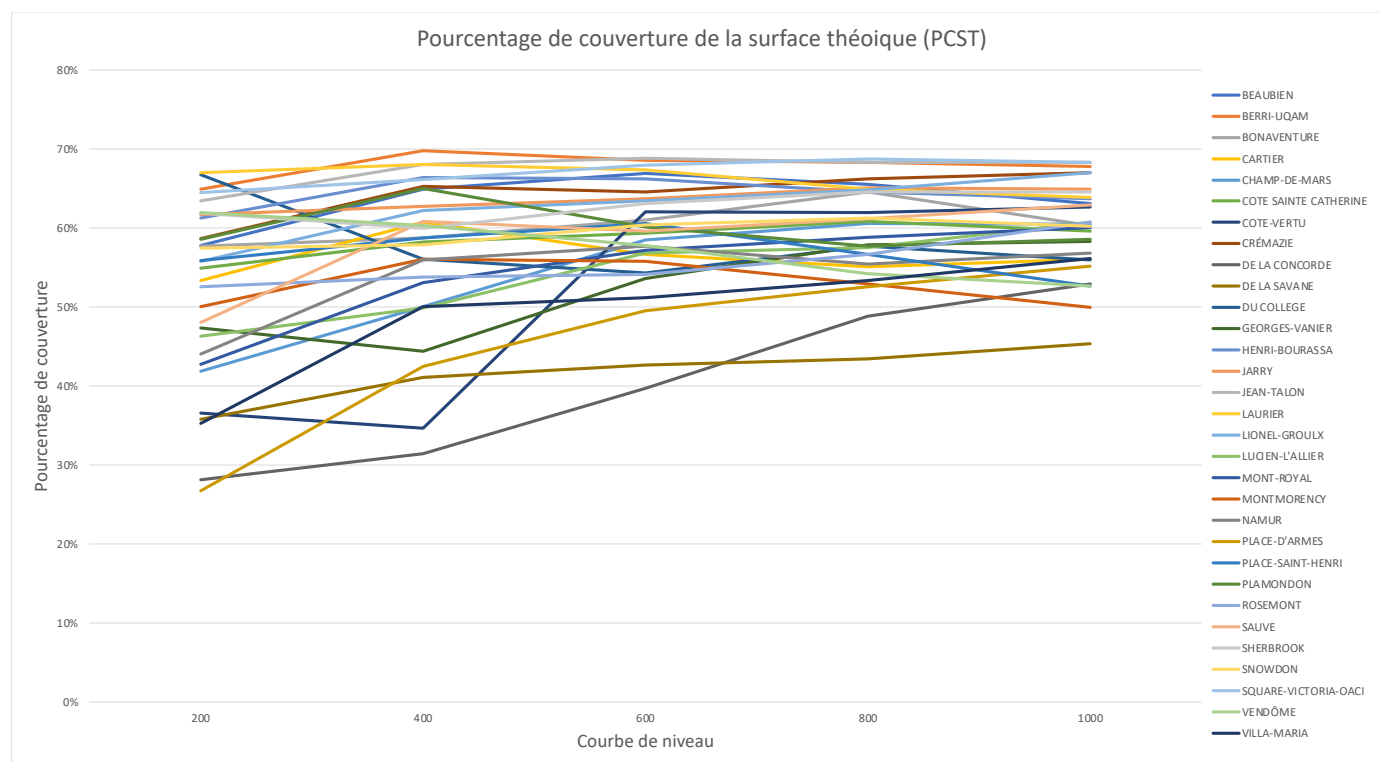


Figure 4.7 Pourcentage de couverture de la surface théorique par station par ligne de contour

La Figure 4.8 et la Figure 4.9 mettent en évidence la différence d'accessibilité entre les stations en fonction de l'infrastructure urbaine. On voit que pour le cas de la station Jean-Talon, l'accessibilité piétonne a l'air assez similaire de chaque côté du point d'accès de la station. En revanche pour la station De La Savane, la présence d'autoroutes prive les habitants du côté ouest et nord-ouest de la

station d'une bonne accessibilité. Il en résulte une accessibilité asymétrique due à la position de la station et bien évidemment une différence de valeur de PCST.



Figure 4.8 PCST pour la station De La Savane



Figure 4.9 PCST pour la station Jean-Talon

4.2.2 Indicateurs de caractérisation des trajectoires

Le deuxième type d'indicateurs concerne la structure des trajectoires piétonnes.

4.2.2.1 Tortuosité moyenne (distance)

La tortuosité moyenne des trajectoires d'accès reflète la complexité du chemin que les piétons rencontrent lorsqu'ils veulent atteindre un point d'entrée à une station de métro. La Figure 4.10 présente la distribution des valeurs de tortuosité des trajets empruntés pour chaque station. Les trajectoires étudiées pour cet indicateur sont générées avec le calculateur Transition pour des points d'origine de déplacements situés à des distances à vol d'oiseau de 600 mètres (comme expliqué dans le chapitre 3 méthodologie). Pour chaque station, chaque point d'origine fournit une valeur de tortuosité. Une tortuosité de 1 signifie que la distance basée sur le réseau est la même que la distance en ligne droite à vol d'oiseau, ce qui représente le chemin idéal. Une valeur de 2 signifie que l'itinéraire réel sur le réseau est deux fois plus long que l'itinéraire en ligne droite. Les distributions confirment que les conditions d'accès varient beaucoup entre les stations de métro. Les distributions les plus étalées correspondent aux stations Vendôme et De La Savane. Cela peut indiquer la présence de détours importants, un réseau piéton pas assez développé ou encore la présence d'autoroutes et pas assez d'intersections. Certaines stations ont également des distributions centrées autour de valeurs de tortuosité plus petites telles que les stations Lionel-Groulx, Laurier et Mont-Royal. Cela peut indiquer la présence d'une meilleure accessibilité

piétonne pour ces stations puisque la plupart des valeurs de tortuosité de celles-ci sont inférieures à 1,4.

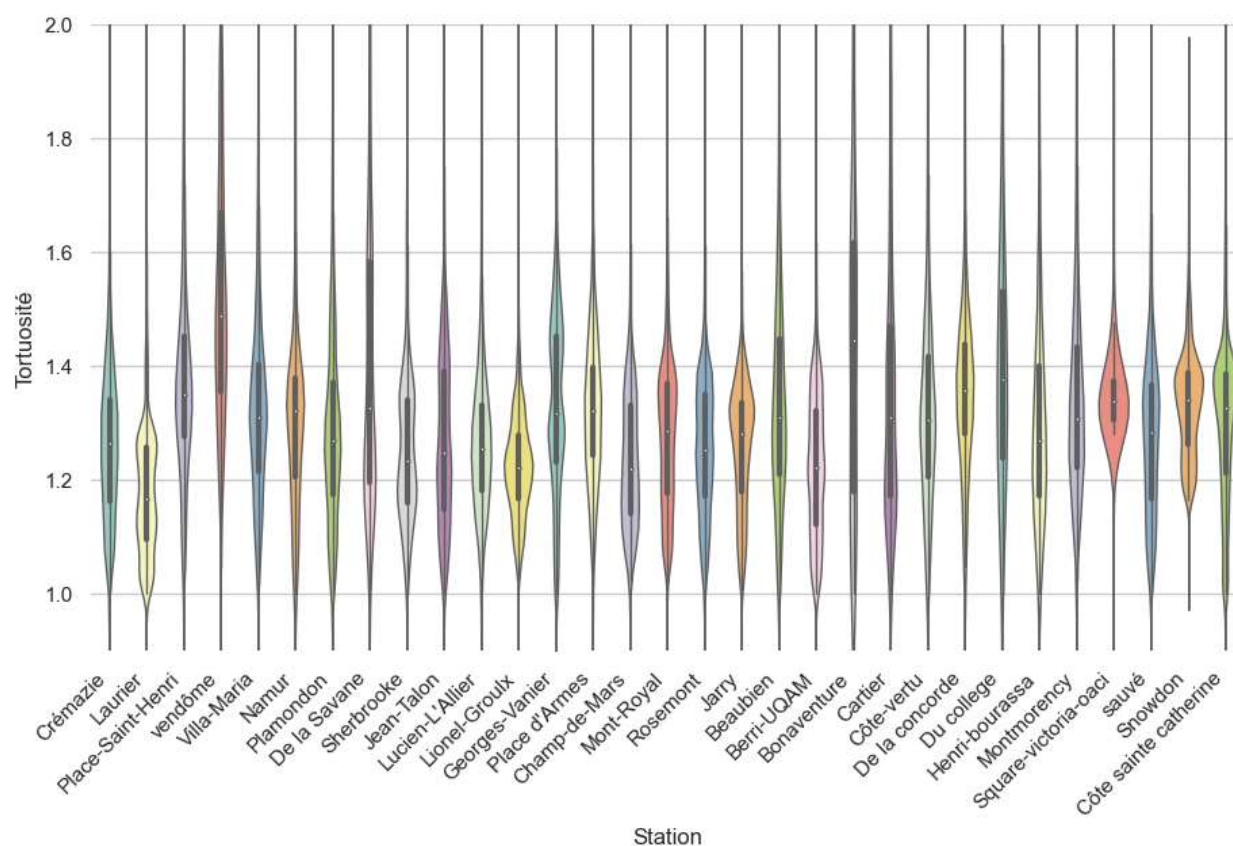


Figure 4.10 Distribution de la tortuosité vers les stations de métro pour un seuil de 600 mètres

4.2.2.2 Temps de marche moyen

Les résultats de cet indicateur témoignent que pour des distances à vol d'oiseau égales, les utilisateurs des transports en commun marchent en moyenne quelques minutes de plus pour

atteindre une station plutôt qu'une autre. Ainsi, on marche 5 minutes de plus en moyenne pour arriver à la station Vendôme que pour arriver à la station Lucien-L'Allier.

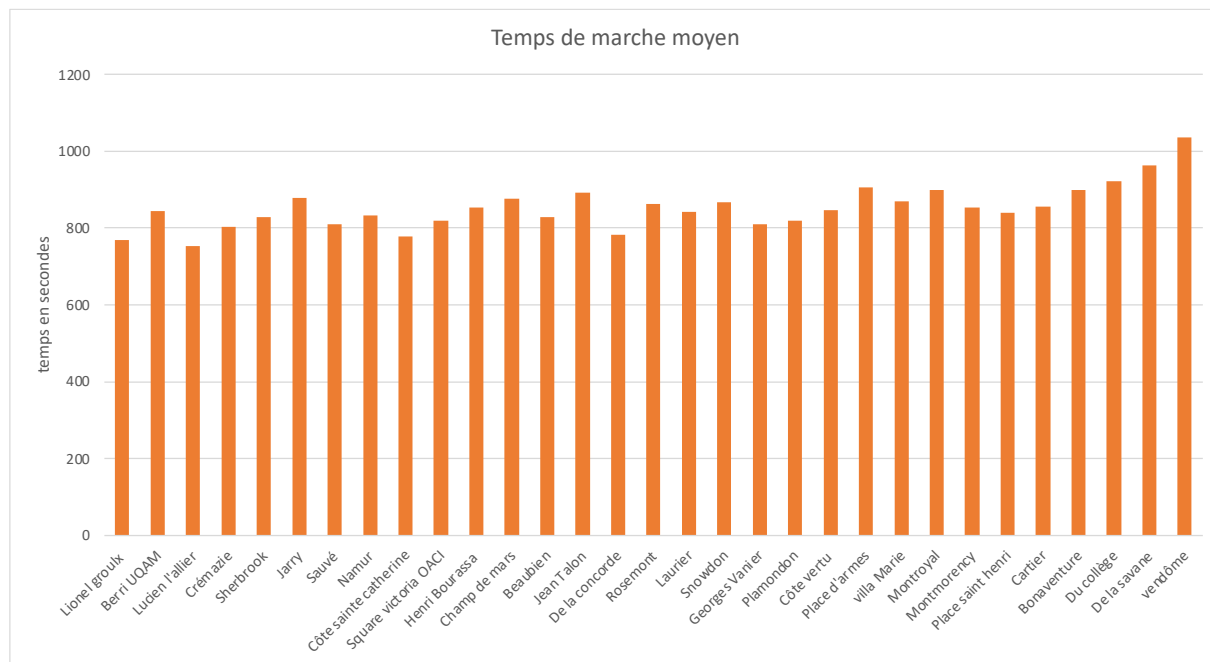


Figure 4.11 Temps de marche moyen

4.2.2.3 Distance de marche moyenne

Les résultats de cet indicateur représentés dans la Figure 4.12, montrent que pour des distances à vol d'oiseau égales, les utilisateurs des transports en commun marchent en moyenne quelques centaines de mètres en plus pour atteindre une station plutôt qu'une autre. Ainsi, à partir des résultats obtenus, on peut remarquer pour la même distance à vol d'oiseau d'une station, une

personne marche 350 mètres de plus en moyenne pour arriver à la station Vendôme qu'une personne qui marche vers l'édicule de la station Lionel-Groulx.

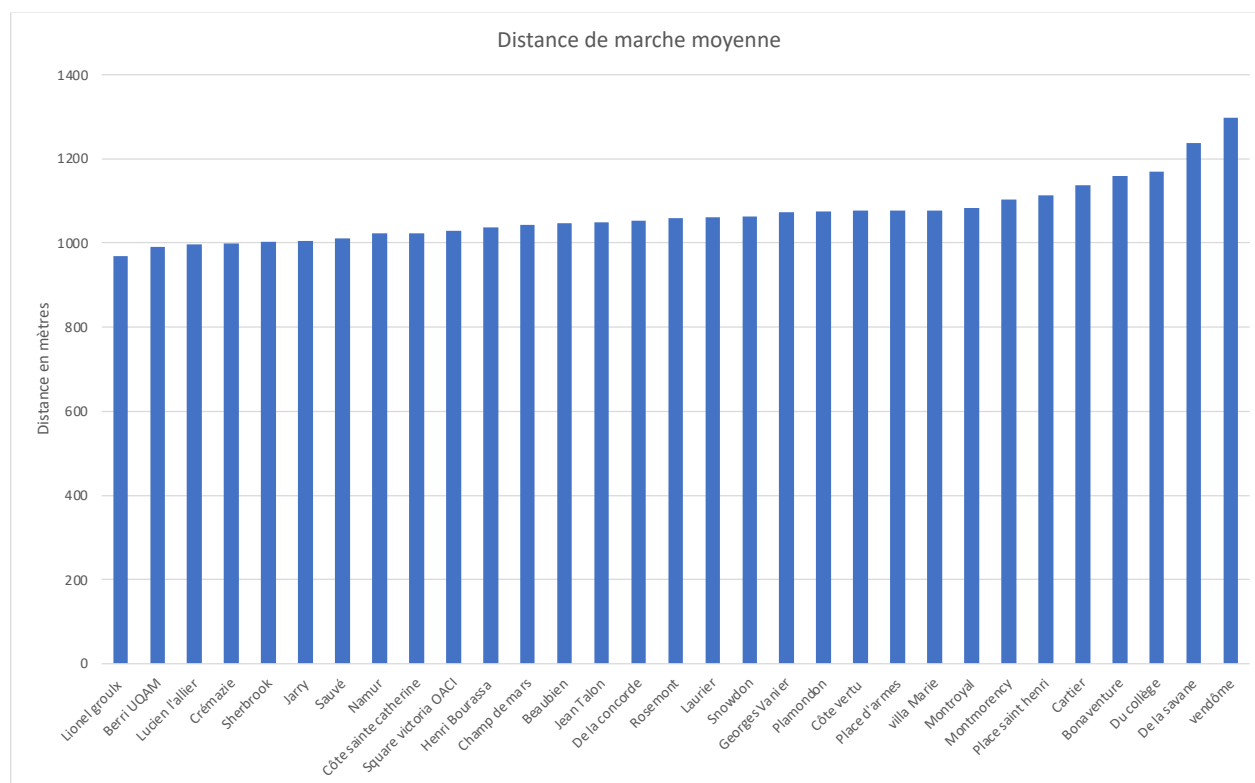


Figure 4.12 Distance de marche moyenne

4.2.3 Indicateurs de caractérisation de l'environnement bâti et des réseaux

4.2.3.1 Densité de population

Avant d'explorer les résultats pour cet indicateur, on peut s'attendre à ce qu'un quartier bien planifié pour la marche et offrant une bonne accessibilité aux transports en commun et aux services de proximité contienne plus d'habitants. Par conséquent, une densité de population plus élevée devrait également être liée à un niveau plus élevé de services de transports selon notre hypothèse. La Figure 4.13 présente le résultat obtenu pour la densité de population dans les bassins d'accessibilité délimités par les CNA pour les différents seuils de distance de marche. Pour certaines stations, il y a d'importantes variations de densité en fonction du niveau d'accessibilité étudié pour les CNA. Tels que les stations Lucien-L'Allier et Georges-Vanier qui ont une densité de population plus importante quand on s'éloigne de la station, cela peut être dû à la présence plus importante de bureaux que d'habitations et le coût important des logements. Puis on trouve les

stations Laurier, Mont-Royal et Sherbrooke avec une densité stable et assez importante témoignant de la popularité de ces quartiers pour y vivre vu leur proximité du centre-ville et des lieux de loisirs. Les stations Namur et De la Savane sont les moins densément peuplées d'après nos résultats.

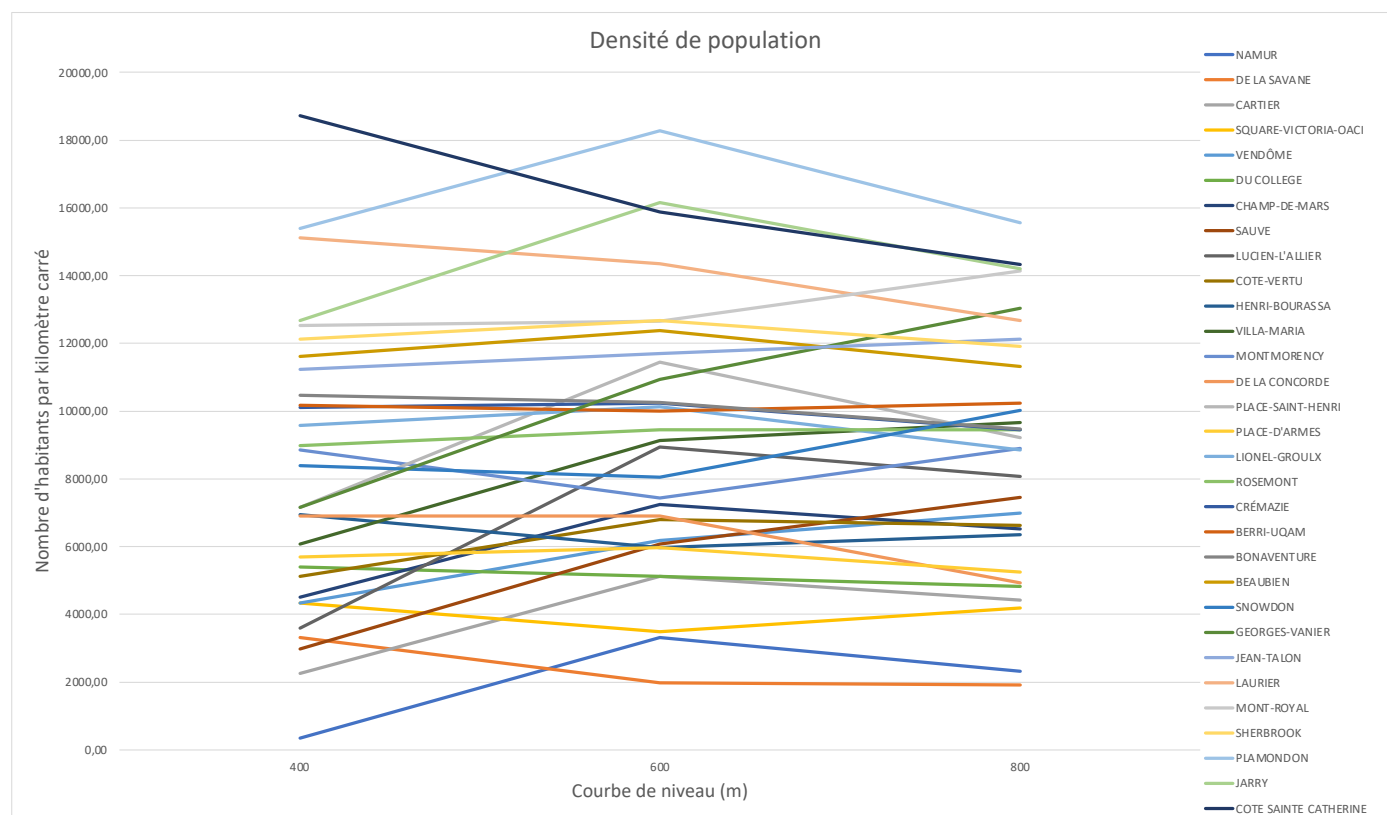


Figure 4.13 Évolution de la densité de population avec des bassins versants de différents seuils de distance

4.2.3.2 Longueur de trottoirs

La longueur des trottoirs peut être un moyen pour évaluer l'étendue des infrastructures piétonnes. On peut s'attendre à ce qu'une longueur importante de trottoirs par kilomètre carré puisse représenter un bon effort de la ville en matière d'accessibilité piétonne et être signe d'investissement pour faciliter la marche. Dans un autre contexte, cet indicateur pourrait signifier la complexité du réseau piéton. La Figure 4.14 présente l'évolution de la longueur du trottoir pour diverses distances de niveaux d'accessibilité pour les stations étudiées. La station avec la longueur de trottoir la plus importante par kilomètre carré est Georges-Vanier suivie par les stations Square-

Victoria-OACI, Mont-Royal et Laurier. Parmi les stations qui ont les valeurs les moins importantes, on trouve Montmorency, Vendôme et Sauvé.

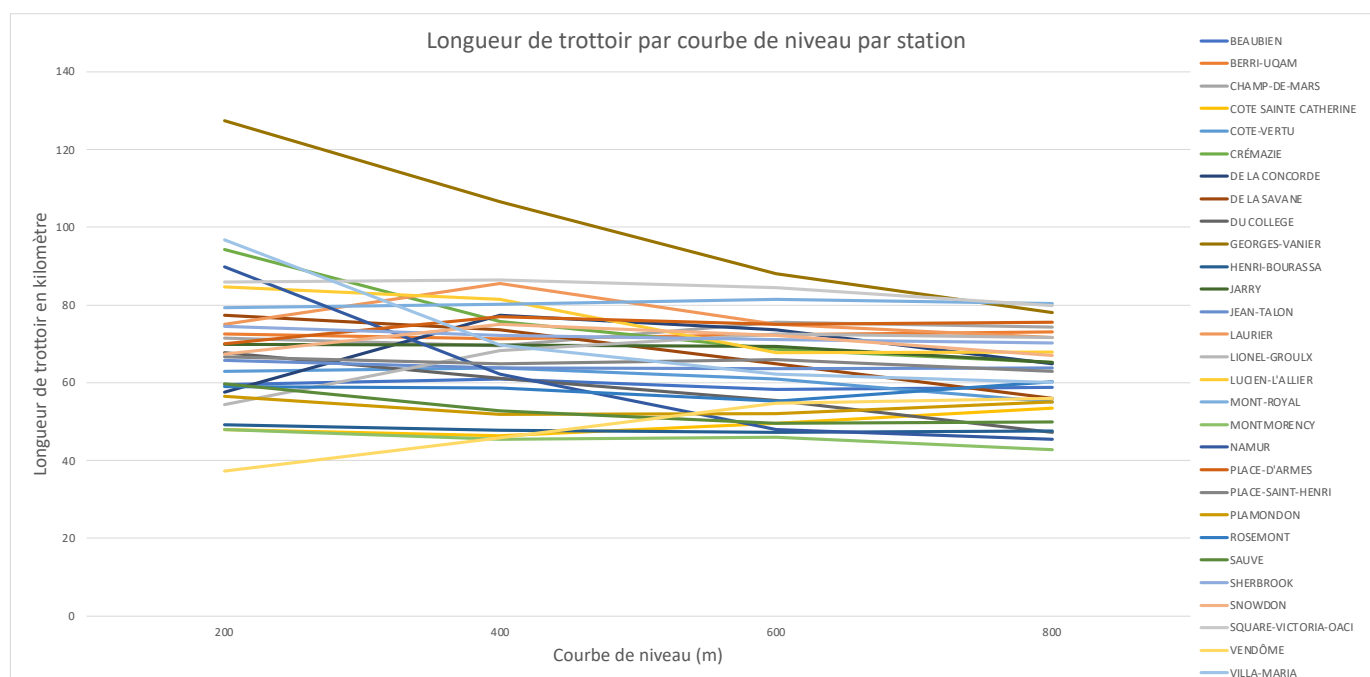


Figure 4.14 Longueur du trottoir par kilomètre carré

4.2.3.3 Nombre d'intersections

Un nombre élevé d'intersections peut être révélateur de la présence de moins de détours pour le piéton, une vitesse de circulation moins importante et donc une meilleure sécurité pour les piétons et un aménagement urbain qui donne la priorité à la marche. Cependant une présence trop importante d'intersections peut également être responsable d'une pénibilité lors de l'attente pour les piétons et donc un temps de trajet beaucoup plus important. La Figure 4.15 montre que c'est lorsqu'on se rapproche du centre-ville qu'il y a une densité d'intersections plus importante. Ainsi, ce sont les stations Square-Victoria-OACI, Berri-UQAM et Sherbrooke qui ont la densité la plus importante pour tous les niveaux d'accessibilité confondus. Il existe des exceptions pour les stations Namur et Crémazie pour le niveau d'accessibilité 200 mètres due à la présence de centres

commerciaux autour sinon leur nombre d'intersections reste faible comme celui des stations Sauvé et Vendôme.

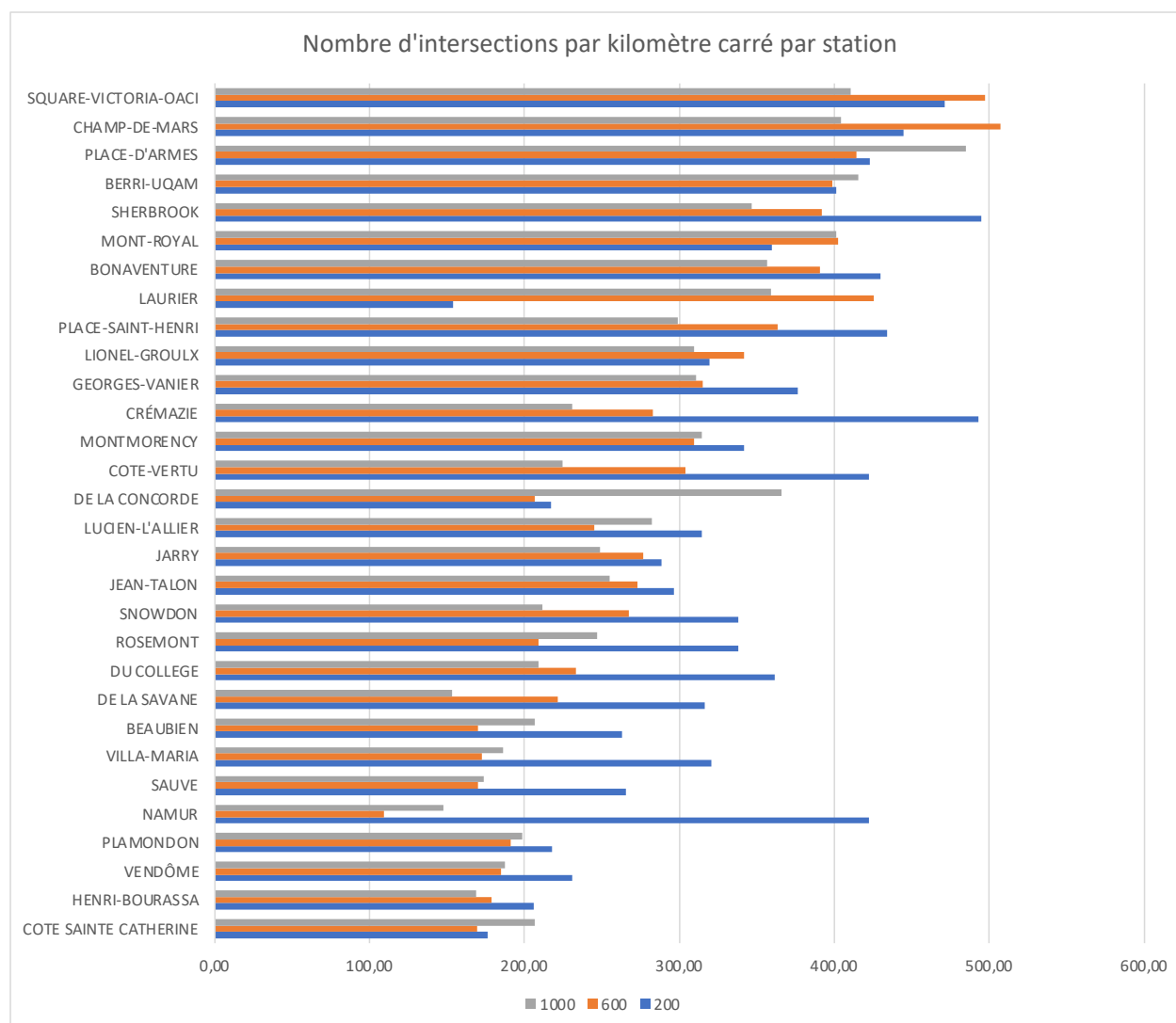


Figure 4.15 Nombre d'intersections

L'analyse des indicateurs individuels fournit des éléments de réflexion sur la réalité de l'accessibilité piétonne, mais il est important de noter que nous ne pouvons pas tirer de conclusions définitives sur la marchabilité et la perception de la difficulté d'accès uniquement à partir de ces indicateurs isolés. Une évaluation plus approfondie nécessiterait un modèle fiable basé sur un ensemble de données plus vaste. Cependant, à ce stade de la recherche et compte tenu des résultats actuels, il semble que les stations De La Savane, Naumr et De La Concorde pourraient présenter

des défis en termes d'accessibilité piétonne aux stations de métro. Ces conclusions provisoires soulignent l'importance de mener des études supplémentaires et de prendre des mesures spécifiques pour améliorer l'accessibilité dans ces zones.

Chapitre 5 Exploration de l'enquête Origine_Destination

5.1 L'enquête Origine-Destination

L'enquête Origine-Destination ou encore l'enquête OD, est une enquête descriptive des déplacements des habitants d'un territoire donné. À Montréal, elle est réalisée tous les 5 ans depuis 1970. Elle vise la récupération des données d'environ 4%-5% de la population. Sur son site en ligne officiel, l'Autorité régionale de transport métropolitain expose plusieurs objectifs (Autorité régionale de transport métropolitain 2023).

- Quantifier la mobilité des habitants et voir son évolution à travers le temps.
- Comprendre les tendances modales.
- Se préparer à l'évolution de la demande en transport.
- Pouvoir simuler les comportements en matière de transport.

En 2018, c'est 74000 ménages qui ont accepté de fournir des informations sur leurs déplacements journaliers (Autorité régionale de transport métropolitain 2018). Dans le contexte de notre étude, l'enquête OD réalisée à -Montréal pour l'année 2018, peut se révéler utile pour mieux comprendre les déplacements à l'intérieur des CNA dans des conditions normales avant la COVID.

5.1.1 Les données de l'enquête OD à l'intérieur des CNA

Le nombre de réponses sur les déplacements recueillies lors de l'enquête OD à l'intérieur des CNA, est très variable d'une station à une autre selon le niveau d'accessibilité étudié. Le Tableau 5.1, montre que pour le niveau d'accessibilité de 200 mètres, les stations De la Savane et Georges-Vanier, n'ont pas assez de déclarations de déplacements pour tous les utilisateurs des modes de transport motorisés. En effet, pour ces stations les nombres de déplacements utilisés sont relativement de 22 et 20 déplacements ce qui est plutôt faible et ne permet pas d'avoir un portrait représentatif de la réalité. Les résultats seront donc à prendre avec du recul. Cela s'améliore pour le niveau d'accessibilité 400, 600, 800 et 1000 mètres.

Tableau 5.1 Nombre de déplacements déclarés à l'intérieur des CNA pour différentes distances

Station	200 m	400 m	600 m	800 m	1000 m
BEAUBIEN	151	330	557	990	1525
BERRI-UQAM	880	1793	2570	3557	5577

Tableau 5.1 Nombre de déplacements déclarés à l'intérieur des CNA pour différentes distances (suite)

Station	200 m	400 m	600 m	800 m	1000 m
BONAVENTURE	1157	2153	3533	5093	6008
CARTIER	69	103	165	230	317
CHAMP-DE-MARS	113	1256	2482	3223	4356
CÔTE-SAINTÉ-CATHERINE	47	102	365	745	1085
CÔTE-VERTU	184	285	462	778	1135
CRÉMAZIE	218	376	619	947	1332
DE LA CONCORDE	33	70	136	241	743
DE LA SAVANE	22	83	168	260	431
DU COLLÈGE	75	164	317	507	921
GEORGES-VANIER	20	47	204	500	954
HENRI-BOURASSA	129	273	446	680	969
JARRY	101	265	544	924	1465
JEAN-TALON	177	486	861	1294	1870
LAURIER	183	425	821	1187	1854
LIONEL-GROULX	74	188	473	699	1182
LUCIEN-L'ALLIER	43	251	912	1848	3684
MONT-ROYAL	130	300	600	1077	1502
MONTMORENCY	154	483	748	892	1076
NAMUR	99	199	309	447	622
PLACE-D'ARMES	72	693	1352	2646	5562
PLACE-SAINT-HENRI	71	160	310	568	752
PLAMONDON	87	176	282	471	765
ROSEMONT	123	215	375	717	1191
SAUVE	53	160	333	563	809
SHERBROOK	133	314	888	1638	3092
SNOWDON	61	222	410	639	898
SQUARE-VICTORIA-OACI	786	2051	3533	5565	7339
VENDÔME	80	472	663	857	1093
VILLA-MARIA	38	132	307	561	854

5.2 L'utilisation des transports en commun par rapport aux modes motorisés

Pour pouvoir quantifier l'utilisation des transports en commun à l'intérieur des CNA, on calcule la part modale du transport en commun par rapport à tous les déplacements motorisés (pour chaque niveau d'accessibilité) et ce pour tous les motifs confondus. Les déplacements considérés sont ceux dont le point d'origine est localisé à l'intérieur des CNA. Lorsque nous parlons de déplacements motorisés ou en transport en commun, nous considérons dans nos filtres tous les déplacements pour tous les motifs confondus.

$$Part\ modale\ du\ TC = \frac{Nombre\ de\ déplacements\ faits\ en\ TC}{Nombre\ de\ déplacements\ motorisés\ totaux} \quad (5.1)$$

5.2.1 Étude du niveau d'accessibilité 200 mètres

Les stations De La Concorde, Cartier, Montmorency et De la Savane ont des parts modales d'utilisation du TC de moins de 30%. On peut supposer que malgré des distances d'accessibilité piétonne aux stations de métro très faibles, ces stations restent peu attrayantes pour les voyageurs et ne peuvent pas concurrencer l'automobile dans ces zones. Cela peut être dû à une grande pénibilité de la pratique de marche, la présence de détours ou encore un manque d'infrastructures piétonnes comme on a pu le supposer lors de l'analyse des différents indicateurs au chapitre 4.

Les stations Champ-de-Mars, Square-Victoria OACI, Bonaventure, Place-d'Armes et Berri-UQAM ont une part modale du TC qui dépasse 70%. Ces stations du centre-ville ont plusieurs édicules d'entrées et couvrent de grandes surfaces par leurs CNA. Ainsi, on peut supposer que ces stations jouissent d'un environnement propice à la pratique de la marche et proposent une multitude d'activités favorisant l'utilisation du transport en commun. Les stations Laurier, Lucien-L'Allier et Mont-Royal quant à elles ont une surface couverte par les CNA moins étendue, mais présentent également une part modale assez importante.

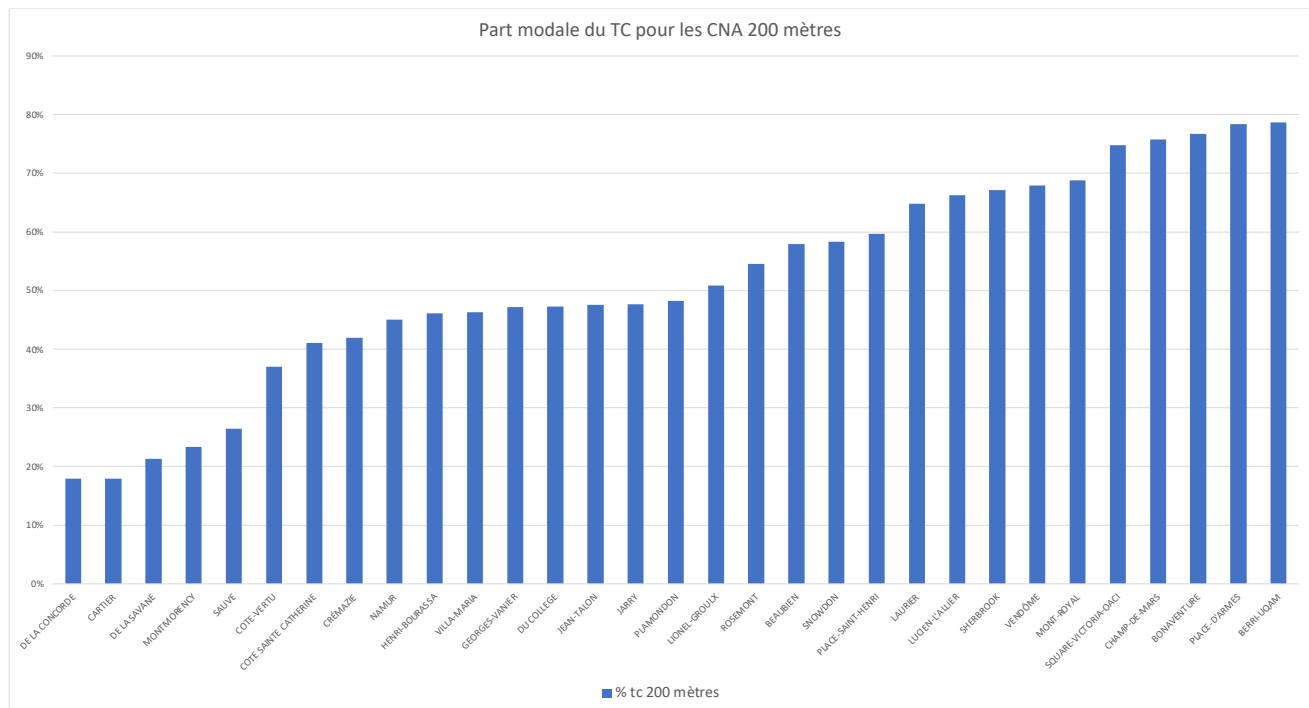


Figure 5.1 Part modale du TC pour les CNA 200 mètres

5.2.1.1 Part du métro parmi les déplacements en TC pour des CNA 200 mètres

Le calcul de la part modale du métro parmi les déplacements en TC permet de savoir si le voyageur a plusieurs options de transport en commun à 200 m de marche du métro. Lors de l'étude des déplacements faits en métro nous ne considérons que ceux dont le premier mode était le métro et plus spécifiquement la ligne orange.

$$\text{Part modale du métro} = \frac{\text{Nombre de déplacements faits en métro}}{\text{Nombre de déplacements faits en transport en commun}} \quad (5.2)$$

Les résultats obtenus montrent que pour les stations De La Concorde et Henri-Bourassa l'usage du métro représente moins de 50% de la part modale totale du TC. C'est-à-dire que le bus est probablement plus attrayant à l'intérieur de ces CNA que le métro. Ainsi, le bus permettrait peut-être d'avoir un trajet plus court et ne pas faire de transfert ou sinon des transferts moins pénibles qu'avec le métro. Pour les stations Berri-UQAM, Namur, Lionel-Groulx, Champ-de-Mars, Georges-Vanier et De La Savane, le métro représente plus de 95% de l'utilisation totale du TC.

Cela peut être dû à l'absence d'autres modes de TC compétitifs au métro ou encore la preuve de l'efficacité du métro dans la réalisation des trajets.

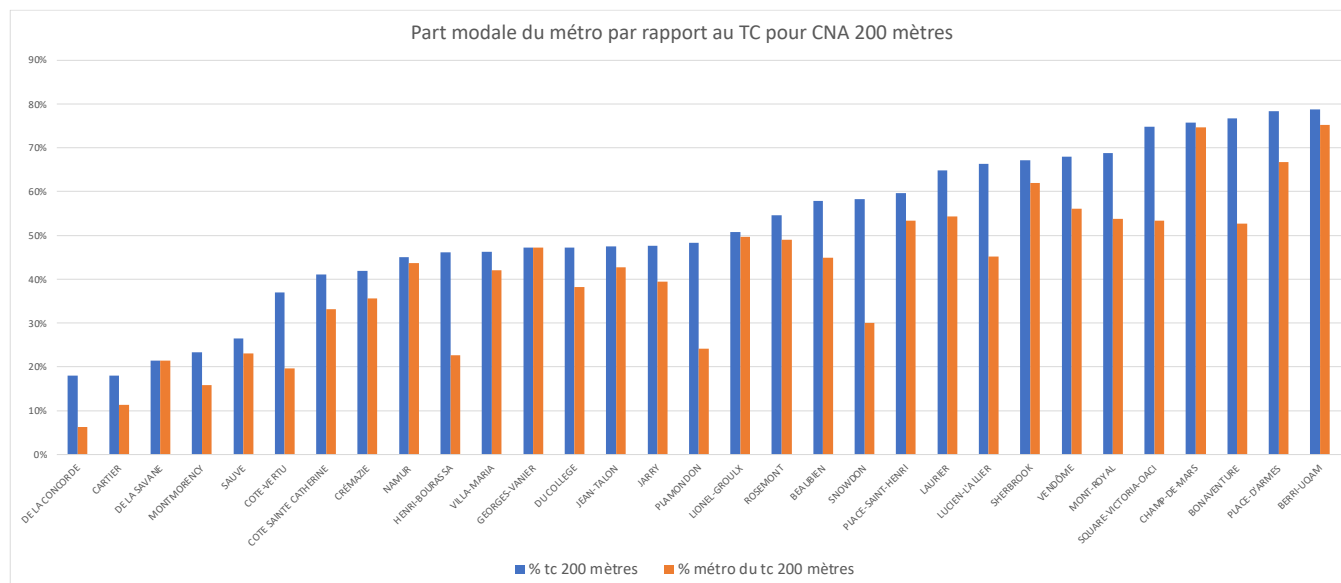


Figure 5.2 Part du métro dans le TC pour des CNA 200 mètres

Ainsi, l'exploitation des résultats de l'enquête OD pour les CNA 200 mètres montre que l'utilisation du TC est plus importante dans certains quartiers.

5.2.2 Pour le niveau d'accessibilité 1000 mètres

Les CNA autour des stations De La Savane, Cartier et Namur ont une part modale du TC inférieure à 35% pour l'utilisation du TC. On peut en conclure que ces stations ne sont pas bien aménagées pour la marche vers les nœuds du transport en commun et que la voiture reste le moyen de transport de prédilection pour les habitants de ces quartiers. Les CNA autour des stations du centre-ville et

des stations Laurier, Mont-Royal et Rosemont ont une part modale assez importante témoignant d'une attractivité réelle pour l'usage des transports en commun.

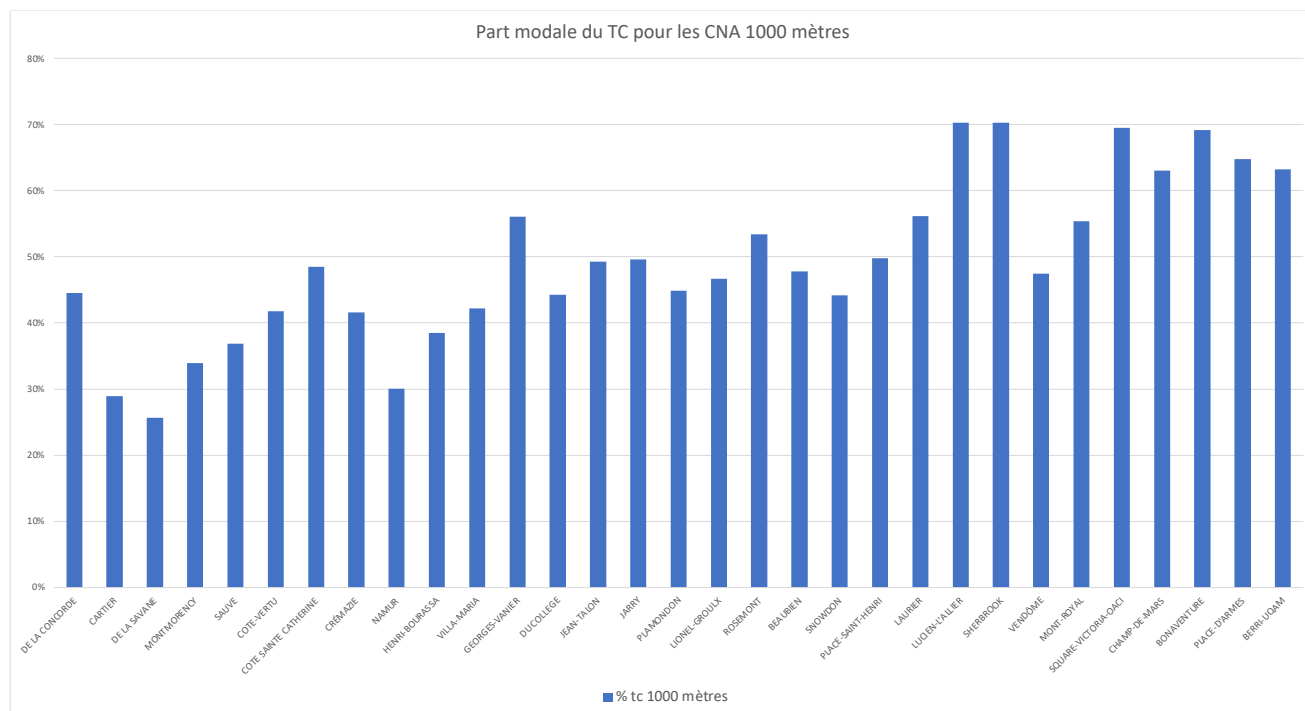


Figure 5.3 Part modale du TC pour les CNA 1000 mètres

L'étude de la part du métro dans le TC pour un niveau d'accessibilité de 1000 mètres montre qu'autour des CNA des stations Montmorency et De La Concorde, l'utilisation du métro est inférieure à 50%. Donc le métro n'est pas si accessible qu'il ne le devrait pour les piétons et le bus demeure attractif pour la population de ces quartiers. Autour des stations Lionel-Groulx, Place-

Saint-Henri, De la Savane et Champ-de-Mars, la part d'utilisation du métro comme moyen de transport en commun assez importante.

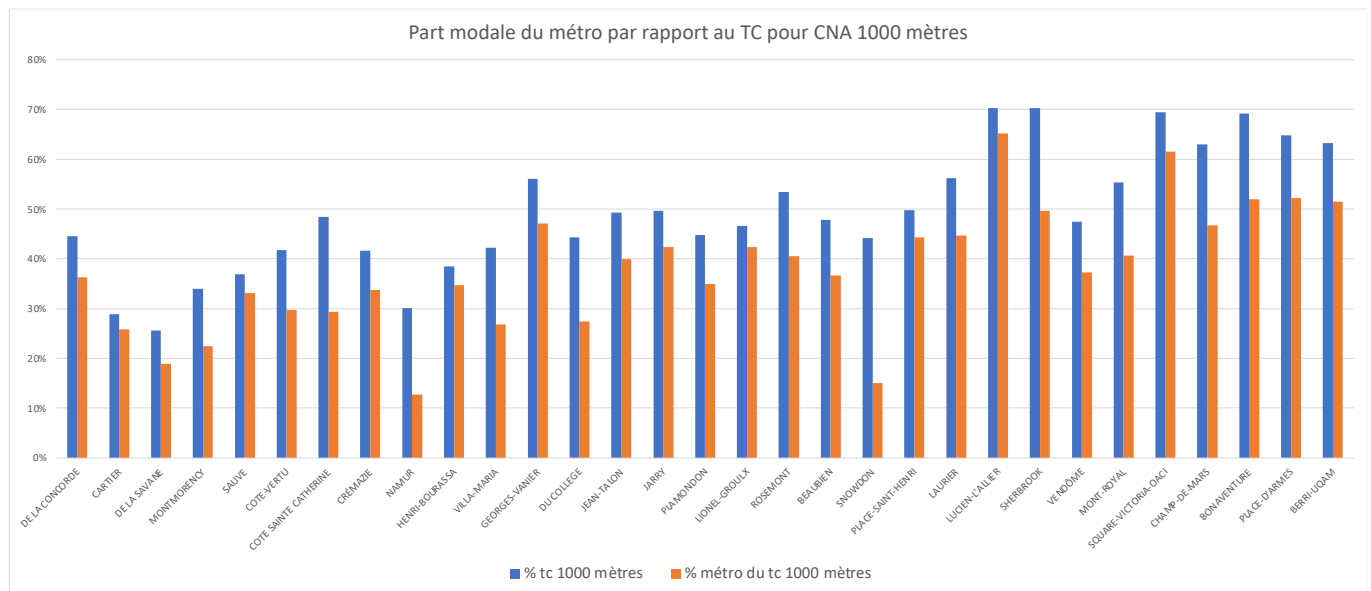


Figure 5.4 Part du métro dans le TC pour des CNA 1000 mètres

5.3 Comportement de mobilité des personnes âgées

Nous nous intéressons spécifiquement ici à l'accessibilité des personnes âgées pour étudier l'accessibilité auprès de la tranche de la population qui peut être considérée comme la plus vulnérable et dont la pénibilité d'accès peut s'avérer la plus importante. Les parts modales dans cette partie sont calculées selon les formules 5.3 et 5.4.

$$\text{Part modale du TC (65 ans et plus)} = \frac{\text{Nombre de déplacements faits en TC} *}{\text{Nombre de déplacements motorisés totaux}} \quad (5.3)$$

$$\text{Part modale du métro (65 ans et plus)} = \frac{\text{Nombre de déplacements faits en métro} *}{\text{Nombre de déplacements faits en TC} *} \quad (5.4)$$

* : On utilise les données de déplacements déclarés chez les personnes de 65 ans et plus.

Les résultats, synthétisés dans la Figure 5.5, montrent dans un premier temps que chez les personnes âgées, la part du TC dans les déplacements motorisés ne dépasse pas 16%. Les surfaces délimitées par les CNA autour des stations De La Savane, De La Concorde et Namur semblent être les moins attrayantes pour les aînées et le métro ne semble pas être le moyen de prédilection des

usagers. Autour des stations Vendôme, Montmorency et Henri-Bourassa, il semble y avoir plus de personnes âgées qui prennent les TC et ce n'est le métro qui est le plus utilisé à part pour la station Vendôme.

Dans un second temps on remarque que les stations de métro Champ-de-Mars, Place-d'Armes et Berri-UQAM qui ont peut-être une meilleure accessibilité pour les personnes âgées.

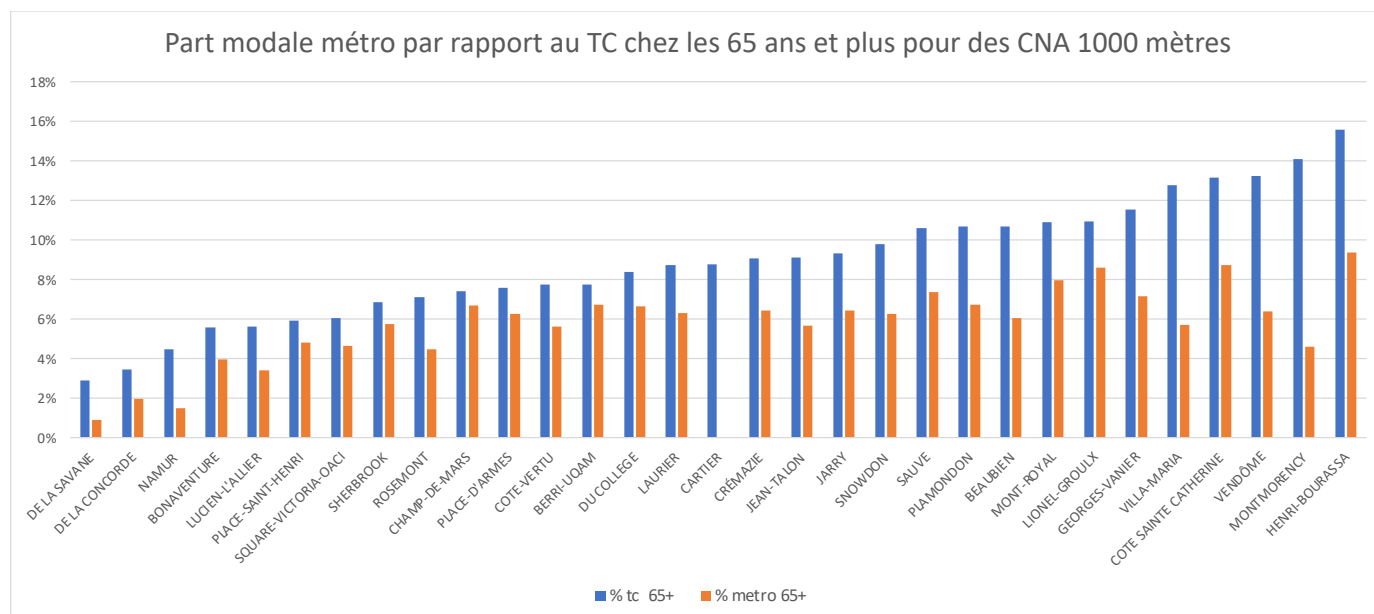


Figure 5.5 Part modale du TC et du métro chez les 65 ans et plus pour des CNA 1000 mètres

Dans cette section, notre objectif était de mieux comprendre la répartition de l'utilisation des transports en commun à l'intérieur des CNA en tenant compte des observations fournies par les indicateurs précédemment. Ainsi, en étudiant la distribution de la part modale des transports en commun à l'intérieur des CNA, nous pouvons obtenir une vision plus complète de l'utilisation du TC dans ces zones.

De plus, nous nous concentrons spécifiquement sur la mobilité des personnes âgées car cette approche nous permet de mettre en évidence les éventuelles lacunes en termes d'accessibilité piétonne et de réseau de transport, ainsi que la facilité d'utilisation pour les personnes vulnérables. Dans une analyse plus poussée cela permettrait d'identifier les problèmes potentiels d'accessibilité et de convivialité du système de transport, afin de proposer des solutions qui améliorent la mobilité et l'inclusion des personnes vulnérables.

Chapitre 6 Conclusion

Cette étude met en évidence l'importance de l'accessibilité piétonne dans la détermination de l'attractivité du transport en commun. Les indicateurs développés dans le cadre de ce projet, permettent d'évaluer l'accessibilité piétonne aux stations de métro de la ligne orange. Cette recherche contribue à l'amélioration de la planification urbaine et offre des perspectives pour étendre l'analyse de l'accessibilité piétonne à d'autres arrêts de transport en commun.

6.1 Synthèse de la recherche et contributions

La détermination de l'accessibilité piétonne aux nœuds de transport en commun joue un rôle crucial dans l'amélioration de l'aménagement urbain. La délimitation des zones desservies par les stations de transport en commun à l'aide d'une mesure basée sur le réseau est essentielle pour évaluer de manière plus précise l'accessibilité à pied au service. Cette recherche propose une méthodologie simple pour délimiter les bassins d'attraction autour d'un nœud de transport en commun, tout en optimisant l'exploitation des résultats obtenus.

Les indicateurs étudiés

Dans ce mémoire, nous avons utilisé un ensemble d'indicateurs basés sur diverses sources de données et des méthodes simples à estimer pour diagnostiquer la qualité de l'accessibilité à un ensemble de stations du métro de Montréal. Ces indicateurs ont contribué à une évaluation multi-perspective de la performance de l'accès à pied aux stations. Ils ont permis de générer des pistes de réflexion et de formuler des hypothèses pour expliquer les écarts d'indicateurs entre les différentes stations.

Durant l'analyse de ces indicateurs, nous avons pris en compte la multiplicité des édicules et des points d'entrée à la station, la diversification des activités à proximité, l'accessibilité pour les personnes vulnérables, ainsi que l'étendue et la qualité des trottoirs. Tous ces éléments ont contribué à une évaluation plus complète de l'accessibilité piétonne et ont permis de mettre en évidence les aspects à améliorer pour favoriser une meilleure accessibilité aux stations de métro. Ces indicateurs sont synthétisés dans le Tableau 6.1 et nous permettent de tirer quelques observations.

- La surface moyenne des zones étudiées est de 0,88 km², avec une grande variabilité entre les quartiles, allant de 0,26 km² à 1,38 km². Cette différence peut indiquer une diversité importante

dans la taille des zones, ce qui peut refléter des différences dans l'urbanisation et l'utilisation des terres des zones étudiées.

- Le périmètre moyen des zones est de 3,98 km, avec une différence importante entre les quartiles allant de 2,41 km à 5,57 km. Cette variation suggère une diversité géométrique des zones, avec des formes territoriales plus complexes dans certaines zones étudiées par rapport à d'autres.
- Le PCST moyen est de 57%, avec une faible différence entre les quartiles 56% et 63%. Cela suggère une cohérence générale dans la non-couverture générale de toute la surface théorique, avec des variations relativement modérées entre les zones étudiées.
- La tortuosité moyenne (distance) est de 1,35 avec une faible variation de 1,20 à 1,40. Cette cohérence dans les distances de marche par rapport aux distances à vol d'oiseau montre une régularité relative dans les distances de marche entre les stations étudiées.
- Le temps de marche moyen est de 852,87 secondes, avec une légère dispersion allant de 819,07 à 876,68 secondes. Cela suggère une cohérence générale dans les temps de déplacement à pied pour le parcours d'une distance de 800 mètres, avec des variations mineures dans l'accessibilité et la connectivité piétonne globale des différentes zones.
- La distance de marche moyenne est de 1069,10 mètres, avec une dispersion légère de 1023,13 à 1080,06 mètres. Cette cohérence dans les distances parcourues à pied pour effectuer une distance de 800 mètres à vol d'oiseau indique une certaine uniformité dans l'étendue spatiale des déplacements piétonniers.
- La densité de population moyenne est de 8254,13 personnes par km², avec une grande variabilité allant de 5150,25 à 11144,09 personnes par km². Cette variation importante indique des différences significatives dans la densité de population des différentes zones, reflétant peut-être des variations d'urbanisation, de développement économique et de concentration démographique.
- La longueur moyenne des trottoirs est de 65,36 mètres par km², avec une variation de 55,91 à 72,58 mètres par km². Cette différence dans la longueur des trottoirs suggère des différences dans les infrastructures piétonnières, avec des variations modérées entre les zones.
- Le nombre moyen d'intersections est de 300,64 intersections par km², avec une dispersion importante allant de 207,24 à 390,21 intersections par km². Cette variation dans la densité du réseau routier indique des différences importantes dans l'accessibilité, la connectivité et la complexité des systèmes de transport entre les zones.

- Ces analyses globales des indicateurs permettent de mieux comprendre les caractéristiques géographiques, l'urbanisation, l'accessibilité et les différences socio-économiques autour de chaque bassin d'accessibilité relatif aux stations étudiées. Ces informations peuvent être utiles pour la planification urbaine, l'aménagement du territoire et la prise de décision dans le développement local.

Tableau 6.1 Analyse globale des indicateurs

Indicateur	Moyenne	Premier quartile	Troisième quartile
Surface (km ²)	0,88	0,26	1,38
Périmètre (km)	3,98	2,41	5,57
PCST	57%	56%	64%
Tortuosité moyenne	1,35	1,20	1,40
Temps de marche moyen (secondes)	852,87	819,07	876,68
Distance de marche moyenne (mètres)	1 069,10	1 023,13	1 080,06
Densité de population (personne/km ²)	8 254,13	5 150,25	11 144,09
Longueur de trottoir (km/km ²)	65,36	55,91	72,58
Nombre d'intersections (intersections/km ²)	300,64	207,24	390,21

6.2 Limites de la recherche

Il existe plusieurs limites à ce travail. Pour l'instant, un seul sous-ensemble de stations de métro a été examiné (stations de la ligne orange). Certains des indicateurs pertinents doivent encore être estimés et d'autres indicateurs déjà calculés pourraient être plus affinés. Il est important de prendre en compte plusieurs limites concernant les indicateurs utilisés dans cette étude. Tout d'abord, une légère erreur dans le codage des données du réseau peut avoir un impact significatif sur la surface et le périmètre des zones délimitées par les CNA, et par conséquent sur le PCST. Cela souligne la sensibilité de ces mesures aux données de base utilisées. De plus, la tortuosité moyenne et la

distance de marche sont étroitement liées à la qualité des données du réseau piéton. Des erreurs ou l'inexactitude de ces données peuvent entraîner des estimations moins précises de la tortuosité moyenne et de la distance de marche, réduisant ainsi la fiabilité des résultats. Il est également important de souligner que les temps de déplacement calculés ne prennent pas en compte le temps d'attente aux intersections et l'hétérogénéité de la vitesse de marche. Ceci signifie que les temps de déplacement estimés peuvent ne pas refléter pleinement la réalité sur le terrain. Par ailleurs, l'estimation de la densité de population repose sur des données agrégées par centroïdes des îlots de diffusion. Il convient de noter que ces données ne représentent qu'une approximation partielle de la densité réelle de la population dans chaque zone étudiée. Par conséquent, les résultats liés à la densité de population doivent être interprétés avec prudence. Enfin, la longueur des trottoirs et la densité des intersections sont des indicateurs qui dépendent également de la qualité des données disponibles. Des erreurs ou des incohérences dans ces données peuvent affecter la précision des résultats obtenus.

Il est donc essentiel de prendre en compte ces limites lors de l'interprétation des résultats de l'étude. Des ajustements, des améliorations des données et des analyses plus approfondies peuvent être nécessaires pour obtenir une image plus précise et complète de la réalité urbaine étudiée. De plus, les indicateurs ne reflètent que des éléments structurels et ne tiennent pas compte de la qualité de l'infrastructure piétonne, des préoccupations en matière de sécurité, de l'éclairage ou d'autres caractéristiques susceptibles d'influer sur la perception de la qualité des itinéraires pour les piétons. Les résultats émis ne servent donc qu'à émettre des hypothèses et non pas à conclure de façon fiable sur l'état réel de l'accessibilité piétonne à l'intérieur des CNA.

6.3 Perspectives

La poursuite de l'élaboration d'autres indicateurs et l'application de ces méthodes à l'ensemble des stations de métro et autres nœuds importants du transport en commun permettraient d'obtenir une vision plus détaillée de l'accessibilité aux transports en commun à Montréal. À l'étape suivante, il serait intéressant d'utiliser l'ensemble des indicateurs évalués pour classer les stations et fournir des informations supplémentaires sur les domaines d'intervention prioritaires, les moyens d'améliorer l'accessibilité et de quantifier le marché potentiel du transport en commun. Cela pourrait être réalisé en prenant en compte à la fois la population et les lieux d'activité, ainsi que les mesures de compétitivité du transport en commun par rapport à la voiture, afin de déterminer

comment l'amélioration de l'accès au transport en commun peut augmenter la part modale des transports en commun.

Il serait également pertinent d'inclure le segment intérieur du chemin menant au quai du métro afin d'examiner l'ensemble du parcours d'accès pour les utilisateurs des transports en commun. En effet, une personne doit continuer de marcher à l'intérieur de la gare, monter et descendre des escaliers, traverser des couloirs parfois bondés, et cette partie du parcours affecte également la facilité d'accès au quai.

L'amélioration de la couverture des nœuds de transport importants, tels que les stations de métro, pourrait permettre à un plus grand nombre de personnes de se trouver à l'intérieur des limites d'accessibilité du transport en commun. Cela contribuerait à améliorer la compétitivité du transport en commun et à augmenter le nombre d'usagers, sans nécessiter la mise en place de nouveaux services et infrastructures. Identifier les stations présentant le plus grand potentiel, par rapport à la couverture théorique, pourrait aider à mieux cibler les interventions du réseau, à la fois pour l'exploitant du transport en commun et pour la municipalité.

RÉFÉRENCES

- Autorité régionale de transport métropolitain. 2018. « Enquête origine-destination 2018 ». Faits saillants de l'état de la mobilité des personnes dans la région métropolitaine de Montréal. quebec. <https://www.artm.quebec/planification/enqueteod/>.
- Autorité régionale de transport métropolitain. 2023. « Réseau express métropolitain (REM) – Autorité régionale de transport métropolitain | ARTM ». 2023. <https://www.artm.quebec/grands-projets/reseau-express-metropolitain-rem/>.
- Barrero, German A., et Alvaro Rodriguez-Valencia. 2022. « Asking the User: A Perceptual Approach for Bicycle Infrastructure Design ». *International Journal of Sustainable Transportation* 16 (3): 246-57. <https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1871127>.
- Beguni, Catalin, Eduard Zadobrischi, Sebastian-Andrei Avatamanitei, et Alin-Mihai Cailean. 2022. « Experimental Demonstration of a Visible Light Communications Crosswalk Assistance System ». In *2022 International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC)*, 1-4. Timisoara, Romania: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISETC56213.2022.10009985>.
- Bivina, G R. 2019. « Influence of Microscale Environmental Factors on Perceived Walk Accessibility to Metro Stations », 14.
- Bonnel, Patrick. 2002. « Prévision de la demande de transport ». *Rapport HDR*, mai.
- Boyce, P.R., N.H. Eklund, B.J. Hamilton, et L.D. Bruno. 2000. « Perceptions of Safety at Night in Different Lighting Conditions ». *Lighting Research and Technology* 32 (2): 79-91. <https://doi.org/10.1177/096032710003200205>.
- Cui, Jianqiang, Andrew Allan, Michael A.P. Taylor, et Dong Lin. 2013. « Underground Pedestrian Systems Development in Cities: Influencing Factors and Implications ». *Tunnelling and Underground Space Technology* 35 (avril): 152-60. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2012.12.009>.
- Dalmat, Ronit R. 2021. « Walkability Measures to Predict the Likelihood of Walking in a Place: A Classification and Regression Tree Analysis », 10.
- Diab, Ehab, Madhav Badami, et Ahmed El-Geneidy. 2015. « Bus Transit Service Reliability and Improvement Strategies: Integrating the Perspectives of Passengers and Transit Agencies in North America ». *Transport Reviews* 35 (janvier): 292-328.

<https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1005034>.

Doiron, Dany, Eleanor M. Setton, Kerolyn Shairsingh, Michael Brauer, Perry Hystad, Nancy A. Ross, et Jeffrey R. Brook. 2020. « Healthy Built Environment: Spatial Patterns and Relationships of Multiple Exposures and Deprivation in Toronto, Montreal and Vancouver ». *Environment International* 143 (octobre): 106003. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106003>.

Donker, S F, J Kruisheer, et F Kooi. 2010. « Pedestrian Walking Speed as a Tool to Study Environment-Behavior ». 2010.

Dumas, Claude. 2012. « Mobilité des personnes âgées ». *Gérontologie et société* 35 / n° 141 (2): 63. <https://doi.org/10.3917/g.s.141.0063>.

Environnement et Changement climatique Canada. 2023. « Indicateurs canadiens de durabilité de l'environnement : Émissions de gaz à effet de serre ». www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/indicateursenvironnementaux/emissions-gaz-effet-serre.html.

Evans, Gary W., et Rachel Stecker. 2004. « Motivational Consequences of Environmental Stress ». *Journal of Environmental Psychology* 24 (2): 143-65. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(03\)00076-8](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(03)00076-8).

Ewing, Reid, et Robert Cervero. 2010. « Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis ». *Journal of the American Planning Association* 76 (3): 265-94. <https://doi.org/10.1080/01944361003766766>.

Forsyth, Ann. 2015. « What Is a Walkable Place? The Walkability Debate in Urban Design ». *URBAN DESIGN International* 20 (4): 274-92. <https://doi.org/10.1057/udi.2015.22>.

Gatersleben, Birgitta, et Hebba Haddad. 2010. « Who Is the Typical Bicyclist? » *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 13 (1): 41-48. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2009.10.003>.

Gossling, Stefan, Jessica Nicolosi, et Todd Litman. 2021. « The Health Cost of Transport in Cities ». *CURRENT ENVIRONMENTAL HEALTH REPORTS* 8 (2): 196-201. <https://doi.org/10.1007/s40572-021-00308-6>.

Grenier. 2019. « 6 aménagements pour accroître la mobilité et la sécurité des piétons | 100° ». avril 2019. <https://centdegres.ca/ressources/6-amenagements-pour-accroitre-la-mobilite-et-la-securite->

des-pietons.

Inturri, Giuseppe, Nadia Giuffrida, Michela Le Pira, Martina Fazio, et Matteo Ignaccolo. 2021. « Linking Public Transport User Satisfaction with Service Accessibility for Sustainable Mobility Planning ». *ISPRS International Journal of Geo-Information* 10 (4): 235. <https://doi.org/10.3390/ijgi10040235>.

Keller, Christine, Felix Glück, Carl Friedrich Gerlach, et Thomas Schlegel. 2022. « Investigating the Potential of Data Science Methods for Sustainable Public Transport ». *Sustainability* 14 (7): 4211. <https://doi.org/10.3390/su14074211>.

Kimpel, Thomas Jeffrey, and Kenneth Dueker. 2001. « Time Point-Level Analysis of Transit Service Reliability and Passenger Demand. », 2001, sect. Dissertations and Theses.

Kittelson & Associates, National Research Council (U.S.), Transit Cooperative Research Program, United States, et Transit Development Corporation, éd. 2013. *Transit Capacity and Quality of Service Manual*. 3rd ed. TCRP Report 165. Washington, D.C: Transportation Research Board.

Lefebvre-Ropars et Morency. 2017. « Spatial Transferability Assessment of a Composite Walkability Index_ The Pedestrian Index of the Environment (PIE) », 14.

Lefebvre-Ropars et Morency. 2017. « Analyse de la contribution des indicateurs de marchabilité à la modélisation de la demande piétonne ». Master's Thesis, École Polytechnique de Montréal. <https://publications.polymtl.ca/2714/>.

Les services de l'État dans le Var. 2023. « Orientations et instances de sécurité routière ». 2023. <https://www.var.gouv.fr/Actions-de-l-Etat/Securite-et-protection-de-la-population/Securite-routiere/Orientations-et-instances-de-securite-routiere>.

Lunke, Erik B., N. Fearnley, et J. Aarhaug. 2021. « Public Transport Competitiveness vs. the Car: Impact of Relative Journey Time and Service Attributes ». *Research in Transportation Economics* 90 (décembre): 101098. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2021.101098>.

Mageau-Beland, Judith, et Catherine Morency. 2021. « Assessing Physical Activity Achievement by using Transit ». *TRANSPORTATION RESEARCH RECORD* 2675 (8): 506-14. <https://doi.org/10.1177/0361198121999057>.

Moniruzzaman, Md, et Antonio Páez. 2012. « Accessibility to Transit, by Transit, and Mode Share:

- Application of a Logistic Model with Spatial Filters ». *Journal of Transport Geography*, Special Section on Theoretical Perspectives on Climate Change Mitigation in Transport, 24 (septembre): 198-205. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.02.006>.
- Morency, Catherine, Martin Trepanier, et Marie Demers. 2011. « Walking to transit: An unexpected source of physical activity ». *TRANSPORT POLICY* 18 (6): 800-806. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2011.03.010>.
- Moura, Filipe. 2017. « Measuring Walkability for Distinct Pedestrian Groups with a Participatory Assessment Method: A Case Study in Lisbon ». *Landscape and Urban Planning*, 15.
- Murphy, Brendan, et Andrew Owen. 2019. « Implementing Low-Stress Bicycle Routing in National Accessibility Evaluation ». *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2673 (5): 240-49. <https://doi.org/10.1177/0361198119837179>.
- Niemeier, Debbie A. 1997. « Accessibility: an evaluation using consumer welfare ». *Transportation* 24 (4): 377-96. <https://doi.org/10.1023/A:1004914803019>.
- Ortiz-Ramirez, Hernan Alberto, Jose Agustin Vallejo-Borda, et Alvaro Rodriguez-Valencia. 2021. « Staying on or Getting off the Sidewalk? Testing the Mehrabian-Russell Model on Pedestrian Behavior ». *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 78 (avril): 480-94. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2021.03.007>.
- Painter, Kate. 1994. « The Impact of Street Lighting on Crime, Fear, and Pedestrian Street Use ». 1994.
- Putranto, L S, et R B Khuana. 2022. « Index of Walkability to and from Public Transport Stops or Terminals in Greater Jakarta to Enhance Walking Environment ». *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1000 (1): 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1000/1/012010>.
- Ramos-Santiago, Luis E. 2022. « Does Walkability around Feeder Bus-Stops Influence Rapid-Transit Station Boardings? » *Journal of Public Transportation* 24: 100026. <https://doi.org/10.1016/j.jpubtr.2022.100026>.
- Raulin, François, Camille Butzbach, Paula Negron-Poblette, Tiiu Poldma, et Sébastien Lord. 2020. « Vers l'amélioration de la marchabilité de la ville pour tous. Retour d'expérience sur l'aménagement de l'accessibilité autour d'un centre commercial à Montréal ». *Géocarrefour* 94 (94). <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.13323>.

Sahakian B.J. et Labuzetta J.N. 2013. *How decision making goes wrong, and the ethics of smart drugs*.

Sarker, Rumana Islam, Markus Mailer, et Sujit Kumar Sikder. 2019. « Walking to a public transport station Empirical evidence on willingness and acceptance in Munich, Germany ». *SMART AND SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT* 9 (1, SI): 38-53. <https://doi.org/10.1108/SASBE-07-2017-0031>.

Sarker, Rumana Islam . 218. « Walking to a Public Transport Station », 16.

Sauter et al. 2006. « Charte internationale de la marche ».

Service public fédéral Mobilité et Transports. 2014. « Guide des bonnes pratiques en matière de mobilité durable pour les déplacements domicile-travail ».

Service public fédéral mobilité et transports. 2014. « Guide des bonnes pratiques en matière de mobilité durable pour les déplacements domicile-travail ».

Singleton et al. 2014. « The Pedestrian Index of the Environment: Representing the Walking Environment in Planning Applications ». 2014. <https://trid.trb.org/view/1289281>.

Société de transport de Montréal. 2023. « Côte-Vertu | Société de transport de Montréal ». 2023. <https://www.stm.info/fr/infos/reseaux/metro/cote-vertu>.

Soest, Dennis van, Miles R. Tight, et Christopher D. F. Rogers. 2020. « Exploring the distances people walk to access public transport ». *TRANSPORT REVIEWS* 40 (2, SI): 160-82. <https://doi.org/10.1080/01441647.2019.1575491>.

Soest, Dennis van, Miles Tight, et Chris Rogers. 2019. « Exploring the distances people walk to access public transport ». *Transport Reviews* 40 (février): 1-23. <https://doi.org/10.1080/01441647.2019.1575491>.

Soza-Parra, Jaime, Sebastián Raveau, et Juan Carlos Muñoz. 2022. « Public Transport Reliability across Preferences, Modes, and Space ». *Transportation* 49 (2): 621-40. <https://doi.org/10.1007/s11116-021-10188-2>.

Statistique Canada. 2023. « Recensement de la population de Montréal ». 2023. <https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2021/dp-pd/prof/details/page.cfm?Lang=F&SearchText=montreal&DGUIDlist=2021A00052466023&GE>

NDERlist=1,2,3&STATISTIClist=1&HEADERlist=0.

Tomhave, Benjamin J. 2022. « Refined Choice Set Generation and the Investigation of Multi-Criteria Transit Route Choice Behavior », 17.

Vallejo-Borda, Jose Agustin, Víctor Cantillo, et Alvaro Rodriguez-Valencia. 2020. « A Perception-Based Cognitive Map of the Pedestrian Perceived Quality of Service on Urban Sidewalks ». *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 73 (août): 107-18. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2020.06.013>.

Vallejo-Borda, Jose Agustin, Hernan Alberto Ortiz-Ramirez, Alvaro Rodriguez-Valencia, Ricardo Hurtubia, et J. de D. Ortúzar. 2020. « Forecasting the Quality of Service of Bogota's Sidewalks from Pedestrian Perceptions: An Ordered Probit MIMIC Approach ». *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2674 (1): 205-16. <https://doi.org/10.1177/0361198119896782>.

Varotto, Silvia Francesca, Aurélie Glerum, Amanda Stathopoulos, et Michel Bierlaire. 2014. « Modelling Travel Time Perception in Transport Mode Choices », 40.

Ville de Montréal. 2017. « Guide d'aménagement durable des rues de Montréal ».

Wang, Zi-jia. 2016. « Interchange between Metro and Other Modes: Access Distance and Catchment Area ». *J. Urban Plann. Dev.*, 9.

Wee, Bert van, Jonas De Vos, et Kees Maat. 2019. « Impacts of the Built Environment and Travel Behaviour on Attitudes: Theories Underpinning the Reverse Causality Hypothesis ». *Journal of Transport Geography* 80 (octobre): 102540. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.102540>.

Wikipédia. 2023. « Métro de Montréal — Wikipédia ». 2023. https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9tro_de_Montr%C3%A9al.

Wu, Tao, et Ye Zhou. 2022. « Measuring the Accessibility of Metro Stations in Tianjin: An Origin-Destination Approach ». *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, mars, 1-12. <https://doi.org/10.1080/13467581.2022.2049276>.

Yanan, Liu. 2021. « The Influence of Street-Scale Built Environment on Transportation Mode Choice of Travelers around Metro Stations ».

Zhao, Jinbao, Wei Deng, et Ph D Candidate. s. d. « Relationship of Walk Access Distance to Rapid

Rail Transit Stations with Personal Characteristics and Station Context », 11.

Zhu, Manman, N. N. Sze, et Sharon Newnam. 2022. « Effect of Urban Street Trees on Pedestrian Safety: A Micro-Level Pedestrian Casualty Model Using Multivariate Bayesian Spatial Approach ». *Accident Analysis & Prevention* 176 (octobre): 106818. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106818>.