

Titre: Analyse de l'accessibilité au transport interrégional et méthodologie de localisation des stations
Title: de localisation des stations

Auteur: Nicolas Charron
Author:

Date: 2025

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Charron, N. (2025). Analyse de l'accessibilité au transport interrégional et méthodologie de localisation des stations [Master's thesis, Polytechnique Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/72086/>
Citation:

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

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/72086/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Catherine Morency
Advisors:

Programme: Génie civil
Program:

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

**Analyse de l'accessibilité au transport interrégional et méthodologie de
localisation des stations**

NICOLAS CHARRON

Département des génies civil, géologique et des mines

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

Génie civil

Décembre 2025

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé :

Analyse de l'accessibilité au transport interrégional et méthodologie de localisation des stations

présenté par **Nicolas CHARRON**

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

Camille GARNIER, membre externe

DÉDICACE

À tous les soldats de la guerre à l'auto.

À toutes les moutures du troisième lien qui nous ont quittés trop tard.

À tous les audits de pistes cyclables.

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier ma directrice de recherche, Catherine Morency, qui m'a permis de développer ma passion pour les transports en commun et la mobilité durable en m'offrant la chance de faire ma maîtrise en génie civil, chose que je n'aurais jamais pu imaginer lors de ma rentrée à Polytechnique en génie informatique. Sa rigueur et son souci du détail m'ont poussé à me dépasser à chaque présentation, conférence ou événement de la Chaire Mobilité.

Je tiens aussi à remercier évidemment tous les partenaires de la Chaire Mobilité, qui ont rendu la réalisation de cette maîtrise possible, mais qui permettent également la réalisation de tout ce qui est fait à la Chaire Mobilité.

Il va sans dire que je remercie énormément les associés de recherche de la Chaire Mobilité, qui m'ont accueilli lors de mon dernier stage de baccalauréat alors que je voulais valider que la mobilité durable m'intéressait assez pour en faire une maîtrise. Tout le temps qu'ils et elles ont passé sur les questionnaires des enquêtes et sur Transition a rendu le contenu de ce projet réalisable.

Je veux aussi transmettre ma gratitude à tous mes amis de la Chaire Mobilité qui ont su égayer les journées au bureau ainsi que partager joies, frustrations et conseils d'achat de souliers de course tout au long des deux ans de cette maîtrise. Ils ont également permis de me dépasser, que ce soit intellectuellement ou à vélo entre Montréal et Ottawa.

Je me dois de remercier ma famille et mes amis pour leurs relectures et les nombreux articles concernant la mobilité durable qu'ils m'ont envoyés tout au long de mon parcours. Les discussions engendrées, leur aide et leurs remarques auront été d'une aide précieuse.

Finalement, merci Axelle pour le support au quotidien et pour avoir fourni la motivation, la compréhension et le soutien nécessaires lorsque j'en avais besoin. Ta bonne humeur contagieuse a été essentielle et ton aide fort appréciée à tous les jours.

RÉSUMÉ

Alors que les transports forment le principal secteur d'émissions de gaz à effet de serre au Québec, le gouvernement provincial s'est doté de la Politique de mobilité durable afin de réduire ces émissions. Pour ce faire, ses objectifs incluent l'augmentation de l'utilisation des transports en commun. Toutefois, les déplacements ne se limitent pas à aller au travail et faire l'épicerie. Les besoins en transport incluent aussi les déplacements de longue distance, notamment pour le tourisme.

Or, le réseau de transport en commun interrégional au Québec se limite aux trains de VIA Rail et à quelques lignes d'autocar exploitées par des compagnies privées. De plus, ce réseau n'offre pas des opportunités de déplacements à toute la population québécoise et n'est pas toujours accessible sans voiture. Le but de ce mémoire est donc de présenter des pistes de solutions par rapport à ces enjeux. Pour ce faire, il faut faire le diagnostic de l'offre de transport en commun interrégional au Québec, puis déterminer une méthodologie afin de choisir l'emplacement idéal de nouvelles stations de transport en commun interrégional.

Plusieurs étapes sont nécessaires afin de résoudre ces deux problèmes. Tout d'abord, la codification des réseaux doit être faite, puisqu'elle est inadéquate ou manquante à plusieurs endroits. Cela se fait à l'aide du format GTFS, qui permet de donner les informations quant à un service de transport en commun. Les flux GTFS des compagnies de transport par autocar ainsi que ceux de quelques sociétés de transports sont rédigés à l'aide de l'information disponible en ligne dans les cas où ils ne sont pas mis en accès libre.

Ensuite, les données géographiques et démographiques du recensement sont utilisées pour calculer les centres de population des aires de diffusion. Ces centres forment ensuite la base du reste de la méthodologie qui consiste en des calculs d'itinéraires à l'aide de Transition, l'outil ouvert de simulation et conception de réseaux de transport en commun de la Chaire Mobilité.

D'abord, les calculs d'itinéraires se font entre les centres de population des aires de diffusion et l'arrêt de transport en commun interrégional le plus proche à vol d'oiseau pour toutes les heures de la journée. Les résultats permettent d'analyser l'accès au transport en commun interrégional en voiture et en transport en commun local. Cela permet d'établir l'effet d'habiter dans une région métropolitaine sur la capacité d'utiliser les services de transport en commun

interrégional sans avoir de voiture, ainsi que la qualité du service effort selon le temps d'accès requis.

Ensuite, les itinéraires suivants se calculent entre des paires de centres de population d'aires de diffusion. Ces paires sont choisies en fonction d'un seuil de distance à ne pas dépasser. Les résultats des itinéraires permettent de savoir quelles aires de diffusion sont à moins de 30, 25, 20, 15, 10 ou 5 minutes à pied ou à vélo de toute aire de diffusion au Québec.

Cette information est ensuite incluse dans la méthodologie de positionnement des stations de transport en commun interrégional. Les aires de diffusion sont triées par un score d'accessibilité calculé en fonction de la population y ayant accès selon différents seuils de temps de parcours à pied et à vélo. L'aire de diffusion ayant le plus haut score se voit attribuer une station, et toutes les aires de diffusion à moins de 30 minutes à vélo sont considérées comme faisant partie de sa zone d'attraction. Elles sont donc retirées de la liste d'aires de diffusion pouvant recevoir une station, et leur population est assignée à la station nouvellement placée. Ce processus est répété jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'aires de diffusion candidates ou qu'on ait atteint 70% de la population québécoise.

On trouve alors que seulement 6% des trajets à partir d'aires de diffusion en dehors d'une RMR vers l'arrêt de transport en commun interrégional le plus proche peuvent être faits en transport collectif ou actif, tandis que cette proportion monte à 71% en zone urbaine. De plus, le temps de parcours vers l'arrêt de transport en commun local pour se rendre au transport en commun interrégional est beaucoup plus long dans les zones rurales.

La méthodologie de positionnement des stations de transport en commun interrégional place à sa dernière itération 134 stations sur le territoire québécois. Toutes les villes de grande et moyenne taille, soit plus de 50000 habitants, ont au moins une station. Des stations sont présentes au Saguenay—Lac-Saint-Jean, en Mauricie, sur la Côte-Nord et au Bas-Saint-Laurent. Seule la région de la Gaspésie—Îles-de-la-Madeleine n'est pas desservie. On atteint près de 6,2 millions de personnes, soit 73% de la population québécoise.

Toutefois, certains ajustements manuels pourraient être apportés à la méthodologie pour la rendre meilleure. Montréal se voit attribuer une vingtaine de stations, Québec en a une dizaine et Gatineau se retrouve avec six stations, ce qui peut sembler excessif pour un réseau interrégional. Il serait donc possible de transformer certaines stations pour qu'elles fassent partie d'un réseau

structurant de transport en commun local qui rejoindrait les stations de transport en commun interrégional restantes.

D'autres perspectives de recherche pourraient être explorées prochainement, notamment de prendre en compte les temps de parcours en transport en commun dans les calculs inter-aires de diffusion. Cela permettrait d'intégrer le transport en commun dans le score d'accessibilité et donc de fournir une meilleure approximation de la population desservie par chaque station et de rendre la méthodologie plus applicable à la réalité. Aussi, il serait intéressant d'utiliser des projections de population existantes ou d'en développer un modèle afin de décider où développer le réseau interrégional une fois la population existante desservie dans le but de développer intelligemment le territoire québécois.

ABSTRACT

As transportation is the most significant sector in Québec in terms of greenhouse gases emissions, the provincial government has adopted a Sustainable Mobility Policy with the aim of reducing these emissions. To do so, its objectives include increasing the use of public transit. However, trips are not only made to go to work or buy groceries. Transportation needs also include long distance trips, including for tourism purposes.

Yet, the long-distance mass transit network in Québec is limited to VIA Rail trains and a few privately-owned coach lines. Furthermore, this network does not offer opportunities to each person in Québec and is not always accessible without a car. The objective of this research is to go over possible solutions regarding these issues. To do so, the diagnosis of interregional public transit supply in Québec must be made, as well as establishing a methodology to choose the ideal location of new interregional public transit stations.

Many steps are necessary to solve the aforementioned problems. First, networks must be coded in a computer-readable format, as this information is inadequate or missing in many places. This can be done through the GTFS format, a format able to transmit information about a public transit service. GTFS feeds for coach companies and a few public transit operators are written using information available online when they are not already published in open source.

Next, geographical and demographical census data is used to compute the population gravity centres of dissemination areas. These centres are at the forefront of the methodology subsequently used, involving trip calculations made with Transition an open-source transit network simulation and design tool created and maintained by Chaire Mobilité.

The first calculations are between dissemination areas' population centres et their nearest interregional transit stop as the crow flies, for all hours during the day. The results allow us to analyse access to the interregional transportation network by car and by public transit. This can establish the effect of living in a census metropolitan area or not regarding the capacity of using interregional transportation services without possessing a car, as well as the service quality according to the necessary access time.

The next calculations are made between dissemination tracts population centres pairs. These pairs are chosen as to not go over a distance threshold. The results of these calculations allow

us to know which dissemination areas are located within 30, 25, 20, 15, 10 and 5 minutes by foot and by bike of any other dissemination area in Québec.

This information is then included into the interregional transportation station's location choice methodology. The dissemination areas are sorted by an accessibility score calculated by the population that can access the area within different travel time thresholds by foot and by bike. The dissemination area with the highest score is then assigned a station, and all areas within 30 minutes of the new station by bike are now considered part of its attraction area. Therefore, they are removed from the station candidates list, and their population is assigned to the newly placed station. This process is repeated until there are no candidate dissemination areas left or until 70% of Québec's population is within 30 minutes of a placed station by bike.

We then find that only 6% of trips from dissemination areas outside of metropolitan areas to their nearest interregional transit stop can be done through active or collective mobility, while this ratio goes up to 71% in urban settings. The time to get to the first local transit stop to reach the interregional stop is also much higher in rural zones.

The interregional transportation station location methodology locates 134 stations in Québec in its final iteration. All core and mid-size cities, i.e. more than 50000 inhabitants, have a station within their boundaries. Stations are also located in Saguenay—Lac-Saint-Jean, Mauricie, Côte-Nord and Bas-Saint-Laurent. Only Gaspésie—Îles-de-la-Madeline is left without any station. With this network, 6.2 million people have access to interregional transportation, which represents 73% of Québec's population.

Nevertheless, some manual tinkering could better the methodology. Montréal gets about twenty stations, Québec has about ten, and Gatineau gets six stations assigned, which may seem superfluous for an interregional network. It could be possible to convert certain stations into a structuring local public transit network that could reach the remaining interregional stations.

Other research prospects may be explored soon, such as taking into account travel times by public transportation in inter-dissemination areas calculations. This could help integrate transit in the accessibility scores, which would provide a better approximation of the population served by each station, as well as bringing the methodology closer to reality. It would also be interesting to use existing population projections or develop a model in order to decide where to build the

interregional network parts once the existing population is served in order to intelligently develop the territory of Québec.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	III
REMERCIEMENTS	IV
RÉSUMÉ.....	V
ABSTRACT	VIII
LISTE DES TABLEAUX.....	XV
LISTE DES FIGURES.....	XVI
LISTE DES SIGLES ET ABBRÉVIATIONS.....	XXII
LISTE DES ANNEXES.....	XXIII
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Enjeux actuels du transport en commun au Québec	3
1.2 Transport interrégional au Québec	6
1.2.1 Contexte historique	6
1.2.2 Contexte actuel et état du réseau	7
1.3 Objectifs et structure	9
CHAPITRE 2 ÉTAT DES CONNAISSANCES.....	11
2.1 Déplacements de longue distance	11
2.1.1 Définition de longue distance.....	13
2.1.2 Caractéristiques des déplacements de longue distance	16
2.1.3 Déclin du transport en commun interrégional.....	16
2.2 Enquêtes Origine-Destination	17
2.2.1 Déplacements non capturés.....	18
2.2.2 Stratégies de récolte	19
2.2.3 Tendances actuelles.....	20

2.3	Achalandage	21
2.3.1	Facteurs d'achalandage	21
2.3.2	Modèles d'achalandage	25
2.4	Déplacements ruraux	28
2.5	GTFS	30
2.6	Problèmes de positionnement des stations	32
2.6.1	Types de problèmes	32
2.6.2	Algorithmes de solution	34
2.6.3	Applications aux transports	36
2.6.3.1	Consolidation des arrêts	37
2.6.3.2	Évolution temporelle	37
2.6.4	Future recherche	38
2.7	Accessibilité	39
2.8	Modèle nœud-place	42
2.9	Synthèse	44
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE		46
3.1	Données	47
3.1.1	Données GTFS	48
3.1.1.1	Le standard GTFS	48
3.1.1.2	GTFS Schedule	48
3.1.1.3	Recensement des flux GTFS	53
3.1.1.4	Validation des flux GTFS existants	54
3.1.1.5	Erreurs dans les flux GTFS existants	55
3.1.1.6	Script de nettoyage des flux GTFS existants	59

3.1.1.7	Construction des flux GTFS inexistants.....	60
3.1.1.8	Améliorations possibles aux flux GTFS	62
3.1.2	Données géographiques et démographiques	66
3.1.3	Autres outils utilisés	71
3.2	Diagnostic de l'offre de transport en commun longue distance.....	73
3.3	Emplacement des stations	75
3.3.1	Méthodologie incrémentale.....	76
3.3.1.1	DensSRSDR—10oiseau—100pop.....	79
3.3.1.2	DensAD—10oiseau—75pop.....	80
3.3.1.3	DensAD—20marche—75pop.....	80
3.3.1.4	ScoreAD—30vélo—100pop.....	81
3.3.1.5	ScoreAD—30vélo—30score.....	83
3.3.1.6	ScoreAD—30vélo—10score.....	83
3.3.1.7	ScorePondéréAD—30vélo—10score.....	83
3.3.2	Méthodologie finale (ScorePondéréAD—30vélo—75pop10score)	84
CHAPITRE 4	RÉSULTATS	86
4.1	Analyse des aires de diffusion.....	86
4.1.1	Population.....	86
4.1.2	Densité.....	90
4.1.3	Scores d'accessibilité	94
4.2	Diagnostic de l'offre de transport en commun longue distance.....	96
4.2.1	Fonctionnement des calculs de Transition	97
4.2.2	Résultats des calculs d'itinéraires	101
4.3	Analyse du positionnement des gares	114

4.3.1	DensSRSDR—10oiseau—100pop.....	114
4.3.2	DensAD—10oiseau—75pop.....	120
4.3.3	DensAD—20marche—75pop.....	124
4.3.4	ScoreAD—30vélo—100pop.....	127
4.3.5	ScoreAD—30vélo—30score.....	132
4.3.6	ScoreAD—30vélo—10score.....	135
4.3.7	Méthode finale ScorePondéréAD—30vélo—10score(75pop).....	138
4.3.7.1	Ajustements manuels à ScorePondéréAD—30vélo—75pop10score.....	142
4.3.7.2	Consolidation et complémentarité des stations.....	143
4.4	Analyse de sensibilité et comparaison des étapes de la méthodologie.....	147
4.4.1	Analyse de sensibilité des paramètres.....	147
4.4.2	Comparaison des étapes de la méthodologie.....	150
CHAPITRE 5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....		152
5.1	Synthèse.....	152
5.2	Limitations.....	153
5.3	Perspectives.....	155
RÉFÉRENCES.....		159
ANNEXES.....		163

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Résumé de la recherche en déplacements de longue distance à Polytechnique Montréal	13
Tableau 2 : Noms des chapitres de la section 3.1.1.....	78
Tableau 3 : Comparaison des corridors étudiés	113
Tableau 4 : Comparaison des résultats des étapes de la méthodologie.....	150
Tableau A.1 État de la disponibilité des données GTFS au Québec.....	165

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Carte du réseau interrégional au Québec autour de 2009 (Association des propriétaires d'autobus du Québec, s. d.).....	8
Figure 1.2 : Carte du réseau interrégional au Québec en 2015 (Division de la géomatique, 2015)	9
Figure 2.1 : Configurations possibles des réseaux (Sharma et al., 2025)	34
Figure 2.2 : Diagramme du modèle nœud-place (Bertolini, 1999).....	42
Figure 3.1 : Diagramme résumé de la méthodologie	47
Figure 3.2 : Ensemble des fichiers composant un flux GTFS (MobilityData, s. d.-a).....	49
Figure 3.3 : Liens entre les fichiers d'un flux GTFS (MobilityData, s. d.-a).....	50
Figure 3.4 : Progrès de la création des flux GTFS au Québec	65
Figure 3.5 : Régions économiques du recensement de 2021 – Régions administratives du Québec	66
Figure 3.6 : Divisions de recensement – Municipalités régionales de comté	67
Figure 3.7 : Secteurs de recensement de la RMR de Québec	67
Figure 3.8 : Secteurs de recensement au centre de la RMR de Montréal.....	68
Figure 3.9 : Subdivisions de recensement de la RMR de Montréal.....	68
Figure 3.10 : Aires de diffusion du recensement de 2021 au sud du Québec	69
Figure 3.11 : Aires de diffusion à Montréal	69
Figure 3.12 : Îlots de recensement à Montréal	70
Figure 4.1 : Population par aire de diffusion au Québec en 2021	86
Figure 4.2 : Population des aires de diffusion de la région de Montréal en 2021	87
Figure 4.3 : Population des aires de diffusion de la région de Québec en 2021	88
Figure 4.4 : Population des aires de diffusion au Québec en 2021	88
Figure 4.5 : Carte des centres de population des aires de diffusion	89
Figure 4.6 : Densité des aires de diffusion au Québec en 2021	90

Figure 4.7 : Densité des aires de diffusion à Montréal en 2021 (2 ^{ème} au dernier intervalle).....	91
Figure 4.8 : Densité des aires de diffusion à Montréal (3 ^{ème} au dernier intervalle)	92
Figure 4.9 : Densité des aires de diffusion à Montréal (percentiles).....	92
Figure 4.10 : Densité de population des aires de diffusion au Québec en 2021	93
Figure 4.11 : Densité de population des aires de diffusion en fonction de la population	94
Figure 4.12 : Accès aux aires de diffusion en 30 minutes à vélo	95
Figure 4.13 : Distribution du score d’accessibilité des aires de diffusion.....	96
Figure 4.14 : Distribution du score pondéré des aires de diffusion.....	96
Figure 4.15 : Exemple d’itinéraire retournant TRROUTING_QUERY_ERROR.....	97
Figure 4.16 : Exemple d’itinéraire retournant le code Transition TRROUTING_NO_ROUTING_NO_SERVICE_FROM_ORIGIN	98
Figure 4.17 : Itinéraire dont l’origine est éloignée du réseau routier et ne donne pas d’option en transport en commun.....	99
Figure 4.18 : Trajet proposé lorsque l’origine est rapprochée au départ du trajet à pied de la Figure 4.17	99
Figure 4.19 : Trajet à pied proposé par OpenStreetMap pour la paire OD de la Figure 4.17	100
Figure 4.20 : Trajet en transport en commun proposé par Google Maps pour la paire OD de la Figure 4.17	100
Figure 4.21 : Exemple d’itinéraire retournant TRROUTING_NO_ROUTING_FOUND	101
Figure 4.22 : Statuts retournés par les calculs d’itinéraires.....	102
Figure 4.23 : Codes retournés par le calcul d’itinéraire entre les centres de population des aires de diffusion et les arrêts de transport en commun longue distance les plus proches.....	103
Figure 4.24 : Nombre d’itinéraires retournant un code success dans Transition selon l’heure ..	103
Figure 4.25 : Proportion d’itinéraires retournant un code success dans Transition selon l’heure et l’emplacement dans une RMR ou non	104

Figure 4.26 : Écart entre l'heure de départ spécifiée dans le calcul d'itinéraire et l'heure de départ minimisant l'attente au premier arrêt local	106
Figure 4.27 : Temps d'accès au premier arrêt local de transport en commun du trajet vers l'arrêt interrégional le plus proche	106
Figure 4.28 : Nombre d'embarquements requis pour atteindre l'arrêt de transport en commun interrégional le plus proche	107
Figure 4.29 : Temps de parcours total vers l'arrêt de transport en commun interrégional le plus proche	108
Figure 4.30 : Polygones de Voronoï des arrêts de transport en commun interrégional à Québec	109
Figure 4.31 : Temps de parcours en transport en commun entre Berri et la gare du Palais.....	109
Figure 4.32 : Temps de parcours en transport en commun entre Berri et Sainte-Foy	110
Figure 4.33 : Temps de parcours en transport en commun entre Berri et Sherbrooke.....	110
Figure 4.34 : Temps de parcours en transport en commun entre Sherbrooke et la gare du Palais	110
Figure 4.35 : Temps de parcours en transport en commun entre Berri et Trois-Rivières.....	111
Figure 4.36 : Temps de parcours en transport en commun entre Trois-Rivières et la gare du Palais	111
Figure 4.37 : Temps de parcours en transport en commun entre Trois-Rivières et Sainte-Foy..	111
Figure 4.38 : Temps de parcours en transport en commun entre Berri et le motel Adam (Gatineau)	112
Figure 4.39 : Temps de parcours en transport en commun entre Berri et Portage (Gatineau)....	112
Figure 4.40 : Temps de parcours en transport en commun entre Sherbrooke et Trois-Rivières.	112
Figure 4.41 : Carte des stations de la première itération.....	115
Figure 4.42 : Population marginale de chaque nouvelle station avec un rayon de couverture de 5 kilomètres à la première itération.....	117

Figure 4.43 : Population marginale de chaque nouvelle station avec un rayon de couverture de 5 kilomètres à la première itération (50 premières stations)	117
Figure 4.44 : Population totale atteinte après chaque nouvelle station avec un rayon de couverture de 5 kilomètres à la première itération	118
Figure 4.45 : Population marginale de chaque nouvelle station avec un rayon de couverture de 10 kilomètres à la première itération	118
Figure 4.46 : Population marginale de chaque nouvelle station avec un rayon de couverture de 10 kilomètres à la première itération (50 premières stations)	119
Figure 4.47 : Population totale atteinte après chaque nouvelle station avec un rayon de couverture de 10 kilomètres à la première itération	119
Figure 4.48 : Densité des secteurs et subdivisions de recensement ayant été choisis pour accueillir une station de transport en commun interrégional	120
Figure 4.49 : Carte des stations de la deuxième itération.....	121
Figure 4.50 : Population totale atteinte après chaque nouvelle station à la deuxième itération..	123
Figure 4.51 : Population marginale atteinte après chaque nouvelle station à la deuxième itération	123
Figure 4.52 : Densité des aires de densité ayant une station de transport en commun interrégional	124
Figure 4.53 : Carte des stations de la troisième itération	125
Figure 4.54 : Population totale atteinte après chaque nouvelle station à la troisième itération ..	126
Figure 4.55 : Population marginale atteinte après chaque nouvelle station à la troisième itération	126
Figure 4.56 : Population marginale atteinte après chaque nouvelle station à la troisième itération (200 premières stations)	127
Figure 4.57 : Carte des stations de la quatrième itération	128
Figure 4.58 : Population totale atteinte après chaque nouvelle station à la quatrième itération .	129

Figure 4.59 : Population marginale atteinte après chaque nouvelle station à la quatrième itération	129
Figure 4.60 : Population marginale atteinte après chaque nouvelle station à la quatrième itération (100 premières stations)	130
Figure 4.61 : Distribution du score d'accessibilité des stations choisies	130
Figure 4.62 : Score des stations choisies selon la densité de leur aire de diffusion	131
Figure 4.63 : Score des stations choisies selon leur population marginale	132
Figure 4.64 : Carte des stations de la cinquième itération	133
Figure 4.65 : Population totale atteinte après chaque nouvelle station à la cinquième itération	134
Figure 4.66 : Population marginale atteinte après chaque nouvelle station à la cinquième itération	134
Figure 4.67 : Distribution du score d'accessibilité des stations à la cinquième itération	135
Figure 4.68 : Carte des stations de la sixième itération.....	136
Figure 4.69 : Population totale atteinte après chaque nouvelle station à la sixième itération.....	137
Figure 4.70 : Population marginale atteinte après chaque nouvelle station à la sixième itération	137
Figure 4.71 : Distribution du score d'accessibilité des stations à la sixième itération.....	138
Figure 4.72 : Carte des stations de la septième et de la dernière itération	139
Figure 4.73 : Carte des stations du sud du Québec dans la septième et la dernière itération.....	139
Figure 4.74 : Population totale atteinte après chaque nouvelle station à la septième et la dernière itération.....	141
Figure 4.75 : Population marginale atteinte après chaque nouvelle station à la septième et la dernière itération	141
Figure 4.76 : Distribution des scores pondérés par la distance à la septième et la dernière itération	142
Figure 4.77 : Station assignée à une aire de diffusion de Terrebonne	143

Figure 4.78 : Station assignée à une aire de diffusion de Mercier	143
Figure 4.79 : Stations à proximité du réseau local de transport en commun dans la RMR de Montréal	145
Figure 4.80 : Stations à proximité des chemins de fer d'exo et de VIA Rail sur la Rive-Nord de Montréal	146
Figure 4.81 : Stations de transport en commun interrégional attribuées à Gatineau	146
Figure 4.82 : Nombre de stations placées selon la limite de population desservie	148
Figure 4.83 : Population desservie par les stations selon la limite de population desservie	149
Figure 4.84 : Nombre de stations placées selon le score minimal requis pour qu'une AD soit candidate.....	149
Figure 4.85 : Population atteinte selon le score minimal requis pour qu'une AD soit candidate	150

LISTE DES SIGLES ET ABBRÉVIATIONS

AD	Aire de diffusion
APAQ	Association des propriétaires d'autobus du Québec
ATEQ	Association du transport écolier du Québec
CSV	<i>Comma-separated values</i>
ENV	Enquête nationale sur les voyages des résidents du Canada
FTA	Fédération des transporteurs par autobus
GES	Gaz à effet de serre
GTFS	<i>General Transit Feed Specification</i>
HTML	<i>Hypertext Markup Language</i>
OD	Origine-destination
PMD	Politique de mobilité durable
RTL	Réseau de transport de Longueuil
SDR	Subdivision de recensement
SR	Secteur de recensement
STLévis	Société de transport de Lévis
STM	Société de transport de Montréal
TC	Transport en commun
TCLD	Transport en commun de longue distance
TOD	<i>Transit-oriented Development</i>

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A Disponibilité des GTFS au Québec..... 165

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

Dans le contexte québécois, la lutte aux changements climatiques attire de plus en plus l'attention, autant à l'échelle individuelle que politique. Pour combattre ce problème, le gouvernement québécois s'est doté de cibles de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) ainsi que d'objectifs reliés à la carboneutralité de l'économie québécoise (Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports, 2018b).

Le Québec produisant en quasi-exclusivité son électricité à l'aide de barrages hydroélectriques, le principal coupable concernant les GES est le secteur des transports. En effet, celui-ci est responsable de 42,6% des émissions de GES au Québec en 2021 (Ministère de l'Environnement, de la Lutte aux changements climatiques, de la Faune et des Parcs, 2023). Le transport routier en représente la majorité, avec une part de 31,2% des émissions totales de GES, soit 73,2% des émissions liées aux transports. De plus, cette part est en constante augmentation depuis le début de l'inventaire des émissions de GES, soit 1990, excepté une diminution notable en 2020 en raison de la pandémie de COVID-19 (Ministère de l'Environnement, de la Lutte aux changements climatiques, de la Faune et des Parcs, 2023).

Étant donné la part importante du domaine des transports dans les émissions de GES au Québec, le gouvernement provincial s'est doté d'une Politique de mobilité durable (PMD) en 2018. La PMD propose un ensemble de cibles à atteindre à son échéance. Concernant la multimodalité, la PMD vise que 70% de la population québécoise aie accès à au moins quatre services de mobilité durable. Une réduction de 20% du temps moyen de déplacement entre le domicile et le lieu de travail et 25% moins d'accidents graves ou mortels sont les deux autres objectifs concernant directement le quotidien des citoyens. Concernant les émissions de GES, les objectifs de la PMD sont une diminution de 20% de la part modale de l'auto solo, une réduction de 40% de la consommation de pétrole dans les déplacements par rapport au niveau de 2013 ainsi qu'une réduction de 37,5% des émissions de GES en transport par rapport à 1990 (Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports, 2018b).

L'approche institutionnelle pour atteindre les cibles fixées est décrite dans la Politique de mobilité durable du gouvernement provincial. Celle-ci préconise une stratégie en trois parties, soit réduire, transférer et améliorer. Par réduire, la PMD entend aussi bien la réduction des

déplacements en véhicule à moteur que la réduction des distances à parcourir par la population québécoise grâce à un meilleur aménagement du territoire et une meilleure planification des transports. Pour les déplacements ne pouvant pas être réduits, cette approche vise à les transférer vers des moyens de transport moins polluants, c'est-à-dire les transports collectif et actif. Finalement, la stratégie gouvernementale vise à améliorer les déplacements ne pouvant être ni réduits, ni transférés. Cette amélioration passe par une réduction des émissions de GES des véhicules utilisés, ainsi qu'une amélioration en termes de coût et de sécurité (Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports, 2018b).

Malgré l'enthousiasme de plusieurs organismes québécois à participer à l'élaboration de la deuxième mouture du plan d'action de la PMD (Cabana-Degani & Champalbert, 2024), les critiques concernant celle-ci ainsi que les actions gouvernementales dans le domaine de la mobilité durable fusent de toutes parts, autant du milieu académique, journalistique que politique. Les maires des grandes villes du Québec (Chouinard, 2024) tout comme les partis d'opposition (Thériault, 2024) déplorent un manque de vision, un désengagement du gouvernement provincial dans le financement du transport en commun ainsi qu'un manque de vision à long terme. Puis, des journalistes (Mercure, 2023) qualifient la PMD d'échec car le Québec s'éloigne des cibles fixées cinq ans plus tôt et que le ministère des Transports et de la Mobilité durable n'a pas assez de données pour calculer les effets des mesures précisées dans son plan d'action (Boisclair, 2023). Le manque de données, les coûts engendrés pour des résultats incertains et le manque d'investissement en transport en commun sont tous reprochés au gouvernement par différents experts (Boisclair, 2023), en plus du manque de cohésion du gouvernement dans le déploiement de sa stratégie réduire, transférer, améliorer (Bourgault-Côté, 2024).

Les solutions proposées passent majoritairement par une diminution des déplacements en auto solo ainsi qu'une bonification de l'offre de transport en commun (Morency, 2024). Effectivement, les déplacements quotidiens (Gerike & Schulz, 2018) et les transferts modaux associés ont très souvent été étudiés, mais les détracteurs invoquent souvent le territoire québécois étendu comme excuse pour invalider cette approche. Or, les déplacements de longue distance sont beaucoup moins étudiés dans la littérature scientifique. Pourtant, plus de distance veut dire plus d'émissions de GES pour un même mode. Ils constituent donc un bon angle d'attaque dans la lutte aux changements climatiques. Cependant, ils sont si peu étudiés que leur définition même n'est pas établie. Trois

concepts s'opposent, soit la définition touristique, où un déplacement est considéré comme de longue distance si une nuit est passée à l'extérieur du domicile, la définition des Nations Unies et des instances de l'Union européenne selon laquelle un déplacement est de longue distance s'il implique un départ de l'environnement habituel, ainsi que la définition plus utilisée en planification des transports, où la distance parcourue détermine si un déplacement est de longue distance ou non (Gerike et al., 2018).

Le manque de recherche sur les déplacements de longue distance est possiblement expliqué par les données plus rares sur ceux-ci. Alors que plusieurs régions métropolitaines procèdent régulièrement à des enquêtes origine-destination, seule l'Enquête nationale sur les voyageurs amassait des données sur les déplacements de longue distance, et elle visait plutôt le domaine du tourisme. Ces deux enquêtes récoltent donc soit très peu de données sur des déplacements de longue distance, puisque peu courants dans le quotidien, ou ne répondent pas à des questions adéquates dans une perspective d'analyse et de planification des transports. Afin de pallier ce manque, une première enquête nationale sur les déplacements de longue distance a été lancée à l'automne 2024.

1.1 Enjeux actuels du transport en commun au Québec

La mobilité durable fait régulièrement son apparition dans l'actualité québécoise pour différentes raisons. Plusieurs acteurs, notamment les sociétés de transport, les différents paliers de gouvernements ou les cyclistes, font partie des sujets discutés. On peut penser aux enjeux de financement du transport en commun, aux revendications syndicales des employés et aux projets de construction de transport qui en sont à différentes étapes, de la planification à l'ouverture.

Au niveau politique, des maires et mairesses du Québec estiment que la ministre des Transports et de la Mobilité durable néglige les transports en commun car ils considèrent ne pas recevoir un financement adéquat pour leurs services de transport en commun par rapport au financement consacré au réseau routier (Chouinard, 2024; Thériault, 2024).

Au niveau environnemental, le gouvernement provincial rencontre des défis dans l'estimation des réductions d'émissions de GES engendrées par la PMD, en raison de manque de données (Boisclair, 2023). L'atteinte des objectifs de la PMD est aussi un défi en soi. Mercure (2023) souligne que plusieurs indicateurs mentionnés dans la PMD s'éloignent des objectifs fixés,

notamment la part des déplacements en voiture et les émissions de GES dans le secteur des transports.

Au niveau financier, le gouvernement entrevoit un problème avec le financement du transport en commun par la taxe sur l'essence (Boisclair, 2023). De plus, cette taxe n'a pas été indexée depuis 2013 et elle perdra de sa valeur avec l'augmentation des ventes des véhicules électriques. Pour rester compétitif par rapport à l'auto, le transport en commun doit continuellement se développer et bonifier son offre, alors que l'utilisation de la voiture engendre des coûts et subventions disproportionnés en sa faveur. L'électrification des transports est donc une stratégie complémentaire à la réduction des déplacements en voiture plutôt qu'une alternative. (Bourgault-Côté, 2024).

En 2025, le gouvernement canadien a annoncé une nouvelle tentative de relier les villes entre Québec et Toronto par un train à grande vitesse. Ce projet est d'autant plus d'actualité car le Canada est le dernier pays du G8 à ne pas avoir de réseau ferroviaire électrifié à grande vitesse, même si l'Acela américain ne correspond pas tout à fait aux standards européens. Ce serait la première amélioration majeure au réseau de transport à l'échelle canadienne depuis l'inauguration de la Transcanadienne en 1962 (Alto, 2025).

Le corridor prévu relie Toronto, Peterborough, Ottawa, Montréal, Laval, Trois-Rivières et Québec (Alto, 2025). Selon les documents présentés par Alto (s. d.), ce corridor est le domicile de 18 millions de personnes, dont 700000 étudiants. Les deux provinces traversées représentent 60% de la population canadienne et 40% du PIB. Alto prévoit d'abord choisir un tracé avec une zone approximative, puis un corridor dans lequel se feront les études d'impact, puis un tracé exact. L'emplacement des gares est choisi à la fin et vise à favoriser l'accès en mobilité durable. La participation des peuples autochtones est également un enjeu clé du projet pour viser la réconciliation. Le projet se fait en collaboration avec un consortium d'entreprises privées. Le consortium retenu se compose de CDPQ Infra, AtkinsRéalis, SYSTRA Canada, Keolis Canada, Air Canada et SNCF Voyageurs (Alto, s. d.). Le projet sera auto-financé et éliminera les subventions aux voyages en train dans le corridor. Le marché étant volatil et le projet au stade embryonnaire, Alto n'a pas fourni d'estimation précise des coûts pour l'instant (Alto, 2025).

Toujours selon les documents internes du consortium chargé de la planification du projet, Alto veut fournir un service rapide, donc comprenant moins d'arrêts et pouvant atteindre des

vitesses de 300 km/h, fiable, c'est-à-dire utilisant des voies dédiées, ainsi que fréquent, soit de 20 à 30 départs par jour, à l'aide de 1000 kilomètres de voies électrifiées. Par exemple, Montréal-Québec se ferait en 89 minutes au lieu de 197 minutes, comme c'est actuellement le cas, et Montréal-Toronto en 187 minutes plutôt que 330 minutes (Alto, s. d.).

Ce projet devra relever plusieurs défis. Les trois principaux défis envisagés par le consortium chargé de la planification et la construction sont l'augmentation des coûts de transport, un manque de capacité sur le réseau et la déconnexion des communautés. Les coûts directs du transport, tels que l'essence ou les billets d'avion sont en hausse, tout comme les coûts indirects liés à la dégradation de l'environnement et de la santé en raison des émissions accrues de GES. Les voies ferrées sont la propriété de compagnies de transport de marchandises, qui accordent donc la priorité à leurs trains plutôt qu'aux passagers. Cela entraîne plusieurs retards, ce qui donne un taux de ponctualité entre 57 et 72% selon les années, alors que ce taux est autour de 90% en Europe (Alto, 2025). De plus, il n'y a pas eu d'ajout important au réseau depuis les années 1960, malgré la hausse démographique. Cela fait en sorte que plusieurs régions métropolitaines ne sont pas reliées entre elles par le train et se fient donc au transport routier et aérien, ce qui entraîne de la congestion et de la pollution supplémentaires. Tout cela doit se faire dans un contexte où l'économie canadienne stagne par rapport au reste du G7 (Alto, s. d.).

Bien qu'il demande selon les estimations préliminaires d'Alto un investissement initial 20 à 30% plus élevé qu'un train traditionnel, le PIB du Canada subirait une augmentation cinq fois supérieure grâce au TGV (Alto, s. d.) et attirerait 13 fois plus de passagers, ce qui générerait plus de revenus et un plus grand transfert modal (Alto, 2025). Le consortium chargé de la planification estime aussi que les temps de parcours plus courts apporteraient aussi un transfert modal, pour une meilleure efficacité, plus de durabilité et plus de sécurité, en autant qu'il soit rapide, fiable et fréquent. Les prévisions du consortium évaluent qu'il pourrait dépasser la voiture comme mode de transport le plus populaire entre Montréal et Toronto, avec 40% des déplacements, ce qui permettrait de réduire la congestion et la nécessité de réparer les routes. Il pourrait aussi réduire la quantité de vols courts. Cela permettrait en plus d'éviter 26000 blessures et 400 décès sur les routes selon les calculs d'Alto. Le développement du TGV allégera la pression sur le réseau de marchandises aussi, puisqu'il s'agira d'un réseau indépendant et séparé du réseau actuel, qui est majoritairement la propriété de compagnies de trains de marchandises (Alto, 2025, s. d.).

Avec un budget de 60 à 90 milliards de dollars canadiens, 24 millions de passagers et 43 millions de déplacements sont attendus en 2055, accompagnés d'avantages à hauteur de 5 à 7 milliards de dollars en réduction d'émissions de GES et d'une augmentation de 1,1% du PIB canadien, selon un document de présentation du projet publié par Alto (2025). L'augmentation du PIB passera par l'augmentation de la productivité, la réduction des temps de trajets et des coûts de déplacement ainsi que l'attraction du tourisme. Par l'augmentation de la productivité amenée par ce projet, 50000 emplois seraient créés pendant 10 ans et 100000 voitures seraient retirées des routes annuellement. Les coûts de transport seraient réduits, puisque le projet est indépendant de l'infrastructure appartenant au CN et au CP et que la subvention d'exploitation pourra donc être éliminée. De plus, Alto prévoit aussi stimuler la construction de logements et de développements à haute densité autour des gares par ce projet, contribuant à la résolution de la crise du logement. Le projet demande des matériaux canadiens (bois, acier, aluminium, cuivre, béton, etc.) et de l'expertise locale (ingénieurs, géomètres, architectes, etc.), il pourrait réduire les obstacles au commerce intérieur et élargir l'accès à l'emploi. Des tarifs sociaux seront aussi offerts, en plus des économies dans le contexte où un déplacement en voiture coûte au moins le double d'un déplacement en train (Alto, 2025, s. d.).

1.2 Transport interrégional au Québec

Le transport interurbain au Québec est régi par la Commission des transports du Québec, qui le définit comme un « service entre deux municipalités, entre une municipalité et une agglomération ou entre deux agglomérations indiquées au permis » (Commission des transports du Québec, 2025). Le concept de permis, ainsi que le contexte historique du transport interrégional au Québec seront ici abordés.

1.2.1 Contexte historique

Guillemette (2015) et Barbier (2016) dressent rapidement le portrait historique du transport interurbain dans leurs travaux, principalement le cas de l'autocar. Ce dernier mode de transport « est apparu au Québec dans les années [1920] et a connu une grande popularité jusque dans les années [1950] » (Guillemette, 2015), où il est alors supplanté par l'essor de la voiture personnelle. Cela reflète la situation aux États-Unis, où l'ouverture des autoroutes et la dégradation des centres-villes ont causé une forte diminution de la demande jusqu'aux années 2000. Ce déclin se poursuit toujours au Québec et les causes potentielles sont multiples. On compte parmi celles-ci « la

motorisation, le vieillissement de la population, l'urbanisation, la régionalisation des services, la concurrence des modes de transport subventionnés et du covoiturage, ainsi que le cadre réglementaire » (Guillemette, 2015), quoique ce dernier élément reste controversé.

Au Québec, le gouvernement provincial légifère dans les années 1930 pour interdire la concurrence. Par cet encadrement, les compagnies de transport interrégional par autocar doivent à ce jour justifier leurs tarifs, garder un niveau de service et demander l'approbation de la Commission des transports du Québec pour supprimer du service. De plus, l'exploitation des routes se fait par attribution de permis, lesquels sont uniques pour chaque route. Les compagnies d'autocar ont donc le monopole sur leurs lignes (Guillemette, 2015). Ces permis explicitent « les catégories de véhicules autorisés, les territoires autorisés, les municipalités autorisées sur le parcours, les parcours principal et alternatif, la clientèle, les conditions d'exploitation et les restrictions et les horaires et la fréquence » (Barbier, 2016) de la ligne.

Le mode de fonctionnement financier des compagnies de transport par autocar est l'interfinancement. Ce principe repose sur l'équilibre entre l'exploitation d'un monopole sur des routes rapportant plus de bénéfices en échange de fournir un service sur des lignes moins achalandées, les revenus des premières servant à financer l'exploitation des dernières. Cela peut poser problème si les revenus des lignes lucratives ne couvrent pas les coûts d'exploitation des autres lignes, surtout dans le cas où les compagnies privées de transport par autocar ne reçoivent pas de subventions, contrairement à VIA Rail par exemple (Barbier, 2016). C'est pourquoi Orléans Express a cessé de desservir de nombreux arrêts et lignes et que Maheux et Intercar ont eu de l'aide financière pour continuer de desservir des régions plus éloignées (Barbier, 2016; Guillemette, 2015).

1.2.2 Contexte actuel et état du réseau

Le déclin constant amène à la situation actuelle, soit l'omniprésence de la voiture pour les déplacements de longue distance. Celle-ci est utilisée dans près de 95% des cas de voyage de longue distance, et ce, peu importe la distance (Morency, 2024). Cela se voit aussi par l'augmentation constante de la quantité de voitures sur les routes, ainsi que le gain de popularité du covoiturage. Le transport par autobus suit très loin derrière, avec une part modale à un peu plus de 2% selon l'étude analysée (Guillemette, 2015).

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** illustrent deux itérations du réseau interurbain de transport par autocar au Québec. La première est tirée d'un document de l'ancienne Association des propriétaires d'autobus du Québec (s. d.) et date d'environ 2009. Celle-ci et l'Association du transport écolier du Québec se sont regroupées en la Fédération des transporteurs par autobus en 2014 (Barbier, 2016). La deuxième carte provient du ministère des Transports du Québec (Division de la géomatique, 2015). Aucune carte plus récente dressant la liste exhaustive des réseaux privés d'autocars n'a été trouvée.

Le **réseau** de **transport interurbain** par **autocar** au Québec

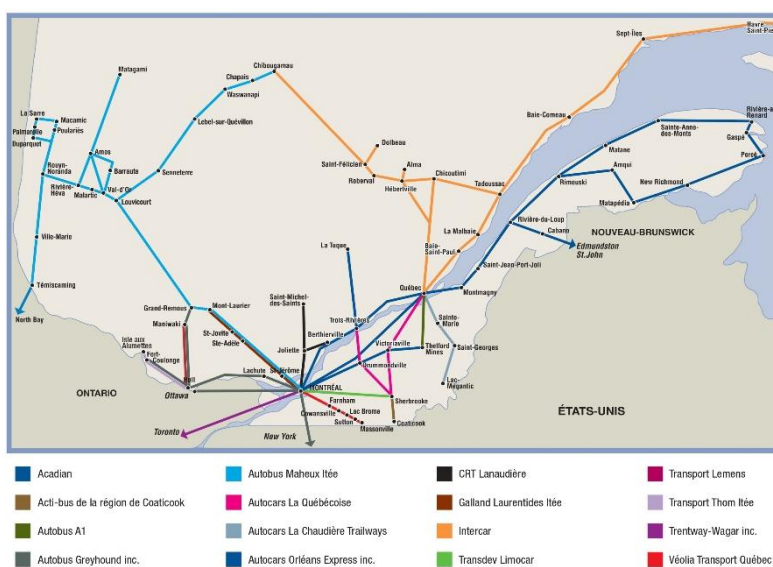


Figure 1.1 : Carte du réseau interrégional au Québec autour de 2009 (Association des propriétaires d'autobus du Québec, s. d.)

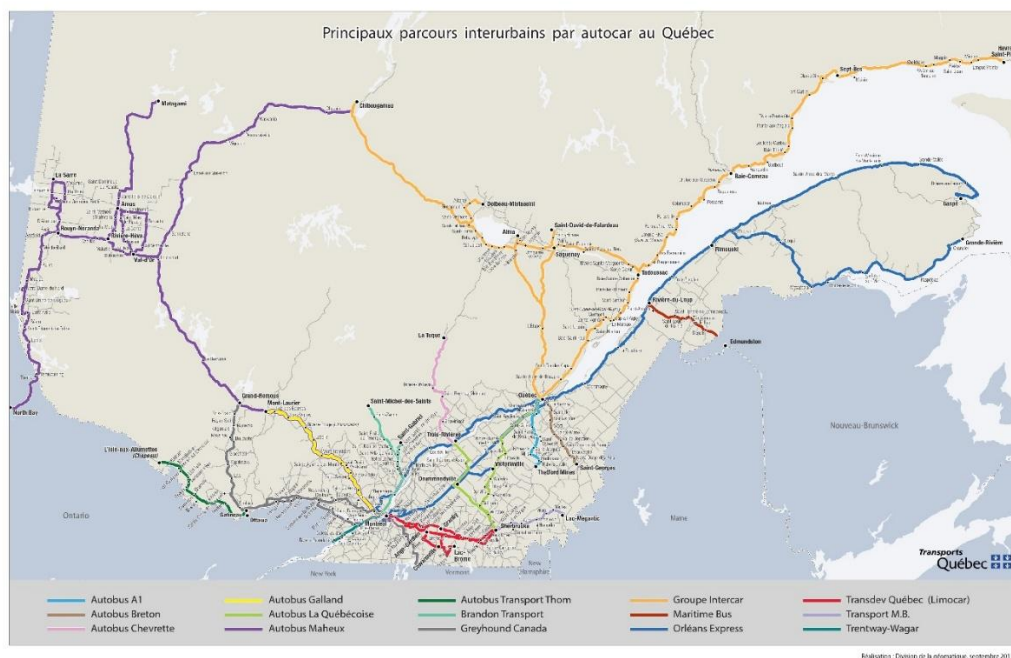


Figure 1.2 : Carte du réseau interrégional au Québec en 2015 (Division de la géomatique, 2015)

En 2015, ce réseau couvrait alors 73 municipalités régionales de comté sur 88, pour plus de 80% de la population de l'époque (Guillemette, 2015). Les six transporteurs étudiés par Barbier (2016) offraient 15,7 millions de places-kilomètres avec 290000 véhicules-kilomètres parcourus et 1300 départs par semaine. Les résultats indiquaient qu'environ les trois quarts de la population québécoise était à moins de 15 kilomètres à vol d'oiseau d'un arrêt de ce réseau, mais seulement 45% était à distance cyclable (évaluée à six kilomètres) et 11% à distance marchable (moins de 1,6 kilomètre).

Ces deux cartes ne sont toutefois pas représentatives du réseau actuel. Parmi les compagnies de la légende de la carte de 2015, Autobus Breton, Autobus Transport Thom et Transport Lemens n'existent plus, Greyhound Canada, Maritime Bus, Trentway-Wagar et Acadian n'offrent plus de parcours entre deux villes québécoises, alors que plusieurs compagnies ont vu leur service repris par les municipalités, comme Brandon Transport à Joliette et Actibus à Coaticook.

1.3 Objectifs et structure

À l'aide de données GTFS (*Global Transit Feed Specification*), ce mémoire vise à faire le diagnostic de l'offre de transport en commun et de l'accessibilité au transport interurbain et

interrégional au Québec afin de compléter les résultats de cette première étude sur les déplacements de longue distance, ainsi que de proposer une méthodologie de positionnement des infrastructures de transport en commun interrégional. Cela se fera d'abord par un exposé de l'état des connaissances dans la littérature scientifique concernant ces sujets ainsi qu'une mise en contexte, puis par l'explication des objectifs, de la méthodologie utilisée et des difficultés rencontrées, et ensuite la présentation des résultats, suivie d'une discussion concernant ces résultats avant de conclure avec un rappel des objectifs, l'énumération des limites de cette étude ainsi que des perspectives de recherche future.

CHAPITRE 2 ÉTAT DES CONNAISSANCES

Bien que la plupart de la littérature concernant le transport en commun se concentre sur les déplacements urbains vers le travail, il est tout de même possible de tirer certaines informations et tenter de les appliquer au transport en commun de longue distance. De plus, le vide dans la littérature par rapport au transport en commun interrégional commence à être remarqué, ce qui incite la communauté à étudier cet enjeu longuement négligé. L'état des connaissances qui suit traite donc autant du transport interrégional en soi, que de modèles d'achalandage appliqués aux déplacements urbains, afin de les transposer dans des contextes interrégionaux et ruraux. Les premières sections traitent d'abord des défis rencontrés spécifiquement au Québec et des enjeux politiques associés.

2.1 Déplacements de longue distance

Un déplacement de longue distance peut sembler être un concept très simple, mais sa définition même est très discutée. Les déplacements de longue distance, particulièrement ceux faits par autocar au Québec, ne sont pas autant étudiés dans la littérature que les déplacements du quotidien, surtout en contexte urbain, mais ils ont tout de même été le sujet de quelques travaux réalisés par plusieurs précédents étudiants à Polytechnique Montréal. Il est important de noter que bien que la recherche au sujet des déplacements de longue distance soit plus rare que celle sur les déplacements urbains quotidiens, ceux-ci sont tout de même étudiés ailleurs qu'à Polytechnique Montréal. La section qui suit fait toutefois état de travaux réalisés précédemment à Polytechnique Montréal sous ce thème.

Guillemette (2015) a étudié les déplacements interurbains au Québec par l'entremise de l'Enquête nationale sur les voyages des résidents du Canada (ENV), caractérisé l'offre et la demande en transport interurbain à l'aide des données d'Orléans Express et développé un prototype d'enquête sur ces déplacements, enquête qui finira par voir le jour en 2024 avec la première enquête nationale sur les déplacements de longue distance.

Barbier (2016) a développé des indicateurs de performance pour l'analyse de réseaux de transport en commun interurbain et a étudié les réseaux des six opérateurs principaux à l'époque. Elle a aussi rédigé des flux GTFS pour ces opérateurs et étudié l'accessibilité au réseau interurbain à l'échelle québécoise.

Zhang (2017) a développé d'autres indicateurs, à la fois de la perspective des opérateurs et de celle des passagers, afin d'évaluer la performance des services de transport en commun interrégional. Sa recherche a aussi porté sur la déduction des voyages faits en utilisant les données de vente de billets ainsi que l'analyse de la variabilité temporelle et spatiale de la demande en transport par autocar interurbain.

Plus récemment, Ali Zadeh (2022) a élaboré une méthodologie pour classifier la demande en transport interurbain à l'échelle des villes québécoises en corridors de déplacements, puis les ordonner selon leur importance. Il a aussi développé un modèle de génération de déplacements à l'aide des données de l'Enquête nationale sur les voyages des résidents du Canada. Ensuite, une analyse de compétitivité des temps de parcours des modes dans les corridors précédemment établis a été complétée.

Tableau 1 : Résumé de la recherche en déplacements de longue distance à Polytechnique Montréal

Auteur	Données	Résultats
Guillemette (2015)	ENV, Orléans Express	Caractérisation de la demande et de l'offre en transport interurbain, prototype d'enquête sur les déplacements de longue distance
Barbier (2016)	Six opérateurs de transport	Indicateurs de performance, flux GTFS, accessibilité au réseau
Zhang (2017)	Ventes de billets d'autocar	Indicateurs de performance, analyse de la variabilité temporelle
Ali Zadeh (2022)	ENV	Classification de la demande en transport interurbain, modèle de génération de déplacements, analyse de compétitivité des temps de parcours

2.1.1 Définition de longue distance

Les travaux précédents produits au sein de la Chaire Mobilité sont unanimes, la définition même des déplacements de longue distance est différente selon le contexte et souvent débattue dans la littérature (Ali Zadeh, 2022; Barbier, 2016; Guillemette, 2015; Zhang, 2017). Trois façons de définir les déplacements de longue distance semblent se démarquer, soit un seuil d'une certaine

distance, le fait de passer au moins une nuit à l'extérieur du domicile ainsi que le départ de l'environnement habituel (Gerike et al., 2018). D'autres critères sont relevés dans la littérature, comme le temps de parcours ou la traversée de frontières administratives (Zhang, 2017).

Toutefois, ces trois façons de déterminer si un déplacement est de longue distance ou non ne sont pas toujours déterminées de la même manière. Pour ce qui est de la distance du déplacement, la majorité des travaux et enquêtes utilisent la distance à vol d'oiseau, mais pas l'Enquête nationale transports et déplacements réalisée en France, qui utilise la distance réseau. De plus, lorsque la distance à vol d'oiseau est utilisée, le seuil pour désigner un déplacement comme longue distance varie entre 24 et 100 kilomètres (Barbier, 2016; Guillemette, 2015). La première enquête québécoise sur les déplacements de longue distance utilise quant à elle une distance de 40 kilomètres comme seuil. Les seuils les plus bas peuvent cependant être trop perméables dans leur capture des déplacements longue distance, car certaines personnes peuvent voyager sur des distances supérieures aux seuils les plus bas au quotidien.

En ce qui concerne le temps de parcours, ce critère est relativement moins utilisé. Cela peut s'expliquer par le fait qu'il soit corrélé à la distance réseau, mais influençable notamment par la congestion, d'autant plus que celle-ci n'est pas tout le temps prise en compte par les calculateurs d'itinéraires. Le temps de parcours est par exemple utilisé dans le Microrecensement suisse, qui recueille les déplacements de plus de trois heures ou avec une nuit à l'extérieur du domicile. Le cadre législatif allemand mélange les critères de temps et de distance en définissant un déplacement de longue distance comme excédant 50 kilomètres à vol d'oiseau ou une heure (Guillemette, 2015). L'effet de rappel est également un désavantage de l'utilisation du temps de parcours, car il est beaucoup plus facile de demander les endroits visités et ensuite calculer les distances, peu importe s'il s'agit de distances réseau ou de distances à vol d'oiseau, plutôt que de demander directement la durée d'un déplacement fait plusieurs semaines auparavant, durée qui sera d'ailleurs probablement estimée et arrondie plutôt qu'exacte comme peut l'être la distance.

La traversée de frontières administratives est utilisée dans des enquêtes suédoises et italiennes (Barbier, 2016). Ce critère est rarement le seul utilisé, car plusieurs trajets peuvent croiser des limites administratives sans toutefois être des déplacements de longue distance. On peut par exemple penser aux travailleurs du gouvernement fédéral et habitant à Gatineau qui traversent la rivière des Outaouais matin et soir. Un autre critère lui ressemblant est celui de partir de son

environnement habituel. Celui-ci est beaucoup plus utilisé dans un contexte de tourisme plutôt que de planification des transports en commun (Gerike et al., 2018).

La multiplication des critères, ainsi que des seuils au sein de chacun des critères est problématique pour la comparaison des résultats des diverses enquêtes. En effet, sans définition commune des déplacements de longue distance, chaque enquête développe ses propres critères, ce qui rend l'analyse comparative des différents résultats plus difficile (Guillemette, 2015).

Ensuite, plusieurs termes sont utilisés pour les déplacements de longue distance, ce qui ajoute à la complexité de leur définition. En plus de longue distance, certaines études analysent les déplacements ruraux, interurbains, régionaux, interrégionaux, périurbains ou bien non urbains. Tous ces termes peuvent potentiellement désigner des déplacements de longue distance selon la définition employée, et ont leurs propres critères pour les définir. Par exemple, un déplacement en transport régional en Europe implique une distance de 20 à 100 kilomètres, ce qui peut constituer un déplacement de longue distance. Aux États-Unis, le transport interrégional se fait entre deux régions métropolitaines éloignées de 160 à 800 kilomètres l'une de l'autre (Barbier, 2016).

De plus, il est important de noter que plusieurs types de transport de longue distance existent, tels que « le transport scolaire, le transport adapté, le transport médicalisé et le transport nolisé, d'excursion et touristique » (Barbier, 2016). Tous ces transports peuvent impliquer de longues distances, mais ne se font pas dans le même cadre que le transport en commun et ne sont pas soumis aux mêmes règlements.

Ainsi, Barbier (2016) retient cinq éléments pour sa définition des déplacements de longue distance, soit une distance d'au moins 100 kilomètres à vol d'oiseau, qui utilise le réseau routier primaire (autoroutes et routes principales) en dehors des zones urbaines dont le transport est organisé par une autorité, dont les itinéraires sont fixes et planifiés et qui sont ouverts à tous.

Dans le cadre de la méthodologie décrite en section 4.2, les déplacements analysés sont constitués de paires origine-destination situées dans deux régions métropolitaines de recensement différentes, puisqu'on étudie les temps de parcours des déplacements interurbains. La définition retenue est donc plus proche du critère des frontières administratives traversées, bien que ces déplacements impliquent des distances presque exclusivement au-dessus de 50 kilomètres dans les plus petites distances, ce qui correspond au critère de distance utilisé en Allemagne.

2.1.2 Caractéristiques des déplacements de longue distance

Les voyages de longue distance sont peu fréquents, mais composent une grande partie du kilométrage, en plus d'augmenter sans cesse (Gerike et al., 2018). En 1995, 0,5% des déplacements aux États-Unis étaient qualifiés de longue distance, mais représentaient le quart de la distance parcourue par les Américains (Guillemette, 2015). Plus récemment, les déplacements de longue distance représentaient 3% des déplacements, mais 30% de la distance totale parcourue (Litman, 2024). En Allemagne, 45% des kilomètres parcourus le sont au cours de déplacements de plus de 100 kilomètres, ce qui contribue fortement à l'empreinte écologique du secteur des transports (von Behren et al., 2024). Quatre études différentes ont trouvé que le nombre de déplacements de longue distance se situe entre quatre et neuf par personne par année. De plus, la fréquence diminue avec la longueur du déplacement. Un sondage réalisé en Suisse, en République Tchèque et au Portugal estime que moins d'un voyage de plus de 300 kilomètres par personne par année est fait (Zhang, 2017).

De plus, ce n'est qu'une minorité de la population qui fait des déplacements de longue distance. En 2007, une enquête américaine « révèle que 61% de la population américaine ne fait aucun déplacement interurbain dans une année, et que 5% de la population à elle seule effectue 25% des déplacements interurbains » (Guillemette, 2015). Au Royaume-Uni, ce sont 2% des résidents qui parcourent 30% des personnes-kilomètres (Dargay & Clark, 2012). De plus, cette minorité peut être plutôt isolée sociologiquement. Il s'agit en général des gens avec un plus haut niveau d'éducation et un plus haut revenu, ce qui est nécessaire pour se permettre des billets d'avion et des vacances, par exemple (Schulz et al., 2024).

Au Québec, 94% des déplacements de longue distance se font en voiture. Cette augmentation se poursuit malgré le fait que les transports représentent la deuxième section la plus importante du budget des ménages québécois, le logement étant le premier (Morency, 2024).

2.1.3 Déclin du transport en commun interrégional

Le transport interrégional reçoit moins d'investissements que le transport urbain, ce qui fait que les gens sans voiture peuvent se déplacer dans leur communauté, mais pas vers d'autres endroits. Cela les déprime d'opportunités et augmente la quantité d'accidents de la route en raison d'un recours plus important aux véhicules privés. Dans une population typique, 20 à 40% des gens

ne peuvent pas utiliser la voiture ou l'avion pour leurs déplacements de longue distance, car ils n'ont pas de permis, pas de véhicule, pas les moyens financiers, pas l'âge, pas les capacités physiques ou pas l'envie. Toutefois, un service de transport en commun interrégional fonctionnel peut permettre aux ménages de se départir d'un ou plusieurs véhicules.

Pourtant, la plupart des services interurbains au Canada sont de mauvaise qualité. Cette situation peut être expliquée par une faible demande, mais la demande augmente lorsque le service est adéquat. Cependant, les infrastructures du transport interrégional sont parfois en déclin et les compagnies se fient sur des infrastructures plus légères, telles que les arrêts en bord de rue (Litman, 2024). En outre, l'information est difficile à obtenir ou imprécise et plusieurs organisations différentes gèrent différents modes de transport, mais aucune agence ne fait la planification ou l'analyse des bus interrégionaux (Litman, 2024). De plus, les temps d'accès aux services interrégionaux sont trop longs (Morency, 2024).

La Chambre des Communes a établi que le déclin des bus interrégionaux a fait en sorte que les communautés rurales ont été particulièrement affectées (Litman, 2024). En effet, les bus interrégionaux reçoivent moins de financement et de support politique que les autres modes de transport, surtout la voiture. Ainsi, les infrastructures routières dédiées à la voiture devrait également être desservies par un service de transport en commun pratique et abordable pour être considérées comme complètes (Litman, 2024). Un tel service doit être diversifié, prendre en compte le confort des usagers, leur permettre de faire autre chose durant les déplacements, éviter de nécessiter trop de correspondances, avoir une fréquence minimale et fournir de l'information en temps réel (Morency, 2024).

2.2 Enquêtes Origine-Destination

Les enquêtes Origine-Destination sont des études sur les déplacements d'une population. Elles comprennent généralement un questionnaire interrogeant les répondants sur leurs déplacements lors d'une journée afin de brosser le portrait de la mobilité dans une région. Les résultats d'une telle enquête avaient en 2018 à Montréal les objectifs suivants :

connaître les habitudes de déplacement de la population et en mesurer les variations, connaître les besoins de la population en matière de transport pour adapter les politiques et les projets de transport, orienter la mise en place de nouvelles infrastructures routières, ponts et services de transport collectif par bus, métro, tramway et autres, améliorer et

optimiser les services de transport offerts par les différents opérateurs de transport dans la région métropolitaine. (Autorité régionale de transport métropolitain, s. d.-b)

Ces objectifs ont ensuite évolué dans la mouture suivante de l'enquête, soit celle administrée en 2023, pour devenir les suivants :

soutenir la planification et l'amélioration des services de transport collectif, aider votre municipalité à aménager et à créer des milieux de vie attrayants, alimenter les efforts de recherche pour mieux comprendre les enjeux d'accessibilité et d'équité et contribuer à améliorer le réseau routier, réduire les impacts de la congestion routière et contribuer à la réduction des GES. (Autorité régionale de transport métropolitain, s. d.-a)

Il est intéressant de recenser la littérature sur les enquêtes Origine-Destination afin d'observer quels déplacements sont recensés par ces enquêtes et comment ceux-ci sont recensés, mais il est surtout intéressant d'observer quels déplacements sont absents de telles enquêtes. Les déplacements interrégionaux font partie de cette demande qui n'est pas toujours bien observée par les enquêtes Origine-Destination.

2.2.1 Déplacements non capturés

La plupart des enquêtes se concentrent sur les déplacements du quotidien et donc ne capturent pas les déplacements faits sur plusieurs journées ou les déplacements plus occasionnels (Gerike et al., 2018). Les autres principaux angles morts des enquêtes sur la mobilité jusqu'à présent sont les déplacements de longue distance, les modes moins fréquents, les fins de semaine et les non-résidents (Morency, 2024). Aussi, même si les enquêtes OD apportent beaucoup de données, elles sont surtout faites dans les régions métropolitaines et capturent donc moins les déplacements ruraux. Les déplacements vers des régions rurales peuvent être capturés s'ils sont faits par des résidents de la région métropolitaine étudiée. De plus, ces enquêtes capturent les déplacements provenant des régions métropolitaines allant vers d'autres régions, mais pas l'inverse (Guillemette, 2015).

Avant l'administration de la première enquête québécoise sur les déplacements de longue distance, très peu de données étaient disponibles sur ceux-ci. Quelques enquêtes menées par le gouvernement fédéral, comme l'Enquête sur les voyages des résidents du Canada et l'Enquête sur les voyages internationaux, tentaient de répondre à ce besoin, mais celles-ci concernaient les déplacements touristiques plutôt que la mobilité interrégionale. Cela mettait en évidence la négligence de l'importance des déplacements de longue distance (Guillemette, 2015).

2.2.2 Stratégies de récolte

Certains pays incluent les déplacements de longue distance dans leurs enquêtes OD, certains dans une section spécifique (France, Allemagne, Suède, Royaume-Uni, entre autres) et d'autres dans des enquêtes dédiées (Danemark, Espagne, Pays-Bas, entre autres). Certains incluent seulement les déplacements domestiques (Gerike et al., 2018). Le principal enjeu des enquêtes OD est de les rendre plus précises et à jour, tout en réduisant le fardeau du répondant. Aux États-Unis, les budgets ont plutôt été consacrés au maintien des infrastructures vers les années 1990, donc les enquêtes OD ont un moindre taux de participation et moins de financement, d'où l'intérêt envers les données GPS, notamment (Lawson et al., 2023). De plus, certaines stratégies peuvent rendre la capture des déplacements de longue distance plus compliquée par leur période plus courte de récolte des déplacements et par pur hasard des instances de tels déplacements, ce qui peut faire en sorte que les répondants qui pourraient inscrire un déplacement de longue distance ne soient tout simplement pas disponibles pour répondre à l'enquête au moment de sa diffusion (Schulz et al., 2024; von Behren et al., 2024).

Il existe différentes stratégies de récolte d'information, notamment les journaux de déplacements, où l'on demande aux répondants de donner tous leurs déplacements pour une journée, les sondages rétrospectifs, où les répondants doivent donner tous leurs déplacements de longue distance sur une certaine période, et les données cellulaires, où l'on analyse les données à partir des services de localisation des téléphones. Cette dernière méthode semble prometteuse pour combattre le fardeau du répondant et le biais de rappel, puisque deux fois plus de déplacements sont recensés avec cette méthode par rapport aux précédentes (Gerike et al., 2018).

Cependant, les sources de données GPS ou les données de trafic agrégées ne récoltent pas tout le temps l'aspect socio-démographique nécessaire à une analyse OD complète. Les données GPS peuvent toutefois être utilisées de façon complémentaire pour corriger les erreurs d'estimation des répondants. En effet, les gens sous-estiment régulièrement le temps et la distance en transport actif et en auto, mais les surestiment en transport en commun (Lawson et al., 2023).

De plus, il y a un biais de participation avec une enquête seulement par cellulaire, puisque la portion de la population sans téléphone cellulaire ne peut pas du tout participer. Les différentes méthodes utilisées par les plusieurs applications de récolte de données GPS posent un problème de

méthodologie, car il n’y a pas de standard sur l’enregistrement et la manipulation des données obtenues par cellulaire (Lawson et al., 2023).

Une entreprise appartenant à Google s’est aussi mise de la partie. Replica utilise une population synthétique, mais les populations générées sont assez différentes de celles tirées des enquêtes pour l’instant (Lawson et al., 2023).

Bref, plusieurs méthodes permettent de multiplier les sources de données pour compiler un meilleur portrait de la mobilité interrégionale, mais celles-ci font face à plusieurs défis. Chaque source de données est compilée avec différents objectifs en tête, la définition d’un déplacement de longue distance peut changer et leurs méthodologies peuvent diverger aussi. Par exemple, il existe deux paradigmes d’enquêtes, soit en se basant sur le territoire ou en se basant sur les résidents. Si l’on utilise seulement les enquêtes basées sur les résidents, cela veut dire que l’on obtient aucune donnée sur les touristes qui arrivent ou qui transitent par le territoire (Schulz et al., 2024).

Une autre avenue possible pour pallier les manques des méthodes actuelles est le squelette de voyage, qui consiste à demander les activités réalisées par les répondants, leur mode de préférence et la fréquence de ces déplacements, au lieu de demander la liste complète de tous les déplacements. Cela permet d’éviter une partie de l’effet de rappel et d’avoir autant les déplacements stables que ceux qui arrivent plus rarement.

Les solutions à la sous-représentation des déplacements de longue distance incluent l’utilisation de plusieurs sources de données pour avoir un portrait plus complet des déplacements, des méthodes d’échantillonnage différentes pour une meilleure représentation, la réduction du fardeau du répondant et de l’effet de rappel ainsi que l’utilisation de nouvelles technologies (Gerike et al., 2018).

2.2.3 Tendances actuelles

Aux États-Unis, les tendances actuelles en enquêtes OD sont d’augmenter la fréquence des enquêtes, tenter d’augmenter la participation et faire des partenariats avec le privé ou les départements provinciaux (Lawson et al., 2023). Une autre tendance observée, soit la gamification, est cependant considérée moins prometteuse pour l’observation des déplacements (Lawson et al., 2023).

En Ohio, les répondants à l'enquête OD par cellulaire sont invités à répondre à la version longue distance à l'aide d'une application qui ne collecte que les déplacements de plus de 50 miles. Cette application peut alors servir de première étape de validation. Cependant, une revue de 21 entités utilisant les données passives révèle que seule une les utilise pour de la modélisation à l'échelle d'un état, et elles ne remplacent pas l'enquête OD classique. Une des raisons est qu'il y a peu de façons de confirmer les hypothèses faites. Pour valider cela, il faut avoir une uniformité des questions et options de réponse pour assurer la comparabilité des enquêtes (Lawson et al., 2023).

Aussi, dans le contexte où la protection de la vie privée prend de l'importance, les données privées peuvent être moins fiables dans les quartiers à haute mixité lorsqu'elles sont trop granulaires, car elles peuvent ne pas refléter adéquatement la composition du quartier. De plus, ce type de données peut décourager les individus se souciant particulièrement de leur vie privée de participer, notamment dans les quartiers à basse densité (Lawson et al., 2023).

Une autre tendance à explorer est de permettre plusieurs réponses et ne pas trop catégoriser les déplacements. En effet, le but d'un déplacement n'est pas unique, il peut être fait pour les affaires et le plaisir à la fois (Gerike et al., 2018).

2.3 Achalandage

Un système de transport en commun permet aux habitants d'une ville ou d'une région de se déplacer. Pour répondre à ce besoin, le système doit être adéquatement planifié. Il est donc nécessaire d'estimer l'achalandage aux stations lors de la planification d'un système, car la demande en transport est une fonction de l'offre de transport, mais l'offre est aussi une fonction de la demande (Gutiérrez et al., 2011). Ainsi, autant le système de transport doit prendre en compte les besoins de la population, autant il peut servir à modéliser le territoire. Le succès d'un tel système peut donc être mesuré par son achalandage.

2.3.1 Facteurs d'achalandage

Les facteurs pouvant influencer l'achalandage sont multiples et souvent discutés dans la littérature. Gutiérrez (2011) énumère l'environnement bâti (particulièrement les 3 D, soit densité, diversité et design), les caractéristiques socio-économiques et les caractéristiques des stations comme types de facteurs, plus particulièrement dans le cas du métro de Madrid.

Le lien positif entre la densité et l'utilisation du transport en commun est bien établi. Le type de zonage et la mixité du zonage exercent aussi une influence sur l'achalandage, quoique moindre que celle de la densité. La mixité du zonage permet aussi d'avoir une demande plus équilibrée dans le temps et dans l'espace, en répartissant mieux temporellement la demande en-dehors des périodes de pointe, ainsi que spatialement parmi les destinations possibles. Au niveau socio-économique, les gens à revenus plus faibles, qui ne possèdent pas de voiture, issus de l'immigration ou qui font partie des minorités visibles sont plus susceptibles de prendre les transports en commun. Concernant les caractéristiques des stations, le type de station est important pour l'achalandage. Les terminus attirent des gens situés plus loin, et les stations de correspondance ou intermodales attirent plus de déplacements (Gutiérrez et al., 2011).

Du (2022) souligne dans son étude sur le métro de Xi'an qu'il existe deux types de facteurs influençant l'achalandage, soit d'un côté les facteurs internes, comme les tarifs, la vitesse du service, la fréquence du service et les caractéristiques des stations (terminus ou correspondance), et de l'autre, les facteurs externes, la diversité du zonage (jusqu'à une certaine distance seulement), la densité de population et d'emplois, la proportion de ménages à faibles revenus, la proportion de locataires, l'âge et le genre. En général, les facteurs internes ont une moins grande influence que les facteurs externes (Chan & Miranda-Moreno, 2013). L'utilisation du sol est à étudier, car plusieurs études montrent une relation entre celle-ci et l'achalandage qui n'est pas nécessairement linéaire (Du et al., 2022).

Dans sa publication sur les réseaux régionaux traversant la métropole de Tokyo ainsi que ses systèmes de trains de banlieue et de métro, Cao (2020) divise plutôt les facteurs influençant l'achalandage selon le modèle nœud-place, quoique la valeur de nœud est généralement constituée de facteurs internes, et la valeur de place de facteurs externes. Différentes itérations de ce modèle ont inclus diverses mesures d'accessibilité du réseau comme valeur de nœud, comme le nombre de stations à moins de 45 minutes, la fréquence du service, le nombre de destinations, la proximité au centre-ville et l'index de congestion. Elles ne prenaient donc pas en compte les opportunités accessibles autour des stations, ni la centralité des stations. Pour la valeur de place, l'étude originale inclut le zonage du sol autour de la station, le nombre de résidents et de travailleurs dans quatre secteurs économiques particuliers, soit la vente au détail et l'hôtellerie, l'éducation, la santé et la culture, les services et l'administration ainsi que l'industrie manufacturière, ainsi que la mixité du

zonage. Des études subséquentes y ajoutent la densité de population, le nombre d'appartements, le prix des terrains et le taux de chômage (Cao et al., 2020).

Wu (2023) divise les facteurs d'achalandage des trains de banlieue et du métro de Sydney de la même manière, avec la mixité de zonage, la densité d'emplois, de population et d'infrastructures pour la valeur de la place, ainsi que le nombre de connexion en transport en commun, la proximité au centre-ville, le nombre de stations atteignables en un certain temps, la distance moyenne aux autres stations, la capacité de service ou la quantité d'infrastructures atteignables pour la mesure de la valeur de nœud. Alors que les caractéristiques démographiques individuelles exercent plutôt une influence sur le choix modal, le nombre d'emplois et la population sont importants pour l'affluence aux stations. À la destination, l'accès aux emplois augmente l'achalandage, alors qu'à l'origine, il s'agit plutôt de la population dans l'aire d'attraction de la station. En revanche, les stations avec beaucoup d'emplois aux alentours ont moins de résidents, car les deux sont en compétition pour une superficie limitée. (Wu et al., 2023).

L'accessibilité aux destinations autour d'une station contribue plus à l'achalandage que l'accessibilité au reste du réseau, à la démographie et aux caractéristiques de la station combinées. Les opportunités industrielles et commerciales sont les plus grands générateurs de déplacements, probablement car elles représentent des opportunités d'emploi, alors que les zones résidentielles ont peu d'impact sur l'achalandage à Xi'an selon Du (2022), ce qui semble contredire la majorité des autres études qui accordent une grande importance à la densité. Toutefois, dans cette même étude de Du (2022), la densité de population a le plus grand facteur d'explication parmi les variables démographiques. Le prix moyen des logements peut aussi être utilisé comme proxy pour le revenu et donc l'achalandage, car les riches sont plus susceptibles de prendre la voiture plutôt que le transport en commun (Du et al., 2022).

Pour Gan (Gan et al., 2020), la densité de population et d'emplois influencent le nombre d'embarquements à une station, mais seulement dans un certain rayon autour de ces stations, ce qui renvoie au modèle de régression pondérée par la distance de Gutiérrez (2011). L'influence de la mixité de l'utilisation du sol est plus controversée. La quantité de connexions multimodales influence aussi positivement l'achalandage. Dans des études à l'échelle des déplacements de station à station, la population à l'origine, les emplois à la destination et les connexions par bus ont un impact positif sur l'achalandage. Cependant, cela dépend fortement des stations, puisque, dans le

cas du métro de Nanjing, 41% des paires de stations étudiées avaient moins de cinq déplacements lors de la pointe du matin.

Toujours à Nanjing, l'environnement bâti autour de la station d'origine, le nombre de lignes de bus rejoignant la station d'origine et la densité de population à la destination sont les variables les plus explicatives en pointe du matin. En journée, il s'agit plutôt de l'impédance du trajet (temps de parcours, ratio distance réseau sur distance à vol d'oiseau et distance réseau), du prix des maisons et du type de stations. En pointe d'après-midi, la densité de population à l'origine et le nombre de lignes de bus viennent compléter les variables explicatives du matin. En soirée, l'environnement bâti autour de la station de destination devient plus important. La densité de population et l'impédance du trajet ont un effet important sur l'achalandage peu importe le moment de la journée. Il faut cependant noter que la relation entre la densité de population et le nombre de déplacements n'est pas linéaire, mais tout de même positive. Finalement, la mixité du sol n'a pas d'effet sur l'achalandage, au contraire de la densité des routes (Gan et al., 2020).

Chan et Miranda-Moreno (2013) ont développé un modèle d'achalandage spécifique au métro de Montréal. Selon leur modèle, les facteurs influençant la production de déplacements à Montréal sont la densité de population, le revenu moyen, les connexions avec les services de bus, la distance à la station Bonaventure et la fréquence du service. Pour l'attraction de déplacements, il s'agit plutôt du zonage commercial et gouvernemental, la connexion aux bus et la présence d'une station de correspondance. Les attributs du voisinage, du système de transport en commun et du zonage, particulièrement des zones d'emplois, commerciales et résidentielles contribuent tous à l'achalandage. Contrairement à ce qui ressort d'autres études, les auteurs mentionnent que plusieurs études des années 1980 n'ont pas la densité de population comme variable significative pour expliquer l'achalandage.

La distance et le chemin vers les arrêts sont d'autres facteurs influençant la décision de prendre le transport en commun ou non. La plupart des utilisateurs du transport en commun, particulièrement du bus, marchent vers et depuis les arrêts. En effet, la plupart des déplacements commencent avec un maximum de 550 mètres de marche pour accéder à un arrêt, et la fréquence des déplacements diminue rapidement à partir d'une distance d'accès de 90 mètres (Zhao et al., 2003). Toutefois, les passagers sont prêts à marcher plus loin et plus longtemps dans une zone qui est conçue pour les piétons, notamment lorsque celle-ci compte plus d'intersections et a un réseau

de rues plus connectées entre elles (Zaheer Khan et al., 2025). La densité, la diversité et le design de l'environnement affectent la distance que les gens sont prêts à parcourir pour accéder au transport en commun. Ces trois éléments impliquent souvent un plus grand nombre d'arrêts, et donc de moindres distances pour accéder au transport (Braun et al., 2022).

2.3.2 Modèles d'achalandage

L'achalandage aux stations de transport en commun peut être estimé ou prévu à l'aide de différents modèles. Parmi ces modèles, la procédure séquentielle classique est souvent utilisée et peut être un bon outil, mais elle peut avoir plusieurs problèmes aussi. Chaque type de modèle a donc ses avantages et inconvénients qui feront en sorte qu'un modèle sera préféré à un autre selon les besoins. La précision du modèle peut être affectée par sa complexité, les résultats sont sensibles au manque de données entrantes concernant les déplacements en transport en commun, la procédure ne prend pas en compte l'utilisation du sol, il arrive que les sociétés de transport ne fassent pas partie du processus de modélisation et ces modèles peuvent être complexes et coûteux (Gutiérrez et al., 2011).

Les modèles directs sont moins sensibles aux enjeux régionaux, mais permettent de capturer les caractéristiques de zonage dans l'environnement immédiat de la station planifiée. De plus, ils sont très appropriés pour évaluer la demande en transport le long d'un corridor (Gutiérrez et al., 2011).

La plupart des modèles utilisent un seuil de distance fixe pour déterminer l'aire d'attraction. Ce qui est situé dans l'aire d'attraction est assigné au complet à la station, et rien à l'extérieur de la zone d'attraction n'est pris en compte. Le modèle de Gutiérrez (2011) explore plutôt la relation entre la distance à la station et le nombre de passagers y entrant à pied, c'est-à-dire un modèle de régression pondérée par déclin de la distance.

En utilisant ce modèle avec déclin de la distance et les données de déplacements d'accès au transport en commun de Madrid, dont 80% des passagers y accèdent à pied, Gutiérrez (2011) a remarqué que l'achalandage des station diminue linéairement avec la distance d'accès à pied. Pourtant, la plupart des études assument que les déplacements partent des centroïdes et utilisent du tout-ou-rien avec des distances seuil. Or, les gens habitant de 500 à 1000 mètres d'une station utilisent 20% moins le transport en commun que les gens à moins de 500 mètres. Finalement, pour

des distances seuils de 300 mètres et plus, le modèle utilisant la distance réseau avec déclin d'achalandage basé sur la distance performe mieux que les modèles utilisant l'affectation à une station lorsqu'à l'intérieur d'une certaine distance réseau d'une station ou les modèles basés sur la distance à vol d'oiseau (Gutiérrez et al., 2011).

Cela reflète les travaux de Zhao (2003) sur le réseau de Miami, selon lesquels la distance à vol d'oiseau est faussée par son hypothèse que la population est uniformément distribuée et que la distance d'accès est euclidienne, ce qui n'est pas toujours le cas, surtout dans les villes n'ayant pas un système routier en grille. Tout comme les travaux de Gutiérrez, l'effet de la distance est étudié pour montrer que la fréquence des déplacements en transport en commun diminue rapidement lorsque la distance d'accès est de plus de 90 mètres. Ainsi, l'achalandage lorsque la distance d'accès est de 800 mètres représente seulement 3% de l'achalandage à 90 mètres. Considérant que la grande majorité des déplacements commencent avec un maximum de 550 mètres de marche pour accéder au transport en commun, qu'ils dépassent très rarement les 800 mètres d'accès et qu'il existe une forte corrélation entre la proximité du transport en commun et l'achalandage, la méthode utilisant la distance peut être un meilleur prédicteur d'achalandage que les zones-tampons autour des stations (Zhao et al., 2003).

Chan et Miranda-Moreno (2013) ont proposé un modèle pour Montréal basé sur la pointe du matin. Cependant, les auteurs mettent en garde qu'un tel modèle doit être utilisé avec précaution, car il ne peut pas prévoir la demande en transport sur le long terme si de nouvelles options de transport s'ajoutent. Cela est particulièrement pertinent pour le cas de Montréal, puisque depuis la publication de cette étude, l'agglomération montréalaise a connu l'ajout du REM. De plus, les modèles utilisant les données de villes canadiennes sont rares dans la littérature, ce qui ajoute à l'intérêt de celui-ci.

Les variables indépendantes utilisées sont classées en quatre catégories, soit les caractéristiques socio-économiques, le voisinage, le système de transport en commun et l'année de production des données. Il n'y a pas de corrélation entre les embarquements et les débarquements puisque le modèle se concentre sur la pointe du matin, même si ces deux mesures sont normalement corrélées. Dans le modèle de production de déplacements tout comme dans celui d'attraction de déplacements, l'environnement bâti et le système de transport influencent beaucoup l'achalandage.

Pour la génération des déplacements, la population dans une zone de 500 mètres, le revenu moyen autour de 1000 mètres, la connexion aux bus, la distance à la station Bonaventure (principale station intermodale de Montréal), la haute fréquence du métro et la présence d'un terminus ou d'une correspondance étaient toutes des variables significatives. Pour l'attraction des déplacements, les proportions de zonages commercial et institutionnel à moins de 1000 mètres étaient les plus importants. Le modèle n'a pas pris en compte la présence de stationnement incitatif, le prix du stationnement ou la qualité de l'infrastructure piétonne autour des stations, ce qui peut influencer sur l'achalandage. De plus, le modèle ne prévoit pas l'achalandage futur créé par un transfert modal (Chan et al., 2013).

Wu (2023) affirme que les modèles utilisant l'accessibilité locale aux emplois et l'accessibilité au transport des résidents sont les plus efficaces, puisque l'accessibilité peut expliquer la moitié de l'achalandage et a toujours un effet positif sur celui-ci. Aussi, il faut prendre en compte que l'accessibilité aux opportunités d'emploi représente aussi une accessibilité à des opportunités d'activités, car les restaurants, les commerces ou les lieux de culture peuvent être inclus dans ces deux catégories. Dans le modèle proposé, les opportunités d'emploi représentent plus d'achalandage lors de la période de pointe, mais pour la journée complète, les habitants contribuent plus à l'achalandage, ce qui indique que la majorité des trajets ne sont pas reliés au travail. Améliorer l'accessibilité piétonne aux emplois à proximité d'une station de transport en commun devrait donc être plus efficace pour augmenter l'achalandage (Wu et al., 2023).

Le standard pour analyser l'attraction d'une station aux États-Unis est d'utiliser un rayon d'un demi-mille, soit 800 mètres. Cela se fait car il est clair que la distance aux stations a une influence sur l'utilisation du transport en commun. Les gens habitant à moins de 800 mètres d'une station de transport en commun sont quatre fois plus enclins à utiliser les transports en commun, et plus de la moitié des travailleurs utilisant l'auto se sont convertis aux transports en commun après avoir déménagé près d'une station. De plus, une diminution de 1% de la distance au transport en commun augmente de 0,29% l'utilisation du transport en commun (Guerra et al., 2012).

Pourtant, le rayon d'analyse a peu d'influence sur le modèle d'attraction des déplacements. La justification classique pour cette distance, selon laquelle ce serait la distance jusqu'à laquelle les gens sont prêts à marcher pour prendre le transport en commun, a aussi été utilisée pour justifier des rayons d'analyse de 400 et 650 mètres. La distance de 800 mètres, qu'elle soit à vol d'oiseau

ou basée sur le réseau, est donc plutôt un artéfact historique. D'ailleurs, la distinction entre la distance réseau et la distance à vol d'oiseau apporte souvent peu aux modèles, car les réseaux routiers utilisés prennent rarement en compte les parcs et chemins donnant un accès exclusivement piétonnier (Guerra et al., 2012).

Pour le prouver, Guerra (2012) a calculé un modèle d'attraction avec la population et les emplois à différents rayons allant de 400 mètres à 2400 mètres dans 21 villes américaines. Résultat, les coefficients de corrélation sont similaires peu importe le rayon autour des stations. Concernant la fameuse distance des 800 mètres, il est même montré que le nombre d'emplois à moins de 400 mètres d'une station a un meilleur pouvoir d'explication sur son achalandage que la population à l'intérieur des 800 mètres autour d'une station. Cela indique donc que le développement de quartiers TOD doit prendre en compte la présence d'emplois pour être durable.

2.4 Déplacements ruraux

Si l'on veut desservir un pourcentage important de la population québécoise, il n'est pas suffisant de se limiter aux grandes villes de la province. Selon le pourcentage choisi, il sera nécessaire de desservir des municipalités plus éloignées et moins peuplées, et même dans le cas de petites villes, l'accessibilité à partir de l'extérieur de la ville vers la station de transport interrégionale doit être prise en compte. C'est pourquoi il faut prendre en compte les enjeux des déplacements ruraux, qui diffèrent souvent de ceux des déplacements urbains. En effet, les modèles calculés à partir de données urbaines projettent particulièrement mal l'achalandage du transport en commun en zone rurale (Chan et al., 2013). Cela peut aussi s'expliquer par le manque de recherche scientifique liée directement aux enjeux ruraux de transport.

Les enjeux actuels du transport rural incluent l'isolation des non-conducteurs ruraux, qui n'ont pas accès aux mêmes opportunités que les conducteurs, le vieillissement de la population, ce qui vient souvent avec des handicaps physiques et réduit les possibilités de déplacement, le coût des véhicules et la pauvreté, qui rendent la possession d'une voiture compliquée, l'évolution des préférences de déplacement, qui changent avec le temps et évoluent vers la mobilité durable, le taux d'accidents de la route, qui peuvent être causés par le manque d'options pour éviter la conduite en état d'ébriété, la diminution de l'état de santé, qui pourrait être amélioré par l'utilisation plus fréquente de mode actifs de transport, ainsi que le manque d'opportunités de développement économique, en raison de la déficience en options de mobilité.

Pour répondre à ces enjeux, un système de transport doit être diversifié pour être efficace et équitable. Un système ne faisant place qu'à l'auto, comme c'est souvent le cas en dehors des grandes villes, ne peut pas être équitable puisqu'une partie significative de la population ne peut pas conduire. En prenant en compte les personnes âgées, les gens avec un handicap, les jeunes, les ménages sans véhicule et les gens qui partagent un véhicule, ce sont 20 à 40% des voyageurs qui ne peuvent pas se déplacer en voiture ou qui préféreraient ne pas le faire, lorsqu'on prend en compte les touristes, les ménages à faible revenu, les gens en état d'ébriété et ceux qui veulent tout simplement marcher ou pédaler pour leur santé et leur plaisir (Litman, 2025).

Plusieurs pratiques de multimodalité implémentées dans les villes pourraient être appliquées aux zones rurales, qui ont des besoins qui ne sont pas remplis en termes de transport. En effet, dans une communauté rurale typique, 20% des ménages ont plus de conducteurs que de véhicules (Litman, 2025). La dispersion des services fait aussi en sorte que les résidents ruraux se déplacent plus que les citadins, et cette différence est plus marquée pour les travailleurs à faible revenu. Ainsi, les ménages ruraux dépensent beaucoup plus en transport que les ménages urbains en raison des revenus plus faibles et des distances parcourues plus grandes. Par exemple, les ménages ruraux dépensent 38% plus de leur budget sur l'essence par rapport à la proportion du budget consacrée à cette même ressource par les ménages urbains. Ce n'est donc pas étonnant qu'en 2009, les deux enjeux les plus importants en transport aux États-Unis étaient les coûts du transport et la disponibilité du transport en commun.

La santé et la sécurité des voyageurs est aussi un problème dans le transport rural. Les zones rurales accueillent 19% de la population américaine, mais 54% des décès sur la route ont lieu en zone rurale. Le taux d'obésité est aussi beaucoup plus grand dans les zones rurales. Un système de transport en commun pourrait aider à combattre l'obésité dans les communautés en encourageant une mobilité active et durable.

L'implantation d'un système de transport en commun peut aussi aider les économies rurales. Les services de transport en commun en zone rurale coûtent environ 20 à 40\$ par année par personne et offrent des bénéfices qui en font un retour positif sur l'investissement nécessaire lorsqu'ils réduisent les déplacements en automobile ou augmentent les revenus de l'économie locale. Ces bénéfices affectent plusieurs parties prenantes des communautés rurales et ce, pour des investissements bien moindres que pour le transport en commun rural ou pour tous les coûts

engendrés par la culture automobile, tels que la possession d'un véhicule, le maintien des infrastructures routières et le stationnement.

Cependant, pour attirer des déplacements, un service de transport en commun interrégional doit avoir au moins une dizaine de départs par jour, être moins dispendieux que la voiture et avoir des stations attrayantes avec des salles de bain. On peut évaluer la couverture du transport en commun rural par l'aire de service, la population et les emplois desservis, les fréquences, les restrictions aux usagers et les types de demande (Litman, 2025).

2.5 GTFS

Les flux GTFS sont la représentation informatique des services de transport en commun. Ceux-ci permettent de visualiser les arrêts, les horaires et les lignes d'un opérateur de transport, entre autres. La structure du format GTFS est développée dans la section 3.1.1.

Bien qu'il existe un site de référence pour le format GTFS très complet et bien conçu (MobilityData, 2025a), le processus de création et d'utilisation subséquente d'un flux GTFS est plutôt confiné à la documentation du domaine du développement logiciel et n'est donc pas abondamment décrit dans la littérature scientifique. Seule Barbier (2016) a fait un travail impliquant la codification de l'offre de service à l'aide de fichiers GTFS. Dans le cadre de sa recherche, il lui a fallu rédiger les flux GTFS de Breton, Galland, Intercar, Orléans Express, Maheux et Limocar.

La nécessité de créer les flux GTFS pour ces six compagnies de transport interurbain vient du fait que la seule source de données sur les trajets interrégionaux ait disparu. Il s'agissait d'espacebus.com, un site Web disponible d'octobre 2009 à septembre 2014. Cette ressource compilait « les horaires, voyages, terminus et forfaits des membres de l'APAQ [et permettait] de faire des calculs de trajet pour des destinations interurbaines » (Barbier, 2016). Malgré une aide financière du ministère des Transports, ce site n'a pas survécu à la fusion entre l'APAQ et l'ATEQ pour former la FTA.

Le principal problème rencontré par espacebus.com était le format utilisé pour représenter les données, malgré l'existence préalable du format GTFS. Il était très difficile de maintenir les informations à jour. De plus, lors de la fusion, les données n'ont pas été conservées, alors qu'elles auraient pu former un bon ensemble de données historiques pour l'analyse du transport interurbain

au Québec. Seules quelques listes de terminus et grilles tarifaires ont pu être enregistrées, en plus de l'horaire d'une seule compagnie.

Dans le cadre de ce projet, les compagnies de transport par autocar ont collaboré en envoyant leurs données. Celles-ci ont été transmises en format PDF, Excel ou Word, en plus de données tirées directement des sites Web des compagnies. Comme il en sera question dans la section 3.1.1, le processus d'extraction, de conversion et d'harmonisation de ces données est fort compliqué et chronophage.

Il est difficile d'automatiser ce processus, bien qu'une tentative ait été menée, telle que décrite en section 3.1.1.6. Barbier (2016) soulève les différentes conventions utilisées pour représenter les arrêts ayant des heures d'arrivée et de départ différentes, les services sur demande n'ayant pas d'heure précise, les différents formats d'affichage des heures ainsi que l'adaptabilité informelle des horaires comme les trois principaux obstacles à la transformation des horaires fournis par les opérateurs en fichiers compatibles avec le format GTFS. En effet, certains opérateurs s'adaptent aux besoins des passagers en desservant des municipalités à la demande, qu'elle soit faite dans le véhicule ou auparavant par téléphone.

Concernant les arrêts, le processus décrit par Barbier (2016) utilise un géocodeur pour localiser les arrêts ayant été transmis sous forme de nom de la municipalité desservie ou par adresse. Son hypothèse est que les arrêts sont exactement les mêmes dans les deux directions, hypothèse retenue dans le cadre de ce projet. Alors que cela est vrai dans le cas où les arrêts sont faits dans un commerce ou dans un terminus, ce n'est pas le cas pour les arrêts en bord de route. Toutefois, la différence est minime et n'influence pas significativement les résultats dans le cadre de trajets interurbains.

On peut noter que parmi les flux GTFS disponibles en source ouverte à l'époque, ceux des réseaux locaux ont été intégrés à exo. Certains ont été rédigés par la suite, notamment celui de la Société des transports de Lévis.

Barbier (2016) utilise une méthodologie très structurée avec des conventions pour nommer les informations incluses dans ses flux GTFS. L'outil *FeedValidator* est utilisé aussi, tel que décrit en section 3.1.1.4. Plusieurs exemples d'avertissements soulevés par l'outil sont donnés en exemple. Ceux-ci peuvent être reliés au format des fichiers, par exemple des erreurs de syntaxe ou des informations manquantes, à la codification des données, comme des identifiants dédoublés ou

des arrêts inutilisés, ainsi qu'aux valeurs inscrites, tels que des vitesses d'opération irréalistes ou des arrêts inversés.

2.6 Problèmes de positionnement des stations

Le problème de positionnement des stations peut être interprété comme un problème de localisation des nœuds. Les problèmes de localisation des nœuds sont une extension des problèmes de localisation des infrastructures. Ces problèmes visent à réduire les coûts unitaires en partageant les coûts fixes avec plus de passagers. Ces économies d'échelle permettent d'optimiser les flux de passagers entre leurs origines et destinations (Alumur et al., 2021; O'Kelly et al., 2025).

Les problèmes de localisation des nœuds sont utilisés dans plusieurs domaines en plus des transports, comme les télécommunications (Alumur et al., 2021; Campbell & O'Kelly, 2012; O'Kelly et al., 2025). La littérature concernant ces problèmes peut être regroupée en plusieurs groupes. Ceux-ci sont la formulation, les solutions et les avancées, les solutions exactes pour l'optimalité, les approches heuristiques efficaces, les problèmes de conception de réseau de nœuds principaux et leurs avancées, ainsi que les problèmes de compétition dans la localisation des nœuds principaux (Sharma et al., 2025).

Les avantages des systèmes à nœuds sont de minimiser les coûts d'opération en permettant des économies d'échelle par la consolidation des origines et destinations éparpillées en trajets entre certains nœuds ainsi que d'offrir un meilleur service en augmentant la fréquence grâce à la consolidation de la demande (Alumur et al., 2021).

2.6.1 Types de problèmes

Les problèmes de conception de réseau peuvent être considérés comme des problèmes de localisation de nœuds lorsqu'ils impliquent de choisir l'emplacement des stations composant le réseau (Campbell et al., 2012). Les différents problèmes de localisation des nœuds principaux peuvent d'abord se distinguer par leur configuration, mais aussi par leurs contraintes, leurs objectifs, leur contexte ou leur type de demande (Alumur et al., 2021; O'Kelly et al., 2025). Le contexte encadre le domaine d'application du problème, par exemple si le réseau comprend de la compétition ou non ainsi que s'il est conçu par une industrie publique ou privée. Pour la demande, il s'agit de valider certains paramètres. La demande peut ainsi être déterministe ou stochastique, divisible ou non, ainsi que statique ou dynamique dans le temps. Les contraintes peuvent être

posées sur les capacités des nœuds et des liens, les performances du réseau, sa topologie et le budget d'opération de l'entité concevant le réseau. Finalement, les objectifs peuvent être uniques ou multiples par problème, c'est-à-dire qu'on peut tenter d'optimiser plusieurs critères tels que les coûts de construction, l'achalandage ou les temps de parcours dans la conception du réseau. Ils peuvent concerner les coûts, la couverture du service, la fiabilité ou l'équité de la solution produite (Alumur et al., 2021).

Les modèles traditionnels utilisent des réseaux où tous les nœuds principaux sont reliés entre eux, mais de nouvelles méthodes étudient les réseaux incomplets, permettant de réduire les coûts et la complexité en rendant les solutions plus flexibles (O'Kelly et al., 2025). Les différentes possibilités de type de réseau sont illustrées dans la Figure 2.1 (Sharma et al., 2025). Les configurations A, C, E et G représentent des réseaux dont les nœuds principaux sont complètement connectés, alors que les configurations B, D, F et H ont des nœuds principaux partiellement connectés. Les configurations A et B illustrent des réseaux à allocation simple, c'est-à-dire où les nœuds secondaires sont reliés à un seul nœud principal. Les configurations C et D ajoutent des liens entre les nœuds secondaires. Les configurations E à H reprennent les propriétés des configurations A à D, excepté qu'elles sont à allocation multiple, donc chaque nœud secondaire peut être connecté à plus d'un nœud principal (Sharma et al., 2025). Le type de problème à résoudre influence la configuration à adopter (Campbell et al., 2012), mais les passagers dans un système de transport sont généralement modélisés par de l'assignation multiple (O'Kelly et al., 2025), puisqu'ils peuvent choisir parmi plusieurs arrêts, gares ou même aéroports.

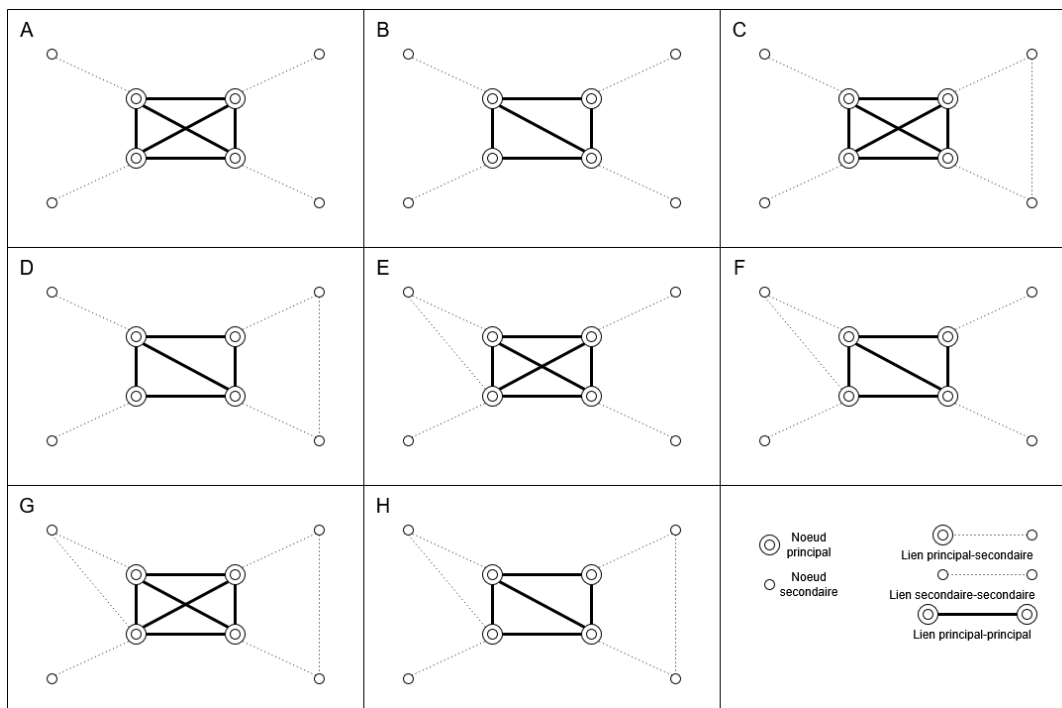


Figure 2.1 : Configurations possibles des réseaux (Sharma et al., 2025)

Le problème le plus classique en localisation des nœuds est le problème médian des p -nœuds. Celui-ci assume un nombre fixe p de nœuds pour minimiser les coûts en optimisant le routage, tandis que le problème de localisation des nœuds à coûts fixes permet d'obtenir à la fois le nombre et l'emplacement des nœuds (O'Kelly et al., 2025). Le problème médian des p -nœuds à allocation simple est NP-difficile, donc insolvable en temps polynomial. On doit donc se rabattre sur des heuristiques pour arriver à une solution convenable. Le problème de couverture d'ensemble de nœud principal minimise le nombre de nœuds principaux pour que la distance ou les coûts entre les origines et les destinations soit sous un seuil prédéterminé. Le problème de couverture maximale des nœuds principaux vise à maximiser la demande couverte par un ensemble de nœuds principaux (Mahmutogullari & Kara, 2016).

2.6.2 Algorithmes de solution

Les techniques de résolution des problèmes de localisation actuelles sont divisibles en deux catégories, soit exactes et heuristiques. Dans le domaine des solutions exactes, la programmation linéaire par nombres entiers est limitée aux réseaux de petite et moyenne taille en raison de sa complexité de calcul, malgré sa haute précision. La décomposition de Benders est utilisée pour les

problèmes de localisation de nœuds à allocation multiple sans capacité et autres problèmes à large échelle qui peuvent être divisés en plus petites parties. L'algorithme Branch-and-Bound garantit une solution optimale sur des problèmes classiques de p-nœuds mais est plus lent sur des problèmes de grande taille, alors que Branch-and-Cut vient améliorer ce premier en ajoutant des contraintes. Il reste toutefois assez lent au niveau des calculs. Finalement, la relaxation lagrangienne est une méthode appliquée dans les problèmes de nœuds avec capacité et en réduit la complexité, quoique ses solutions ont des bornes inférieures (O'Kelly et al., 2025).

En ce qui concerne les solutions heuristiques, les algorithmes génétiques sont plus adaptés aux problèmes impliquant de grands réseaux qui ne nécessitent pas de solutions exactes. La recherche de Tabu et la recherche de voisinage variable sont toutes deux utilisées dans l'optimisation des réseaux de lignes aériennes. La première a besoin de paramétrage pour être efficace, mais elle évite les optimums locaux, tandis que la dernière est adaptée aux problèmes plus grands, mais ne garantit pas l'optimalité. Finalement, l'algorithme GRASP est plutôt utilisé en logistique de chaîne d'approvisionnement, mais a une convergence rapide. Il faut toutefois s'assurer de contrôler le hasard pour garantir la qualité de la solution (O'Kelly et al., 2025).

Pour avoir une solution exacte, on ne peut pas automatiquement assigner les nœuds secondaires au nœud principal le plus proche, car l'assignation dépend des flux entre les nœuds principaux. Par exemple, il peut être préférable d'accéder à un nœud principal plus éloigné si celui-ci a un temps de parcours moins long vers le nœud principal assigné à la destination. Cette méthode peut toutefois être une bonne heuristique dans certains cas (Alumur et al., 2021). Aussi, il faut prendre en compte la compétition. Intégrer un aspect compétitif dans un problème de localisation peut faire varier la solution optimale par rapport au problème sans compétition (Campbell et al., 2012).

Ensuite, la principale distinction entre les modèles à solutions exactes et les modèles utilisant des heuristiques sont que ces premiers ne représentent pas adéquatement la réalité, alors que ces derniers sont difficiles à résoudre et ne peuvent pas prendre en compte les fréquences de service pour les correspondances malgré leur complexité accrue. La qualité des solutions aux problèmes de localisation des nœuds dépend de la qualité de la modélisation des coûts (Alumur et al., 2021). Les solutions idéales considèrent plusieurs facteurs autres que seule l'efficacité opérationnelle et demandent donc l'avis d'experts en économie, en urbanisme, en sociologie et en

environnement. Par exemple, le positionnement de nœuds de TGV doit prendre en compte les impacts socio-économiques sur leur région en plus de la géographie de leur environnement (O’Kelly et al., 2025). La mission de la recherche en localisation des nœuds est donc d’obtenir des perspectives et des réflexions dans le but d’arriver à une solution applicable au monde réel, et non pas des chiffres indiscutables (Campbell et al., 2012).

Finalement, de nouvelles approches intégrant l’intelligence artificielle font leur apparition, notamment à l’aide de programmation dynamique, d’approches basés sur des gradients de connaissance ou de problèmes du bandit. Ces approches d’intelligence artificielle par apprentissage par renforcement ont permis de développer des modèles pouvant développer des réseaux routiers ou gérer une flotte de véhicules de livraison. (Yoon & Chow, 2024).

2.6.3 Applications aux transports

Comme mentionné plus haut, la planification des transports est l’un des principaux domaines d’application des problèmes de localisation des nœuds. Ceux-ci sont plus souvent utilisés par l’industrie de l’aviation, mais peuvent tout de même être utilisés dans le contexte du transport en commun. Par exemple, dans le contexte de planification d’un réseau de transport urbain, le choix de l’emplacement des stations est la première étape vers l’exploitation d’un nouveau réseau. Les problèmes appliqués au transport en commun peuvent être divisés selon leur but, soit la construction d’un nouveau réseau ou l’expansion d’un réseau existant (Ma et al., 2025). Ainsi, dans un réseau de transport urbain, les lignes de bus sont en général considérées comme les liens entre les nœuds secondaires alors que les lignes de transport par rail sont considérées comme les liens entre les nœuds principaux (Gelareh & Nickel, 2011).

Certains problèmes ne sont pas nécessairement conçus pour les transports, mais peuvent y être adaptés. Par exemple, le problème de choix d’emplacement des infrastructures avec compétitivité pour une nouvelle compagnie permet de choisir où s’installer lorsque des compagnies offrant les mêmes produits existent déjà. Ce problème peut se traduire par un nouvel opérateur de transport en commun voulant offrir un service. On peut assigner les clients à l’infrastructure la plus proche, mais il y a aussi une possibilité de prendre en compte l’attractivité des infrastructures, par exemple via leur taille, leur commodité ou leur accessibilité. Au niveau des transports, cela peut se traduire par le choix d’une station plus éloignée, mais permettant d’éviter une correspondance (Lančinskas et al., 2025).

2.6.3.1 Consolidation des arrêts

Le bus est souvent considéré lent car il fait beaucoup d'arrêts. En effet, jusqu'à 30% du temps d'opération est perdu aux arrêts (Mekuria et al., 2012). La consolidation des arrêts peut réduire les pertes liées à l'accélération et à la fermeture des portes. Changer l'emplacement des arrêts a trois impacts qui s'équilibrent : le temps d'accès à pied, le temps de parcours et le coût d'opération. En négligeant les changements relatifs à la demande par l'hypothèse que les effets sont assez petits pour ne pas affecter la décision optimale et que la distance entre les arrêts reste en-dessous d'un seuil d'accessibilité, il est possible de développer des modèles de consolidation des arrêts. Ces modèles ne servent pas à déterminer l'emplacement exact des arrêts, mais plutôt les intersections où installer les arrêts. Le choix précis de la localisation au sein de l'intersection même relève des analystes en fonction des conditions locales. Un arrêt peut être éliminé si la demande est assez basse et que la distance entre les deux nouveaux arrêts consécutifs est sous un certain seuil déterminé par le modèle (Mekuria et al., 2012).

Pallarès (2025) propose un modèle permettant plutôt de coupler la conception du réseau urbain au design d'un réseau péri-urbain et interurbain complété par la construction de stationnements incitatifs. Le résultat de la méthodologie proposée implique plusieurs lignes comptant de tels stationnements en périphérie des zones urbaines avec des fréquences élevées pour rabattre les passagers vers le réseau urbain. Leur modèle amène une réduction d'environ 7% de la demande de déplacements en voiture.

2.6.3.2 Évolution temporelle

Les paramètres des problèmes de localisation de nœuds principaux tels que la demande, les coûts de transport et les coûts fixes des nœuds peuvent évoluer avec le temps. Si on peut prédire leur évolution, il faut non seulement trouver l'emplacement des nœuds principaux, mais aussi l'évolution de leur position dans le temps ou bien à quel moment ajouter ou retirer certains nœuds principaux (Khaleghi & Eydi, 2022).

Dans le domaine du transport en commun, cela est plus compliqué à appliquer en fonction de l'envergure de l'infrastructure. En effet, s'il est assez facile pour une compagnie de bus interrégional de changer l'endroit exact de ses arrêts, surtout lorsqu'ils ne sont signalés que par un panneau, cela est bien compliqué, voire impossible financièrement ou politiquement de fermer ou

relocaliser une station multimodale, par exemple. Toutefois, le modèle multi-périodique peut être appliqué à un système de transport en commun qui a une configuration initiale afin de valider que celui-ci ne devienne pas obsolète. Il faut prendre en compte que les modèles multi-périodiques peuvent être plus lourds.

Des modèles multi-périodiques ont été trouvés pour résoudre plusieurs variantes du problème de localisation des nœuds dans le contexte du transport en commun (Gelareh et al., 2011). Ces modèles ont été testés sur 22 types de problèmes multi-périodiques, mais ont eu comme paramètres au plus 21 nœuds principaux, 259 nœuds secondaires et 20 périodes (Khaleghi et al., 2022). Ces modèles peuvent constituer des solutions exactes ou heuristiques, tout comme pour des problèmes où la configuration du réseau ne change pas dans le temps (Gelareh et al., 2011). Toutefois, ces modèles sont moins discutés dans la littérature et font partie des avenues possibles de recherche future (Alumur et al., 2021).

Il faudrait aussi ajouter l'incertitude aux modèles, surtout en ce qui concerne la variabilité de la demande et des coûts. Effectivement, cela s'applique particulièrement au contexte québécois, puisque le nombre de déplacements de longue distance varie énormément selon la période de l'année (Ali Zadeh, 2022). Cela peut se faire avec des aspects temporels prenant en compte les périodes de pics de demande, les variations saisonnières et le niveau d'achalandage sur le réseau étudié (O'Kelly et al., 2025).

2.6.4 Future recherche

Alumur (2021) suggère plusieurs perspectives de recherche, notamment une meilleure modélisation des économies d'échelle, l'inclusion de la temporalité dans les modèles, autant pour l'évolution dans le temps des localisations que pour prendre en compte la synchronisation des véhicules, la sophistication des modèles à objectifs et critères multiples, plus d'intégration entre les modèles et les problèmes réels, l'intégration aux autres types de problèmes, comme les problèmes du plus court chemin, l'incorporation de plusieurs autres caractéristiques de la demande, notamment le type de réseau, le type de véhicules y circulant ou la variabilité de la demande, l'utilisation de données réelles et actuelles plutôt que de vieilles bases de données, l'obtention d'informations aidant à la compréhension de la solution au problème plutôt que des mesures à partir des résultats ainsi que l'utilisation d'heuristiques et le développement de nouveaux modèles approximatifs.

O’Kelly (2025) propose dix domaines potentiels de recherche DISRUPTIVE, soit *Datasets*, *Insights*, *Sustainability*, *Robustness*, *Uncertainty*, *Parallelization*, *Temporal aspects*, *Interdisciplinary aspects*, *Versatile hubs* et *Emerging modes* [Données, Perspectives, Durabilité, Robustesse, Incertitude, Parallélisation, Temporalité, Interdisciplinarité, Versatilité et Modes émergents]. L’interdisciplinarité est particulièrement considérée cruciale. La recherche effectuée est souvent regroupée en silos selon la discipline ou le domaine d’application, ce qui rend difficile le croisement des perspectives et des avancées. En effet, les « revues de littérature actuelles sur les problèmes de localisation des nœuds souffrent souvent de fragmentation et de portée limitée. Elles sont fréquemment publiées au sein de diverses publications, rendant difficile l’obtention d’une vue d’ensemble complète » [traduction libre] (O’Kelly et al., 2025).

Comme les modèles de localisation des nœuds sont surtout utilisés pour l’industrie de l’aviation, la durabilité de ceux-ci est un enjeu important qui apporte des contraintes additionnelles aux modèles. L’industrie désire minimiser ses émissions de GES, réduire sa consommation d’énergie et promouvoir les ressources renouvelables, mais tout cela peut être fait en appliquant les modèles développés par cette industrie au transport en commun. Ajouter de la robustesse aux solutions trouvées implique d’avoir de la redondance dans le réseau afin d’avoir un système de transport résilient et adaptable. Il faudrait aussi ajouter l’incertitude aux modèles, surtout en ce qui concerne la variabilité de la demande et des coûts (O’Kelly et al., 2025).

2.7 Accessibilité

Concevoir un réseau de transport en commun implique évidemment de choisir l’emplacement des stations et comment elles sont reliées entre elles, mais les potentiels passagers doivent évidemment pouvoir atteindre les stations les plus proches de leurs lieux de départ et d’arrivée pour utiliser un tel système, peu importe le but de leurs déplacements. En effet, les passagers sont plus susceptibles de prendre un système de transport de commun lorsque celui-ci est à une distance raisonnable de marche (Du et al., 2022). Il est donc essentiel de prendre en compte l’accessibilité au système de transport, soit le fameux problème des premier et dernier kilomètres.

L’accès piéton est essentiel dans l’utilisation des transports en commun, puisque la très grande majorité des trajets vers une station de transport en commun se font à pied. La marche est le mode de transport le plus courant pour accéder au transport en commun à moins d’un kilomètre

d'une station (Zaheer Khan et al., 2025). En effet, en Floride, près de 80% des déplacements faits en transport en commun impliquaient de marcher de l'origine à un arrêt de transport en commun, et plus de 75% impliquaient de marcher d'un arrêt à la destination (Zhao et al., 2003). Aussi, 40% des gens sont prêts à marcher 300 mètres régulièrement pour accéder à une station de transport en commun, mais seulement 10% vont marcher 800 mètres (Gutiérrez et al., 2011). Pourtant, les trajets à pied vers un système de transport en commun sont souvent plus compliqués en raison des murs ou des culs-de-sac, particulièrement en dehors des quartiers centraux. Ces obstacles peuvent certes isoler un quartier du bruit de la ville ou rassurer les habitants sur la sécurité de leurs alentours, mais cette approche d'urbanisme réduit l'utilisation du transport en commun et cause plus de congestion routière (Zhao et al., 2003). De plus, des quartiers ainsi conçus faussent les calculs d'accessibilité basés sur les distances à vol d'oiseau, car les distances réseau sont beaucoup plus grandes qu'avec un système de rues en forme de grille. De plus, même lorsque les quartiers ne sont pas nécessairement conçus pour la voiture, l'utilisation de distances à vol d'oiseau plutôt que de distances réseau peut surestimer l'accessibilité aux stations par plus de 50% (Zaheer Khan et al., 2025). En plus des obstacles physiques, plusieurs freins à l'utilisation du transport en commun se retrouvent sur le chemin pour accéder aux stations, comme de la circulation à haute vitesse à proximité, des passages piétonniers inadéquats ainsi que des trottoirs trop étroits, mal entretenus ou obstrués (Braun et al., 2022).

Malgré ces multiples obstacles physiques, la principale barrière à l'accès piéton aux stations de transport en commun américaines est le manque de financement par le gouvernement fédéral pour des projets d'infrastructures favorisant l'accessibilité piétonne aux stations de transport en commun, manque qui doit alors être comblé par les opérateurs et les gouvernements locaux. Cependant, les opérateurs n'ont souvent pas les pouvoirs ou l'argent nécessaires pour réaliser de tels projets pour les piétons sur des terrains qui souvent ne leur appartient pas. C'est surtout le cas en banlieue en raison de la priorité longtemps ou encore accordée à la voiture. Un sondage parmi les 152 agences de transport de la banlieue de Chicago a désigné comme obstacles les plus fréquents à l'implémentation de mesures pour améliorer l'accès piétonnier aux stations de transport en commun le manque de financement pour le transport en commun, les priorités d'investissement qui se compétitionnent entre elles, des problèmes de coordination entre les différentes juridictions et les paliers de gouvernement, le développement de quartiers et villes conçus pour la voiture, les problèmes issus de l'obligation de conformité aux règlements et normes ainsi que le manque de

main-d'œuvre pour l'opération et l'entretien des systèmes de transport en commun. Toujours selon le même sondage, les répondants ont insisté sur le manque de financement comme principal obstacle aux améliorations pour les piétons et leur accès au transport en commun (Braun et al., 2022).

En plus de manquer de fonds pour améliorer l'infrastructure piétonne, les opérateurs de transport en commun des banlieues de Chicago n'ont pas de pouvoirs sur l'utilisation du sol dans le voisinage des stations. La plupart des plans d'amélioration des infrastructures piétonnes se concentrent seulement sur les zones directement autour des stations, mais pas sur l'accès au reste de la communauté. Selon différents acteurs au sein de ces opérateurs, les plans d'amélioration jugés les plus efficaces étaient aussi les moins utilisés. Cette dichotomie entre les mesures que les acteurs du milieu souhaitent entreprendre et celles qu'ils peuvent réellement faire illustre une déconnexion. (Braun et al., 2022).

Aussi, l'accès piéton au transport en commun est important d'un point de vue d'équité sociale, puisque les ménages à faible revenu ont moins de chances de posséder une voiture pour se déplacer et accéder au transport en commun. C'est le cas pour les passagers avec un handicap aussi, ce qui leur évite d'utiliser le transport adapté avec réservation. De plus, le transport adapté est plus cher pour les opérateurs (Braun et al., 2022). L'accès piétonnier au transport en commun a donc des bénéfices pour toute la société, puisqu'il permet à des populations défavorisées d'avoir accès à plus d'opportunités économiques et sociales, tout en coûtant moins cher à la société que ses alternatives, qu'il s'agisse de transport privé par voiture ou de transport adapté à la demande.

Finalement, il est important de mentionner que la plupart des études se concentrent sur l'accessibilité aux stations du système de transport en commun plutôt qu'aux destinations des passagers, alors que le but d'un système de transport est de se rendre aux destinations, et non pas de voyager en soi (Du et al., 2022). C'est une nuance qui est peu explorée dans la littérature, mais qui gagnerait à être explorée afin de mesurer l'accessibilité des déplacements des utilisateurs plutôt que celle d'un réseau. De plus, les études mentionnées dans cette section ont étudié des systèmes de transport en commun dans divers pays, mais ces systèmes étaient seulement des systèmes urbains ou périurbains situés dans de grandes villes ou des banlieues de grandes villes.

2.8 Modèle nœud-place

Avec les développements en transport, les activités sociales et économiques ont tendance à se déplacer vers les extrémités des zones urbaines. C'est d'autant plus vrai pour la production et l'administration, bien que les activités culturelles, les services et la finance aient tendance à rester dans les zones centrales. Les systèmes de transport en commun visent à lier ces différentes attractions à la population. C'est pour réaliser ce potentiel d'activités de façon plus efficace pour l'environnement et l'utilisation du sol que Bertolini (1999) a développé le modèle nœud-place. Celui-ci tente de mesurer l'accessibilité par le nombre de destinations possibles, mais aussi par leur variété ainsi que le nombre et la variété de personnes qui ont accès à ces destinations.

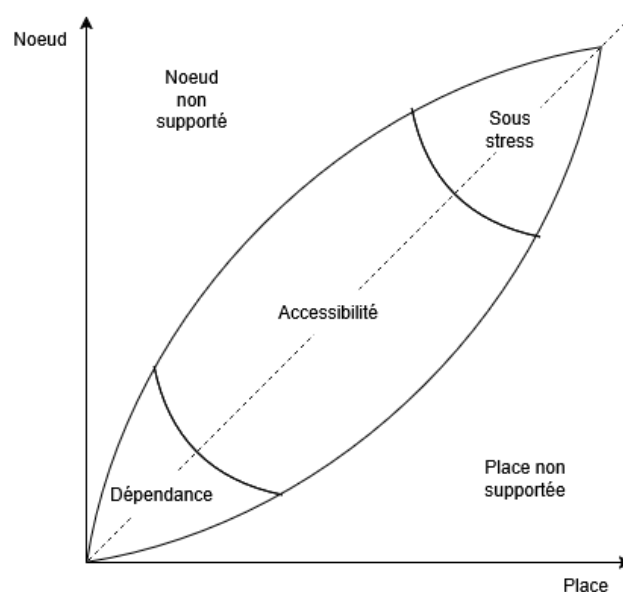


Figure 2.2 : Diagramme du modèle nœud-place (Bertolini, 1999)

Ce modèle peut être représenté par la Figure 2.2, où l'axe des y représente la valeur nœud, ou le potentiel d'interaction, donc l'achalandage possible, et l'axe des x la valeur place, soit l'intensité des interactions et la réalisation du potentiel d'interaction. On peut voir sur le diagramme les deux zones idéales, soit sous stress et dépendance, ainsi que deux zones d'iniquité. La zone de stress est celle de la plupart des centres-villes. Les interactions y sont à leur maximum et le service en transport en commun est fréquent. Cependant, cela peut mener à un surplus d'achalandage ou

un manque d'espace. À l'inverse, la zone de dépendance est celle où la demande en transport des habitants est aussi basse que la demande en activités et opportunités des voyageurs. Pour les iniquités, la zone de nœud non supporté représente les endroits où l'offre de transport est bien supérieure à l'offre d'activités, alors que c'est l'inverse pour la zone de place non supportée (Bertolini, 1999). L'accessibilité est à la fois reliée à la valeur de nœud, soit combien de destinations sont atteignables en combien de temps, et à la valeur de place, soit comment se rendre à la station (Gutiérrez et al., 2011).

Différents indicateurs peuvent être utilisés afin de calculer cette accessibilité. Pour la valeur de nœud, le nombre de stations à moins de 45 minutes en transport en commun, la fréquence du service, le nombre de destinations atteignables, la proximité au centre-ville et l'index de congestion ont déjà été utilisés comme indicateurs, alors que pour la valeur de place, les premières itérations ont inclus l'utilisation du sol autour de la station, le nombre de résidents et de travailleurs ainsi que la mixité du zonage. Des études subséquentes ont proposé l'ajout de la densité de population, du nombre d'appartements, du prix des terrains et du taux de chômage (Cao et al., 2020).

Le modèle suppose aussi que sur le long terme, l'offre et la demande vont naturellement déplacer toute station vers la ligne diagonale d'accessibilité. Cela correspond à l'objectif pour chaque station, soit d'équilibrer circulation et connexion pour la population locale (Wu et al., 2023). Bertolini (1999) a déjà remarqué lors de l'étude initiale accompagnant le développement du modèle que les stations dédiées au transport en commun interrégional sont généralement équilibrées dans le cas des Pays-Bas.

Parmi les études suivant la publication du modèle, Cao (2020) a trouvé que les deux valeurs ont un effet sur l'achalandage d'une station, mais que la valeur de nœud est six fois plus influente. Au contraire, Du (2022) affirme que l'accessibilité aux destinations autour d'une station, soit la valeur de place, contribue plus à l'achalandage que l'accessibilité au reste du réseau, soit la valeur de nœud. Wu (2023) a soustrait l'accessibilité à pied de l'accessibilité en transport en commun afin de mesurer la plus-value du réseau de transport en commun. Ses résultats indiquent que les stations avec une haute valeur de place sont souvent dans des endroits denses et connectés au réseau piétonnier, comme le centre-ville, alors que les stations avec une haute valeur de nœud sont des stations de correspondance qui ne sont pas nécessairement accessibles localement. Les stations

avec des activités locales peuvent augmenter la valeur de nœud des stations. L'auteur utilise ensuite le modèle nœud-place pour expliquer l'achalandage aux stations.

Les critiques du modèle de nœud-place incluent le fait qu'il est nécessaire de prendre en compte l'achalandage aux stations pour remettre chaque station dans son contexte. De plus, certaines études utilisant ce modèle ne prennent pas en compte la présence d'infrastructures pour les piétons, de stationnement ou de service de bus rabattu sur les stations étudiées (Cao et al., 2020).

Le modèle nœud-place peut être utile dans la planification de nouveaux quartiers. La construction de quartiers TOD prend de la place dans les villes et ce modèle permet de choisir où établir des quartiers de ce genre. Il est plus facile et moins coûteux d'améliorer une station avec de bas scores de nœud et de place lors de la construction ou la prolongation d'un système de transport en commun que d'équilibrer les autres types de stations ou que de viser de hauts scores avec de nouvelles stations (Yang & Song, 2021). Il faut toutefois être vigilant lors de la planification afin que les projets de TOD assurent l'accès aux destinations et pas seulement la proximité au transport en commun, ce qui éloignerait la station de l'équilibre d'accessibilité décrit par ce modèle (Wu et al., 2023).

2.9 Synthèse

La littérature est donc assez active dans plusieurs domaines liés au sujet de cette recherche. Les enquêtes Origine-Destination et les différentes façons de les construire, les distribuer et les analyser sont fréquemment étudiées. Les différences entre les contextes urbains et ruraux sont aussi étudiées, même si une plus grande attention est accordée aux systèmes de transport en commun urbains. Deux propriétés des systèmes de transport en commun sont aussi l'objet de plusieurs travaux de part et d'autre, soit l'achalandage et l'accessibilité à ces systèmes. De plus, le lien entre l'accessibilité et l'achalandage est lui aussi étudié. Pour tenter d'expliquer ces deux caractéristiques, Bertolini (1999) a développé le modèle nœud-place. Depuis sa publication, celui-ci est régulièrement appliqué dans différentes villes afin d'expliquer l'achalandage du transport en commun. Ensuite, plutôt dans le domaine des mathématiques, la littérature recense plusieurs études sur les problèmes d'emplacement des infrastructures. Ceux-ci peuvent toutefois être contextualisés pour être plus adaptés à la conception des réseaux de transport en commun.

Toutefois, plusieurs lacunes subsistent dans la littérature scientifique. Les déplacements de longue distance sont en effet étudiés, mais principalement afin de statuer sur ce qui constitue un déplacement de longue distance ou non. La définition même du concept de longue distance n'est pas uniforme d'un pays et d'une enquête à l'autre. De plus, les déplacements de longue distance sont plutôt étudiés par rapport à leur fréquence ou aux modes utilisés plutôt que par rapport à leur achalandage ou à la conception de leurs réseaux, alors que l'achalandage est surtout étudié dans des contextes urbains. Donc, le problème de positionnement des stations de transport en commun interrégional n'est pas couramment étudié. La recherche sur les problèmes d'emplacement des infrastructures se fait surtout au niveau théorique et mathématique en cherchant à optimiser des algorithmes de solution de problèmes ou en créant de nouvelles catégories de problèmes par l'ajout de contraintes. Toutefois, les applications au domaine des transports restent rares et les études sont plutôt concentrées sur la consolidation des arrêts déjà existants ainsi que l'évolution des réseaux dans le temps à la suite de l'évolution de la demande. Ensuite, les systèmes de transport en commun au Québec ont été analysés dans les médias et dans des projets de recherche à Polytechnique Montréal (Ali Zadeh, 2022; Barbier, 2016; Guillemette, 2015; Zhang, 2017) et à McGill (Chan et al., 2013). L'étude de Chan portait sur un modèle d'achalandage du métro de Montréal et n'avait donc pas de composante sur le transport interrégional. Les études faites dans les dernières années à Polytechnique Montréal ont quant à elles étudié ce type de transport, mais analysaient plutôt l'offre de transport en commun ainsi que les corridors de demande.

Cette étude vient donc tenter de combler un certain vide dans la littérature scientifique concernant d'abord les déplacements de longue distance, mais surtout les problèmes de localisation des stations de transport en commun interrégional, particulièrement dans le contexte québécois. Pour ce faire, une analyse de l'accès au transport en commun interrégional ainsi qu'une méthodologie de positionnement des stations de transport en commun interrégional seront présentées.

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE

Le contexte spécifique de ce projet est donc le Québec, de ses grandes villes à ses grands espaces. En ce moment, la province est dotée de quelques modes lourds de transport en commun, surtout à Montréal et sa région. Il s'agit du métro et du REM. Plusieurs autres villes ont des réseaux d'autobus assez développés, par exemple Québec, Sherbrooke, Longueuil et Trois-Rivières, mais aucune autre région métropolitaine que Montréal n'a accès à un mode lourd local. Au niveau interrégional, VIA Rail fournit un service entre quelques villes avec une fréquence variable. L'essentiel du transport en commun interrégional se fait par des compagnies d'autocars privées.

La Figure 3.1 illustre les principales étapes de la méthodologie ainsi que les données utilisées qui seront décrites au cours de cette section. À partir des données géographiques et démographiques du recensement, on obtient les centres de population des aires de diffusion. Les flux GTFS sont rassemblés à partir de différents sites, et ceux qui ne sont pas disponibles sont construits à partir des horaires trouvés sur les sites des opérateurs. Avec ces données, des calculs d'itinéraires sont faits sur Transition, l'outil ouvert développé par la Chaire Mobilité. Ceux entre les centres de population et les arrêts de transport en commun de longue distance les plus proches permettent de comparer l'accès au réseau interrégional en voiture et en transport en commun, alors que les calculs entre les centres de population posent la base de la méthode de positionnement des stations de transport en commun interrégional.

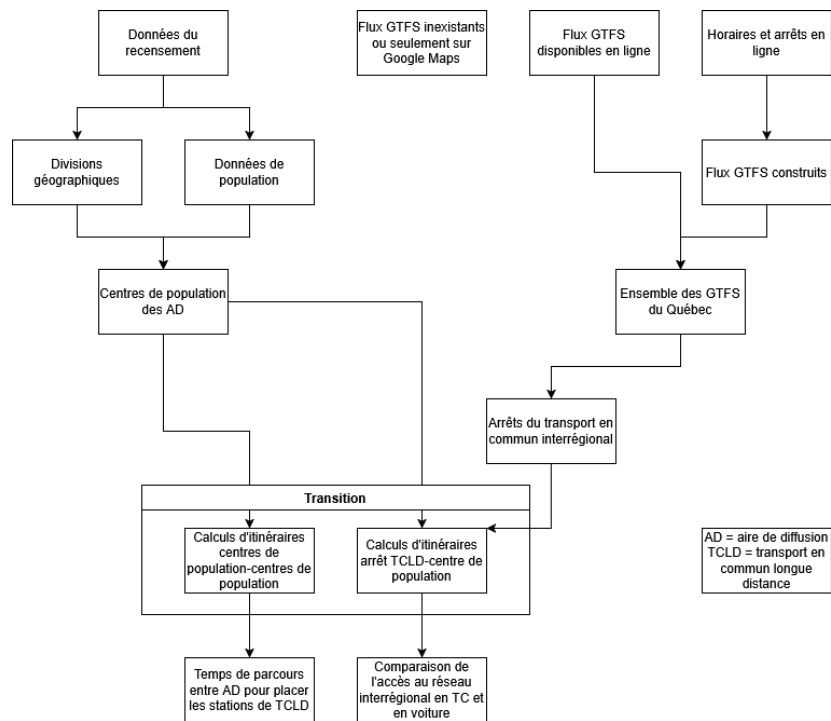


Figure 3.1 : Diagramme résumé de la méthodologie

La méthodologie qui suit sert à atteindre les objectifs précédemment énoncés à savoir de faire le diagnostic de l'offre de transport en commun interrégional au Québec, ainsi que de développer une méthodologie de choix de localisation des stations de transport en commun interrégional.

3.1 Données

Les données nécessaires à la méthodologie décrite au courant de ce chapitre sont tirées de sources libres, telles que les sites de compagnies de transport en commun ou interrégional ainsi que de Statistique Canada. Cette méthodologie peut être reproduite dans d'autres contextes, mais les données utilisées doivent être disponibles pour le pays ou la division administrative à l'étude.

Plusieurs types de données ont été nécessaires pour la réalisation de la méthodologie qui sera décrite plus bas. Celles-ci incluent les données ouvertes concernant les services de transport en commun de la province. Elles sont distribuées et peuvent être rédigées par l'intermédiaire du format GTFS. Les données géographiques du recensement, c'est-à-dire les divisions géographiques, ont aussi été utilisées. De plus, les données de population associées à certaines divisions du recensement ont été nécessaires.

3.1.1 Données GTFS

Les flux GTFS représentent un ensemble de données essentielles pour la représentation de l'offre de transport en commun au Québec. Afin d'obtenir une représentation le plus fidèle à la réalité possible, il est important de dresser une liste exhaustive des services de transport en commun au Québec, convertir les informations reliées en flux GTFS et s'assurer que ceux-ci ne contiennent pas de fausses informations. Cela fait, il est possible d'utiliser les GTFS pour faire des calculs de chemin servant à des analyses de compétitivité ou d'accessibilité, par exemple.

3.1.1.1 Le standard GTFS

Le *General Transit Feed Specification* (GTFS) est un standard ouvert de mobilité, c'est-à-dire un format de données à l'utilisation complètement gratuite et sans restriction, avec une documentation disponible publiquement, maintenu par une organisation indépendante et sans conflits d'intérêt, qui a des versions structurées et qui a une communauté de développement et d'utilisation ouverte ainsi qu'une structure de transparence ouverte et inclusive (Mobility Data Interoperability Principles, 2024). Ce standard permet aux sociétés de transport de publier les données reliées à leur réseau pour pouvoir ensuite les utiliser dans divers types de logiciels, notamment pour calculer des itinéraires et visualiser la carte d'un réseau. De plus, il permet la compatibilité entre ses différentes versions et entre les différents opérateurs de transport en utilisant des formats de fichiers courants (MobilityData, s. d.-f).

Ce standard est maintenant divisé en deux sous-parties, soit *Schedule* et *Realtime*. La première indique les caractéristiques planifiées et temporellement stables d'un réseau, tandis que la deuxième est un complément facultatif indiquant les passages en temps réel, la position des véhicules et des notifications sur le niveau de service (MobilityData, s. d.-d).

Dans le cadre de ce mémoire, seuls les GTFS *Schedule* sont intéressants, car le calcul se fait sur le réseau existant et prévu sans tenir compte des détours et ralentissements de service occasionnels.

3.1.1.2 GTFS Schedule

Tous les fichiers inclus dans un flux GTFS sont enregistrés en format .txt, mais sont formatés comme des fichiers CSV (*comma-separated values*). Pour être valide, un flux GTFS doit se composer d'au moins sept fichiers .txt rassemblés dans une archive ZIP qui est publiée sur une

adresse URL. Ces sept fichiers sont *agency.txt*, *routes.txt*, *trips.txt*, *stop_times.txt*, *stops.txt*, *calendar.txt* ainsi que *calendar_dates.txt*, tel que décrit par la Figure 3.2 (MobilityData, s. d.-a). Ils décrivent respectivement la société de transport, les lignes du réseau, le service effectué par des véhicules sur ces lignes, les temps de passage, les arrêts ainsi que les dates associées aux différents services.

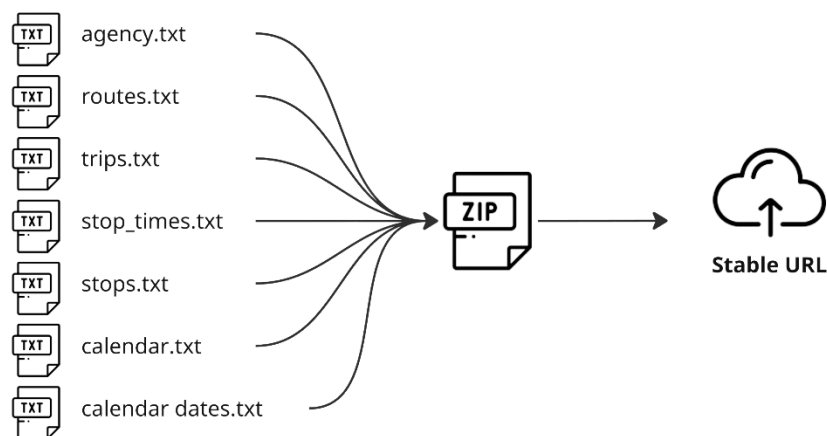


Figure 3.2 : Ensemble des fichiers composant un flux GTFS (MobilityData, s. d.-a)

Ces fichiers sont tous reliés entre par différents attributs, comme l'illustre la Figure 3.3 (MobilityData, s. d.-a). Par exemple, chaque agence de transport a un *agency_id* pour l'identifier qui se retrouve aussi dans *routes.txt* afin de préciser l'agence qui opère telle ligne. De la même façon, chaque ligne décrite dans *routes.txt* a un identifiant *route_id* afin d'associer chaque voyage de *trips.txt* à une ligne exacte (MobilityData, s. d.-a).

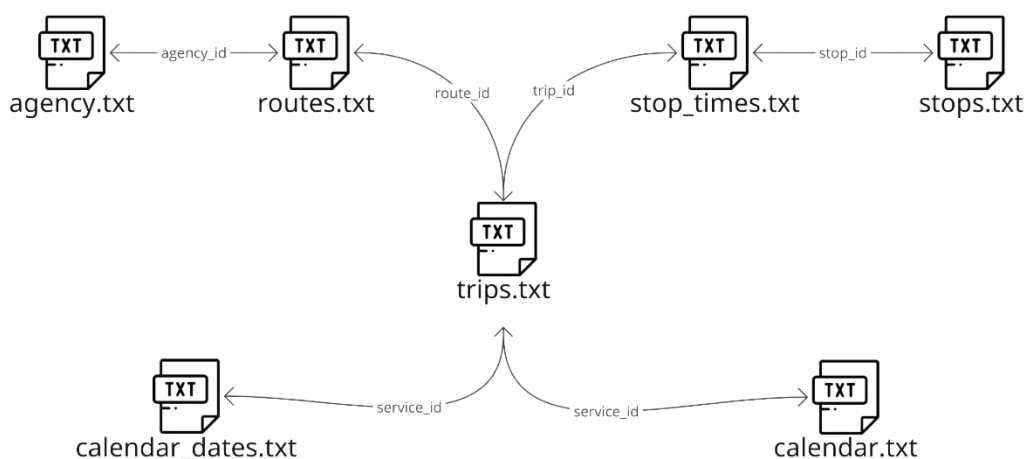


Figure 3.3 : Liens entre les fichiers d'un flux GTFS (MobilityData, s. d.-a)

De nombreux autres fichiers et attributs supplémentaires dans les sept fichiers de base peuvent être inclus pour rendre le flux GTFS plus complet et proche de la réalité du service. On y retrouve des métadonnées sur le flux, les formes géographiques des lignes, les couleurs des lignes, la possibilité de transporter un vélo, les signes directionnels des véhicules, des précisions sur les emplacements, les fréquences de service, les correspondances, les traductions et les contributions. L'accessibilité universelle est aussi modélisée grâce à des attributs indiquant la possibilité d'accéder aux arrêts en fauteuil roulant ainsi que la description audio des arrêts. Aussi, les différents tarifs, la navigation en station ainsi que les services sur demande et de taxi collectif peuvent optionnellement être modélisés (MobilityData, s. d.-b).

Le premier fichier est *agency.txt*. Celui-ci décrit la compagnie ou la société de transport. Sa clé primaire est *agency_id*. Cet attribut est obligatoire lorsque plusieurs agences sont présentes dans un flux, mais autrement recommandé. Dans le cas d'un GTFS à l'échelle du Québec, il est nécessaire pour ne pas confondre des lignes ayant le même identifiant mais appartenant à différentes sociétés. Par exemple, il faut différencier la ligne 80 circulant sur l'avenue du Parc à Montréal de la ligne 80 d'exo Laurentides qui se rend jusqu'à Pointe-Calumet. Les autres attributs obligatoires pour une agence sont son nom complet (*agency_name*), son adresse URL (*agency_url*) et le fuseau horaire (*agency_timezone*) dans lequel elle opère. Les attributs facultatifs sont la langue de l'agence (*agency_lang*), un numéro de téléphone (*agency_phone*) et une adresse courriel

(*agency_email*) pour contacter le service à la clientèle ainsi que l'adresse URL des tarifs (*agency_fare_url*) (MobilityData, 2025a).

Le second fichier est *stops.txt*. Il décrit les arrêts, stations, plateformes, entrées ou édicules et a pour clé primaire *stop_id*. Les attributs obligatoires pour les types d'arrêts utilisés dans le cadre de projet sont le nom (*stop_name*) et la localisation (*stop_lat* et *stop_lon*) de l'arrêt. Les attributs facultatifs sont le code de l'arrêt (*stop_code*), par exemple le code qui pouvait être donné pour avoir l'horaire d'un autobus par téléphone à la STM, une version lisible du nom de l'arrêt (*tts_stop_name*), pour éviter qu'une voix automatique lise « Pie-Ixe » plutôt que « Pie-IX », la description de l'arrêt (*stop_desc*), le type d'arrêt (*location_type*), c'est-à-dire une station, une plateforme, un édicule ou une zone d'embarquement, et l'accessibilité en fauteuil roulant (*wheelchair_boarding*). D'autres attributs peuvent être utilisés pour modéliser des stations ayant plusieurs étages ou plusieurs plateformes. De plus, il est aussi possible d'utiliser certains attributs si l'on désire offrir de l'information quant aux édicules ou aux quais en plus de l'information minimale par rapport aux stations.

Le prochain fichier est *routes.txt*, dont la clé primaire est *route_id*. Les seuls attributs requis sont l'un de *route_short_name* ou *route_long_name* afin de nommer la route, la différence étant celle entre « 51 » et « Édouard-Montpetit », ainsi que *route_type*, qui décrit le mode de transport sur cette route. À cela, il est possible d'ajouter une description de la route (*route_desc*), notamment pour les lignes ayant plusieurs services ou terminus, son adresse URL (*route_url*), ses couleurs d'affichage (*route_color* et *route_text_color*), ainsi que la possibilité d'embarquer (*continuous_pickup*) ou de débarquer (*continuous_drop_off*) n'importe où le long du trajet.

Ensuite vient *trips.txt* dont la clé primaire est *trip_id*. Ce fichier requiert seulement une référence à une ligne et à un service par *route_id* et *service_id* respectivement. Les attributs facultatifs concernent l'affichage des girouettes (*trip_headsign*), sa direction (*trip_direction*) et l'accessibilité aux fauteuils roulants, aux vélos et aux voitures (*wheelchair_accessible*, *bikes_allowed* et *cars_allowed*). D'autres attributs permettent de lier le trajet à une forme décrivant le déplacement du véhicule ainsi que de lui donner un nom.

Puis, *stop_times.txt* est le premier fichier à avoir une clé primaire composée de deux attributs, soit *trip_id* et *stop_sequence*. On identifie donc un passage-arrêt par un trajet ainsi que la position de l'arrêt dans la suite des arrêts du trajet. Les autres attributs obligatoires sont les temps

de départ et d'arrivée (*departure_time* et *arrival_time*) ainsi que l'arrêt en soi (*stop_id*). L'attribut *timepoint* permet d'indiquer des temps de départ et d'arrivée approximatifs, ce qui est pratique dans un contexte de transport en commun longue distance. Les conditions nécessaires pour pouvoir embarquer ou débarquer d'un arrêt facultatif peuvent être précisées par *pickup_type* et *drop_off_type*. Toutefois, *stop_times.txt* peut être omis si le flux utilise *frequencies.txt*. Ce fichier représente les passages-arrêts en termes de fréquence plutôt que par des horaires. Il a donc la paire *trip_id* et *start_time* comme clé primaire. Afin de représenter les fréquences, ce fichier requiert une heure de début (*start_time*), une heure de fin (*end_time*) et une fréquence en secondes (*headway_secs*). Le paramètre d'exactitude *exact_times* permet de spécifier si la fréquence est issue d'un horaire régulier ou si les véhicules effectuent leurs services purement en se basant sur la fréquence.

Le fichier *calendar.txt* utilise *service_id* comme clé primaire afin d'identifier les journées de validité de chaque service. Il requiert une date de début et une de fin (*start_date* et *end_date*), ainsi qu'un attribut par jour de la semaine (*monday*, *tuesday*, *wednesday*, *thursday*, *friday*, *saturday* et *sunday*) afin d'identifier les jours où un service est utilisé. Il est aussi possible d'utiliser le fichier *calendar_dates.txt* en remplacement ou en complément. Celui-ci ajoute l'attribut *date* à la clé primaire. Il est constitué d'une liste de *service_id* conjugués à une journée (*date*). Chacune de ces paires à une *exception_date*, qui précise si le service en question est ajouté ou supprimé pour une date précise. Ainsi, si la liste des combinaisons de dates et de services est exhaustive, elle peut remplacer le fichier *calendar.txt*, mais elle est normalement utilisée comme liste d'exceptions. Elle peut par exemple préciser que le service du dimanche s'applique lors de jours fériés, ou que le service de semaine s'applique lors d'un événement spécial durant une fin de semaine.

Finalement, le fichier *feed_info.txt* recense des métadonnées sur le flux GTFS en question. Il peut s'agir des coordonnées de l'éditeur (*feed_publisher_name* et *feed_publisher_url*) et de la personne à contacter (*feed_contact_email* et *feed_contact_url*). La langue du flux (*feed_lang*) et son numéro de version (*feed_version*) peuvent être ajoutés, en plus des dates de début et de fin (*feed_start_date* et *feed_end_date*) de validité du flux. Parmi ces attributs, seules les coordonnées de l'éditeur et la langue du flux GTFS sont obligatoires. Il est particulièrement pertinent dans les cas où la personne codant le flux GTFS ne fait pas partie de l'agence de transport dont les services sont décrits.

Plusieurs autres fichiers peuvent servir à modéliser l'offre de service de manière encore plus précise. Un sous-ensemble de plusieurs fichiers permet de décrire en détails les tarifs en vigueur, et ce même si ceux-ci sont dépendants de plusieurs facteurs, tels que la distance parcourue, l'heure de la journée, les stations de départ et d'arrivée, l'âge des voyageurs et le mode de paiement. Aussi, un autre sous-ensemble permet de représenter les enjeux du transport à la demande, que ce soit les modalités de réservation ou d'embarquement, ou bien les zones desservies. Finalement, le fichier *levels.txt* permet de mieux représenter les infrastructures sur plusieurs étages, alors que *translations.txt* permet d'avoir des flux dans plusieurs langues.

3.1.1.3 Recensement des flux GTFS

La première étape du recensement des flux GTFS disponibles en accès libre a été de consulter les sites Internet des plus grandes sociétés de transport du Québec. En effet, plusieurs opérateurs offrent leurs flux GTFS dans la section de leurs données ouvertes. Par exemple, la STM offre dans la section de son site dédiée aux développeurs les fichiers Shapefile des tracés des lignes de bus, ainsi que les flux GTFS *realtime* et planifié (Société de transport de Montréal, s. d.). Les opérateurs de transport en commun des villes de Laval (Société de transport de Laval, s. d.), Longueuil (Réseau de transport de Longueuil, s. d.), Québec (Réseau de transport de la Capitale, s. d.) et Lévis (Société de transport de Lévis, s. d.) ainsi que des régions de Montréal (exo, s. d.) et de Gatineau (Société de transport de l'Outaouais, s. d.) offrent eux aussi les flux GTFS planifiés en libre accès, en plus de rendre disponibles les fichiers Shapefile et les GTFS *realtime* dans certains cas.

Étant donné que la conception d'un flux GTFS représente un travail considérable dont la charge augmente avec le nombre de lignes, d'arrêts et de passages du réseau décrit par le flux GTFS, cette tâche peut rapidement devenir coûteuse financièrement et temporellement. Les opérateurs de plus petites municipalités n'ont donc souvent pas le budget pour réaliser cette tâche.

La prochaine étape a été de consulter le site de Données Québec (Données Québec, s. d.). Ce site est géré par le gouvernement du Québec et recense plusieurs jeux de données publiés par les ministères provinciaux et les municipalités québécoises. Une recherche pour « GTFS » retourne 23 résultats. En excluant les flux GTFS précédemment trouvés, on peut accéder au GTFS planifié de quelques villes de taille moyenne québécoises, telles que Sherbrooke, Trois-Rivières et Rimouski, entre autres.

Ensuite, la recherche s'est poursuivie sur deux plateformes non-gouvernementales, mais respectant tout de même les principes du libre accès. La première plateforme, Transitland (Interline Technologies LLC, s. d.), est la propriété d'une compagnie de génie conseil spécialisée en transports. La deuxième, MobilityDatabase (MobilityData, s. d.-c), est gérée par MobilityData, l'organisme derrière le standard GTFS en soi. Ces deux plateformes sont des agrégateurs de flux de données GTFS. Il est donc possible d'y chercher des flux GTFS selon les lieux couverts, les propriétés du flux et ce qui y est inclus. Dans le cadre de cette étude, il a donc été possible de filtrer les flux par région, ce qui a permis d'obtenir tous les GTFS du Québec disponibles sur ces plateformes en une seule recherche.

Des tentatives de rejoindre des organismes de transport en commun ont été infructueuses pour obtenir les flux restants, particulièrement ceux disponibles sur Google Maps mais non accessibles en source libre.

3.1.1.4 Validation des flux GTFS existants

Deux outils ont été utilisés afin de vérifier la validité des flux GTFS trouvés. Le premier, GTFS Validator (MobilityData, 2025b), est un outil en libre accès programmé par l'organisme gérant le standard GTFS. Il permet d'y entrer un flux GTFS à partir d'un fichier ou d'une adresse URL. Le flux GTFS est ensuite analysé en fonction de la référence de la spécification GTFS et des meilleures pratiques incluses dans la référence. Un rapport est ensuite affiché en format HTML. Celui-ci indique d'abord un résumé du flux GTFS entré. Ce résumé présente de façon plus humainement accessible diverses informations, telles que les agences présentes dans ce flux avec leurs informations de contact, les fichiers inclus dans le flux ou la quantité d'éléments de chaque type représentés dans un GTFS (agence, route, forme, arrêt, voyage). De plus, les fonctionnalités moins communes sont aussi explicitées. Celles-ci incluent par exemple l'accessibilité en fauteuil roulant, la possibilité d'embarquer avec un vélo ou des informations sur les tarifs. Finalement, les métadonnées du flux telles que spécifiées dans *feed_info.txt* sont aussi présentées.

La deuxième partie de la page comprend le rapport de conformité à la spécification. Celui-ci valide le flux par rapport aux règles de la documentation GTFS. Il présente ce qui n'est pas conforme selon trois niveaux de gravité, soit *info*, *warning* et *error*. Le premier niveau présente des informations inattendues qui peuvent représenter des erreurs et qui doivent être manuellement révisées. Cela peut être une plateforme n'appartenant pas à une station, une correspondance de plus

de deux kilomètres, une station non-utilisée ou une colonne ou un fichier inconnus. Le deuxième niveau recense des avertissements relatifs aux meilleures pratiques ou aux recommandations issues de la documentation. Leur correction n'est pas nécessaire pour rendre le flux GTFS utilisable, mais peuvent apporter plus d'informations à l'utilisateur ou corriger des erreurs. Cela peut aller d'un calendrier de service expiré à un horaire demandant à un bus de voyager à plus de 150 km/h, en passant par une valeur non-conforme à la spécification. Le troisième niveau spécifie des erreurs rendant le flux GTFS non-compatible avec la spécification. Cela peut être des clés d'attribut présentes plus d'une fois, ce qui rend le flux inutilisable en raison de la confusion entre deux entrées. Il peut aussi s'agir d'une entrée dans un format invalide, comme une couleur qui n'est pas sous format hexadécimal ou un code de monnaie ISO 4217 inexistant. La plupart de ces erreurs sont liées à des colonnes ou des informations obligatoires qui sont manquantes (MobilityData, s. d.-e).

Le deuxième outil, GTFS Viewer (MarcPhi, 2024), est beaucoup plus simple. Tout comme GTFS Validator, cet outil permet d'entrer un flux GTFS à partir d'un fichier ou d'une adresse URL. Il affiche ensuite le contenu du flux sur une carte. Évidemment, cela n'est possible que si le flux contient les informations nécessaires et qu'il est correctement écrit. Si c'est le cas, les différentes lignes opérées par l'agence sont affichées sur la carte. Cela permet de faire une validation visuelle du flux, notamment pour la position des arrêts et leur séquence. De plus, en glissant le curseur sur un arrêt, on peut obtenir son nom, son numéro, sa description et sa position exacte, tout comme on peut avoir la couleur d'une ligne ainsi que le nombre de voyages empruntant cette même ligne en glissant le curseur dessus. Ainsi, alors que GTFS Validator valide la conformité des données à la spécification, GTFS Viewer permet de s'assurer visuellement que les données des flux GTFS représentent fidèlement la réalité.

3.1.1.5 Erreurs dans les flux GTFS existants

Afin de caractériser l'offre en transport au Québec, il était nécessaire de créer un flux GTFS représentant l'ensemble des services de transport collectif de la province, du métro de Montréal aux nombreux taxis collectifs municipaux, en passant par les autocars interurbains. Comme expliqué plus haut, des sites recensant les flux GTFS ont été utilisés. Toutefois, les listes de ces sites étaient incomplètes et parfois obsolètes. Ainsi, plusieurs erreurs et omissions ont dû être corrigées avant d'être mises en commun dans un GTFS national.

Alors que la plupart des sociétés de transport révisent leurs horaires et leurs lignes aux trois mois, ce qui entraîne alors des modifications à leur flux GTFS, certains jeux de données trouvés en ligne y ont été téléversés il y a plus de trois ans, notamment celui de la Société de transport de Sherbrooke. Quant à elle, la Société de transport de Trois-Rivières a fait sa mise à jour au début 2024. Cela pose un problème pour la validité des données. C'est aussi le cas de données qui ont été fournies par le ministère des Transports et de la Mobilité durable. Parmi les flux GTFS de plusieurs sociétés de transport, les plus récents avaient été complétés à la fin 2023. Ces flux étaient ceux de plus petites municipalités ayant eu l'aide du ministère dans la conception et la réalisation de ceux-ci. Rien n'indique que les trajets et horaires spécifiés dans le flux soient toujours d'actualité aujourd'hui. Cela compromet l'exactitude des résultats, mais tant que les changements ne sont pas de trop grande envergure, les résultats concernant l'accessibilité et les temps de parcours devraient rester similaires.

La Société des transports de Lévis a quant à elle ajouté à la spécification en utilisant un fichier *directions.txt*, qui n'est pas inclus dans la documentation standardisée des flux GTFS. Pourtant, la direction du trajet est incluse dans un fichier standard, mais la STLévis n'utilise pas l'attribut mentionné par la spécification. Afin d'éviter les problèmes d'interprétation lors de la mise en commun des flux GTFS, le contenu du fichier non-standard a dû être déplacé vers les champs spécifiés dans la documentation.

De plus, de nombreuses municipalités et opérateurs, à l'instar de la ville de Granby et la Société de transport du Saguenay, offrent leurs horaires et réseaux sous forme de PDF seulement, bien que l'information sur le transport collectif soit disponible sur Google. Cela indique que le flux GTFS a été créé, mais n'est pas disponible publiquement comme le préconise la philosophie du développement libre qui encadre les GTFS. Ceci n'est pas une erreur à proprement dite, cela ajoute à la tâche de créer un GTFS national au lieu de contribuer à la communauté de développement des GTFS. En effet, cela double le travail, puisque la société de transport ou la municipalité a pris le temps de créer l'information et de la donner à un organisme privé, mais fait en sorte que toute autre personne doive refaire son travail pour utiliser ces données qui devraient, selon le standard, être publiques.

À Rimouski, les Citébus ont leur flux GTFS, mais le taxi collectif n'y est pas inclus. Plusieurs autres municipalités ne publient pas un GTFS lorsqu'elles offrent seulement un service

de taxibus, alors que la documentation explique comment intégrer ce genre de service à un flux GTFS. Cela se rajoute au phénomène des flux seulement publiés sur Google Maps et constitue aussi un travail supplémentaire, quoiqu'il ne soit pas fait en double dans ce cas. Il faut tout de même codifier l'offre pour ces opérateurs.

À cela s'ajoutent aussi tous les opérateurs n'ayant tout simplement pas de flux GTFS. C'est le cas de la plupart des services de transport en commun gérés par les municipalités en dehors des régions métropolitaines de recensement. Ces municipalités n'ont souvent pas le budget, la main-d'œuvre ou les connaissances nécessaires pour réaliser une telle tâche. De plus, dans plusieurs cas, le service de transport est constitué d'un seul véhicule qui fait un seul trajet sur une seule ligne à une seule occasion dans la journée. Puisque ce service est assez simple, les habitants en connaissent souvent l'horaire, ce qui limite l'intérêt d'en rédiger le flux GTFS pour la compagnie offrant le service.

Toutefois, cela ne s'applique pas aux opérateurs privés de transport par autocar. En effet, les services offerts par ces compagnies peuvent tout autant être représentés à l'aide du standard GTFS que ceux d'une société de transport en commun comme la STM : ils ont des horaires fixes, des arrêts précis, et les routes empruntées entre les arrêts sont stables. Cependant, parmi tous les opérateurs d'autocar au Québec, seul Orléans Express publie en libre accès son fichier GTFS. Tous les autres opérateurs ne le publient ni en libre accès, ni sur Google, à l'exception de Limocar qui l'aurait seulement publié avec Google selon des recherches. Ne pas avoir de flux GTFS est d'autant plus problématique, car leurs services n'ont aucune visibilité lors de recherches d'itinéraires sur Google Maps, ce qui n'incite pas la population à utiliser le transport en commun pour ses plus longs déplacements.

Les sites de suivi en temps réel de la position des véhicules sont une grande source de problèmes aussi. Ces sites indiquent où se trouve le véhicule associé à un certain trajet en temps réel afin de permettre aux passagers de connaître l'heure d'arrivée réelle de leur véhicule. Selon la compréhension et l'interprétation des fichiers identifiés, différents enjeux empêchent la valorisation de ces ensembles de données. Des interactions avec les opérateurs permettront sans doute de mieux comprendre ces défis et d'assurer une meilleure utilisabilité de leurs données, à la fois pour l'analyse des données de transport au niveau scientifique que pour la visibilité des services de transport en commun interrégional pour des passagers potentiels. Les paragraphes ci-

dessous exposent certains de ces problèmes. Une fois ces problèmes réglés en collaboration avec les transporteurs et opérateurs de transport interrégional, les données seront disponibles pour des études ultérieures et fourniront une meilleure visibilité aux services de transport en commun qui sont offerts.

Les coordonnées géographiques causent des problèmes dans le cas du réseau opéré par Maheux; celles-ci semblent contenir des erreurs de signe sur la longitude. Cela fait en sorte que certains arrêts se retrouveraient au Kazakhstan au lieu de l'ouest du Québec. D'autres arrêts semblent aussi localisés dans l'océan Arctique entre les îles Svalbard et la Nouvelle-Zemble. L'interprétation des fichiers semble faire face à une combinaison d'erreur de signe de la longitude avec une inversion des coordonnées, c'est-à-dire que la longitude est devenue la latitude et vice-versa. Finalement, d'autres arrêts semblent aussi mal positionnés, mais néanmoins dans la bonne région. Par exemple, la localisation de l'arrêt au terminus de Rouyn-Noranda semble être dans le lac Beauchastel, au sud-ouest de la ville de Rouyn-Noranda. Cependant, la cause de l'erreur n'a pas été trouvée.

D'autres compagnies ont une carte pour montrer les trajets possibles, mais cela porte à confusion avec les options disponibles lors de l'achat d'un billet. Intercar suggère un arrêt à l'aéroport de Montréal, Drummondville, Valin et Sacré-Cœur, mais aucun point n'a été identifié sur leur carte à ces endroits et aucun trajet n'est affiché lorsque ces destinations sont choisies à l'achat d'un billet. Au contraire, il y a deux arrêts à Godbout.

Les services de localisation en temps réel et les horaires peuvent aussi porter à confusion. Les temps de passage à certains arrêts sont différents selon la source d'information consultée, soit l'horaire disponible sur le site d'Autobus Galland ou l'horaire affiché sur le site Zenbus, utilisé pour faire le suivi des véhicules. C'est aussi le cas pour Intercar, où les heures de passage ne sont pas les mêmes sur leur site et le site d'achat de billets.

L'information peut aussi être incomplète ou incorrecte, même en format écrit sur le site des opérateurs. Pour le service d'autobus à Montmagny, aucun horaire n'est disponible en ligne, il faut appeler la ville pendant ses heures d'ouverture. Maheux et La Québécoise dressent la liste de leurs arrêts desservis, mais certains sont introuvables dans les horaires des lignes individuelles. Puis, Intercar semble inverser l'ordre de parcours de certaines villes selon l'interprétation. De plus, certains temps de parcours semblent assez courts, quoique rattrapables lorsque ces arrêts ne sont

pas fréquemment demandés. Par exemple, l'horaire prévoit cinq minutes entre Clarke City et Sept-Îles pour une distance de 27 kilomètres.

3.1.1.6 Script de nettoyage des flux GTFS existants

Puisque certaines des erreurs énumérées plus haut revenaient dans plusieurs flux ou étaient présentées des milliers de fois dans un seul flux, un script Python a été développé pour automatiser la correction des informations mal formatées.

Le script convertit les fichiers .txt en fichiers .csv afin de pouvoir les lire avec la librairie pandas. La première étape est d'éliminer tous les calendriers de service ayant une date de fin déjà passée. Les voyages associés à ces services sont ensuite éliminés à leur tour, tout comme les passages-arrêts, les formes de lignes et les entrées de *frequencies.txt*, si ce fichier est utilisé.

Ensuite, les arrêts n'ayant pas de passages-arrêts sont éliminés eux aussi du flux GTFS. Certaines particularités différencient le processus pour la STM et le RTL des autres sociétés de transport, mais l'idée reste la même. Dans ces deux cas, le problème est que ces deux opérateurs utilisent la hiérarchie des arrêts pour représenter les quais d'embarquement aux grosses stations de bus ou les édicules de métro en plus des plateformes. Puisque les édicules ou la station regroupant tous les quais ne sont pas les entités incluses comme arrêts, il faut éviter de les enlever, sinon des erreurs de violation de contrainte de clé étrangère (*foreign key violation*) indiquent qu'un quai d'embarquement a une station-parent qui n'existe plus.

Puis, le script s'assure de remplir les données concernant l'accessibilité aux fauteuils roulants. Lorsque cette information n'est pas incluse, le script ajoute l'attribut indiquant que l'information n'est pas disponible, au lieu de laisser l'attribut vide, et donc ouvert à l'interprétation.

Après, le script ajoute une adresse courriel spécifiée si aucune adresse n'est donnée dans le flux GTFS ou sur le site Internet de la société de transport. Il ajoute aussi au besoin les dates de début et de fin de validité du flux, ainsi qu'un numéro de version horodaté.

Le script continue en ajoutant un attribut reliant l'agence à ses routes et autres fichiers afin d'éviter la confusion au cas où plusieurs sociétés de transport utiliseraient les mêmes numéros, noms ou identifiants pour deux lignes distinctes.

Finalement, des attributs personnalisés qui ne sont pas inclus dans la documentation officielle sont enlevés par le script. Il s'agit notamment du fichier *directions.txt* utilisé par la

STLévis, ainsi que des types de routes utilisés par le RTL. Il est important d'enlever ces attributs non-conformes afin d'assurer une lecture uniforme des flux GTFS par les autres outils utilisés. De plus, l'information contenue dans le fichier des directions peut être transmise par un attribut dans *routes.txt*, ce qui est fait par plusieurs autres sociétés de transport. En ce qui concerne le RTL, on peut imaginer que les types de routes non standards sont utilisés à l'interne, mais cela fait en sorte que les outils conventionnels ne peuvent pas interpréter le mode de transport utilisé par ces routes.

3.1.1.7 Construction des flux GTFS inexistants

La toute première étape afin de créer le flux GTFS d'une compagnie de transport interrégional ou d'un service municipal n'ayant pas publié en accès libre ses fichiers est de trouver l'information nécessaire. Pour ce faire, il a fallu recenser les compagnies fournissant un service de transport interrégional au Québec. Cela s'est principalement fait à l'aide des deux cartes présentées en section **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** (Association des propriétaires d'autobus du Québec, s. d.; Division de la géomatique, 2015).

De rapides recherches ont permis de trouver les sites des compagnies toujours en activité. Il s'est cependant avéré que plusieurs étaient disparues, n'offraient pas ou plus de services entre au moins deux villes québécoises ou avaient vu leur service repris par un service de transport en commun municipal ou régional public. De tels exemples incluent celui de Trentway-Wagar, maintenant opérant sous le nom de Coach Canada, qui ne fait que le trajet Montréal—Toronto, avec des arrêts intermédiaires à Brockville, Cornwall, Kingston, Scarborough et Whitby, en Ontario, Maritime Bus, qui a arrêté son service au Québec, ou bien les Autobus Breton, qui ont dû cesser leurs opérations car leurs opérations n'étaient plus rentables (Masson, 2023).

Une fois le site Internet trouvé, il faut parcourir le site pour y trouver les informations sur les arrêts desservis, les horaires des départs et les informations de contact, entre autres. Dans la majorité des cas, ces informations sont assez faciles à trouver sur leurs sites web respectifs.

Le premier fichier rempli est *agency.txt*, puisqu'il ne concerne que les informations sur la société ou la compagnie de transport. Le seul attribut qui n'est pas directement tiré du site Internet de l'agence en question est son identifiant *agency_id*. Il s'agit ici de trouver un nom court mais représentatif qui servira aussi de préfixe aux noms des arrêts. Par exemple, Les Autobus Maheux

devient Maheux et Les Autobus La Québécoise devient ALQ. On peut aussi remplir *feed_info.txt*, puisqu'il s'agit de métadonnées sur le flux GTFS, notamment les coordonnées de l'auteur.

Ensuite, les arrêts sont localisés grâce à la liste des trajets ou bien avec une liste des destinations desservies, puis inscrits dans *stops.txt*. Dans certains cas, il est facile de situer précisément l'arrêt, notamment pour la gare d'autocars de Montréal ou lorsqu'une adresse exacte est fournie. Cependant, dans la plupart des cas, seul un nom de village est donné. Il a donc fallu utiliser les outils de suivi de localisation en temps réel des véhicules afin d'obtenir l'emplacement précis des arrêts. Dans les cas où il n'y avait ni adresse exacte, ni service de suivi en temps réel, les positions des stations ont été estimées. Il faut préciser que ces cas étaient pour la plupart de petits villages, ce qui a moins d'incidence sur les calculs et l'accessibilité. Dans de tels cas, les arrêts ont été placés à une station-service – souvent la seule – du village, ou bien au centre du village sur la route le traversant en l'absence d'un commerce plus central. Toutes les coordonnées ont été arrondies à cinq décimales, ce qui est amplement suffisant pour faire des calculs de chemin, étant donné que des coordonnées à cinq décimales permettent de « pointer une personne spécifique dans une pièce » [traduction libre] (Munroe, 2019).

Puis, la liste des services doit être créée dans *calendar.txt*. Pour ce faire, il suffit d'observer l'horaire d'une compagnie ou société de transport. Dans le cas du transport interrégional, les départs se font souvent à une certaine heure pour un ensemble de jours de la semaine. Il est donc possible de créer les services selon ces journées. Par exemple, si une compagnie offre un service à 8 heures du lundi au vendredi et à 10h durant la fin de semaine, ainsi qu'un départ additionnel à midi du jeudi au dimanche, il faudra créer deux services pour représenter les départs en semaine ainsi que les départs additionnels, sans que ces derniers ne soient aussi actifs durant les autres jours.

Avec ces mêmes horaires, il est possible de dresser la liste des lignes desservies dans *routes.txt*. Chaque ligne a pour identifiant *route_id* le nom des deux terminus abrégés et comme nom *route_long_name* les deux mêmes emplacements sous forme longue. Le mode de transport *route_type* est toujours 3, puisqu'il s'agit de trajets faits par bus.

Une fois les lignes et services modélisés, il est possible d'associer ces deux concepts en trajets à l'aide de l'identifiant *trip_id* dans *trips.txt*. Cela permet de diviser les lignes en directions en ajoutant *direction_id*, et dans le cas des lignes ayant plus d'un type de départ (par exemple, un départ à 8 heures en semaine et un départ à midi du jeudi au dimanche), d'en faire la distinction.

Finalement, on associe ces trajets à des arrêts dans *stop_times.txt* afin de donner les heures des passages-arrêts. En dressant la liste des arrêts de chaque trajet, on y ajoute les heures d'arrivée et de départ, la séquence de l'arrêt dans cette ligne et s'il s'agit d'un arrêt sur demande ou non.

Une fois toutes ces informations remplies dans leurs fichiers respectifs, ceux-ci peuvent être rassemblés en un dossier compressé qui devient alors un flux GTFS utilisable dans n'importe quelle plateforme utilisant les GTFS, comme Transition.

3.1.1.8 Améliorations possibles aux flux GTFS

Plusieurs raccourcis ont été empruntés dans la création et la correction des flux GTFS afin d'avoir des fichiers utilisables dans le but de faire des calculs d'accessibilité et de temps de parcours, mais il serait possible d'y ajouter plusieurs attributs pour l'expérience utilisateur plus agréable si jamais ceux-ci devaient être publiés ou servir de base pour des travaux futurs.

Pour l'expérience utilisateur, l'ajout des *shapes* pour chacune des lignes rend la compréhension du trajet beaucoup plus facile. Sans *shapes*, la visualisation des trajets est très primitive. Les arrêts sont reliés entre eux par des lignes droites. Pour un trajet de Montréal à Québec, les trajets d'Orléans Express relient les deux villes directement, donc impossible de savoir si l'autobus emprunte l'autoroute 20 ou 40, tandis que le trajet de VIA Rail suit précisément le tracé des rails, donc il est possible de voir au premier coup d'œil que le train voyage sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent et qu'il traverse les villes de Saint-Hyacinthe et Drummondville, par exemple.

À l'intersection de l'expérience utilisateur et de la facilité de maintenir les fichiers des GTFS, il serait pertinent d'uniformiser la façon de codifier les *directions_id*. En règle générale, la première ligne trouvée se voyait assigner le 0, et son sens inverse le 1. Ces deux directions étaient ensuite gardées pour les prochaines. Par exemple, la première ligne dans l'horaire de Maheux est Val-d'Or—Matagami—Chisasibi. Puisque cette ligne va vers le nord, toutes les lignes de Maheux allant en direction nord avaient alors le 0 comme *direction_id*. Ensuite, la première ligne allant vers l'est ou l'ouest avait aussi un attribut *direction_id* de 0, et la direction contraire, de 1. Cependant, cela fait en sorte que les attributs *direction_id* ne sont pas nécessairement les mêmes selon la compagnie. Il faudrait alors établir une convention dictant l'utilisation de l'attribut *direction_id* pour que les lignes vers le nord et l'est soient à 0 et celles vers le sud et l'ouest à 1, par exemple.

Cela permettrait de pouvoir classer les lignes selon leur orientation sans devoir regarder leur suite d'arrêts et de pouvoir connaître leur orientation rapidement.

Ensuite, l'emplacement des arrêts pourrait être amélioré et mieux validé. En ce moment, les arrêts interrégionaux pour une même municipalité sont placés au même endroit. Lorsqu'aucune adresse ou localisation n'est spécifiée par l'opérateur, le croisement des deux routes principales ou la station-service sont les options, étant donné qu'il s'agit de villages peu peuplés. Cet arrêt est utilisé pour les deux directions de la ligne utilisant cet arrêt. Lorsqu'il s'agit d'une station-service, cela est normal, car l'autobus s'arrête toujours à la station-service, peu importe la direction dans laquelle il voyage. Cependant, lors d'un arrêt en bord de route, l'autobus s'arrête de son côté de la route selon la direction empruntée, et il y a donc deux arrêts pour une même localité. À des fins de simplification de conception des fichiers GTFS et parce que cela n'influence pas assez les calculs de temps de parcours, un seul arrêt a été choisi. Cependant, pour se conformer aux normes et aux meilleures pratiques du standard GTFS, il faudrait placer des arrêts distincts lorsqu'un véhicule ne s'arrête pas exactement au même endroit selon la direction. De plus, certains villages, comme Kinnear's Mills, au nord de Thetford Mines, compte plusieurs routes croisant la route principale, mais aucune station-service. Il n'a donc pas été possible de placer un arrêt par cette même méthodologie. En pratique, il faudra consulter tous les opérateurs de transport interurbain pour obtenir l'adresse ou la localisation précise de tous leurs arrêts, au lieu d'approximer leur position selon des hypothèses tout de même raisonnables.

D'autres améliorations peuvent être apportées pour rendre plus exacts les flux GTFS, et donc les calculs de temps de parcours qui les utilisent. D'abord, le fichier *transfers.txt* n'a pas été rédigé dans les flux GTFS utilisés, car les lignes interrégionales ont peu de transferts entre elles. Cependant, cela ignore le fait que la plupart des opérateurs de transport interrégional, que ce soit par bus ou par train, demandent à leurs passagers d'arriver un certain temps à l'avance, généralement 30 minutes environ. Cela peut exercer une influence sur les calculs d'itinéraire. Dans le cas d'un voyageur en train entre Drummondville et Montréal, celui-ci peut bien habiter tout juste à côté de la gare, il doit quand même arriver 30 minutes d'avance. Ainsi, si l'on veut savoir quelles régions il peut atteindre en deux heures à 7 heures du matin et qu'un train part à 7 heures 10, considérer ou non les 30 minutes nécessaires avant le départ ou non pourrait faire en sorte qu'un trajet impossible soit faisable lorsque *transfers.txt* n'est pas inclus dans un flux GTFS. Le fichier

transfers.txt permet de considérer les temps nécessaires pour aller d'un mode à un autre, ce qui reflèterait mieux la situation réelle.

Ensuite, il serait pertinent d'ajouter l'information liée à l'attribut *shape_distance_traveled* du fichier *stop_times.txt* d'abord, et *shapes.txt* éventuellement. Cette information permet d'avoir la distance réseau parcourue depuis le début d'un trajet jusqu'à chaque arrêt en suivant exactement le tracé parcouru par les véhicules. Cela peut être utilisé par des outils tels que Transition afin de donner plus d'informations liées à la distance et la vitesse lors de calculs d'itinéraires.

Une autre avenue d'amélioration à envisager serait d'ajouter l'information sur les tarifs des opérateurs de transport en commun grâce à *fares.txt*. Cela permettrait de donner un autre critère sur lequel juger les itinéraires. En effet, si un trajet est un peu plus long mais ne nécessite qu'un seul billet, il pourrait être plus intéressant. De plus, au niveau de la comparaison des modes de transport, ce fichier pourrait servir à comparer les coûts entre la voiture et le transport en commun.

Finalement, la dernière amélioration envisageable dans le cadre des flux GTFS serait de compléter tous les flux n'ayant pas pu être rédigés. Tout d'abord, il faut s'assurer d'avoir l'intégralité des services de transport en commun de la province. Ensuite, certains fichiers n'ont pas été faits en raison de leur complexité et par manque de temps. Il serait donc judicieux de finir le travail amorcé afin de pouvoir réaliser des analyses sur l'ensemble du territoire québécois.

La Figure 3.4 présente l'état de l'avancement de la création des flux GTFS. Les cercles représentent les services municipaux publics, alors que les carrés représentent les opérateurs privés d'autocars interrégionaux. Les symboles verts sont les opérateurs dont les flux GTFS étaient accessibles en source ouverte et créés ou corrigés à l'aide de scripts Python décrits aux sections 3.1.1.6 et 3.1.1.7. On voit donc que les zones qui ne sont pas couvertes par les GTFS importés dans Transition sont la Gaspésie, la Côte-Nord, le Lac-Saint-Jean, Victoriaville ainsi que les régions autour de Sherbrooke et Trois-Rivières. Cependant, les sociétés de transport de ces deux dernières villes sont incluses dans les GTFS importés dans Transition.

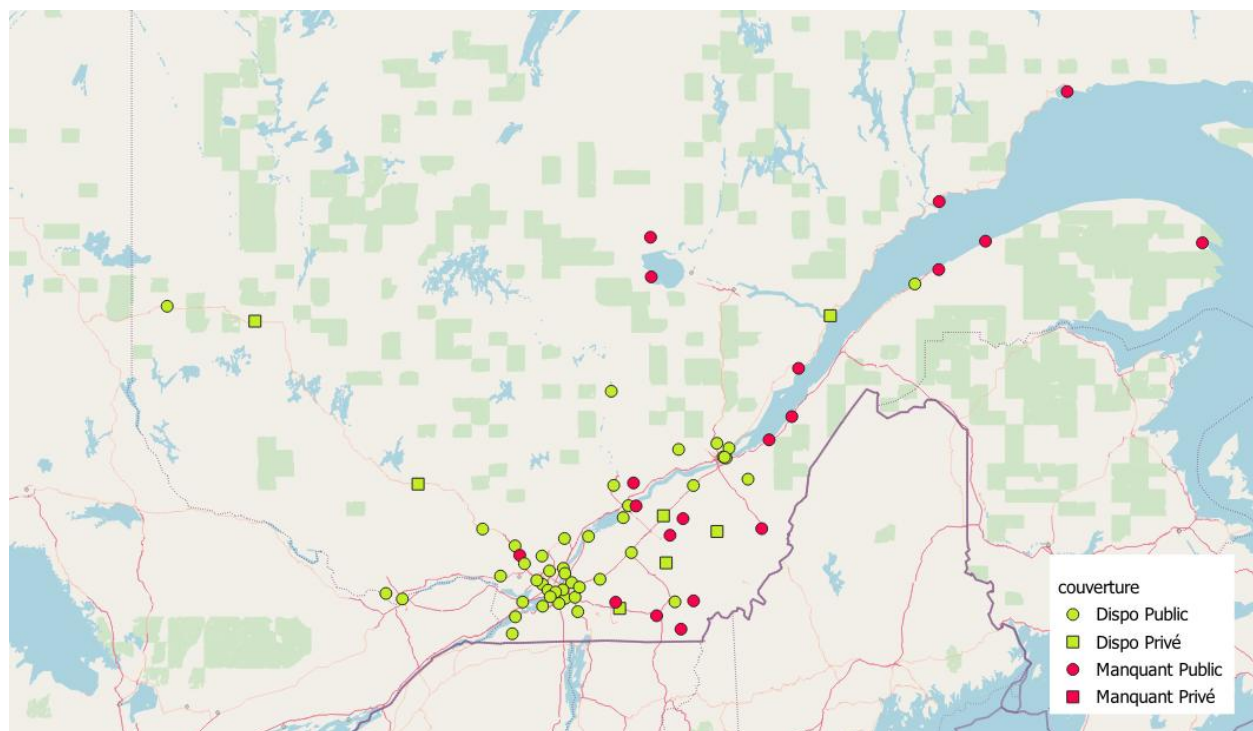


Figure 3.4 : Progrès de la création des flux GTFS au Québec

Le tableau A.1 en annexe A présente plus en détails le contenu de la Figure 3.4. On y retrouve l'ensemble des opérateurs présentés sur cette figure, en plus de Kativik. Cet opérateur n'est pas sur la figure précédente car il est très éloigné des autres. Les régions où opèrent chaque transporteur sont indiquées, ainsi que s'il s'agit d'une compagnie privée ou d'un service public. Puis, le statut de leurs données GTFS est indiqué.

Le code « Créé » indique que le flux GTFS a été rédigé dans le cadre de ce projet, « Manquant » signifie que le GTFS n'a pas été trouvé, « Disponible » indique que le flux GTFS est accessible en ligne, que ce soit sur un agrégateur de flux ou sur le site de l'opérateur, « Corrigé » est utilisé pour les flux ayant été validés avec le script de correction des flux GTFS, puis « Inaccessible » signifie que le flux GTFS existe car il est affiché sur Google Maps, mais qu'il a été impossible d'y accéder à partir du site web de l'opérateur en question.

Ce tableau n'est pas exhaustif. Il recense seulement les opérateurs qui ont été trouvés, mais il est possible que certains services de transport en commun à plus petite échelle dans des municipalités moins peuplées n'aient pas été recensés.

3.1.2 Données géographiques et démographiques

Les principales sources de données géographiques et démographiques sont les fichiers du recensement canadien. En ce qui concerne le territoire, les fichiers des limites ont été la source principale (Gouvernement du Canada, 2021b). Ceux-ci rassemblent les limites administratives et statistiques, en plus des écoumènes de population et agricole. Dans le cadre de ce projet, une combinaison de ces données a été utilisée. Les régions économiques du recensement correspondent en tout point aux régions administratives dans le cas du Québec, comme le montre la Figure 3.5.

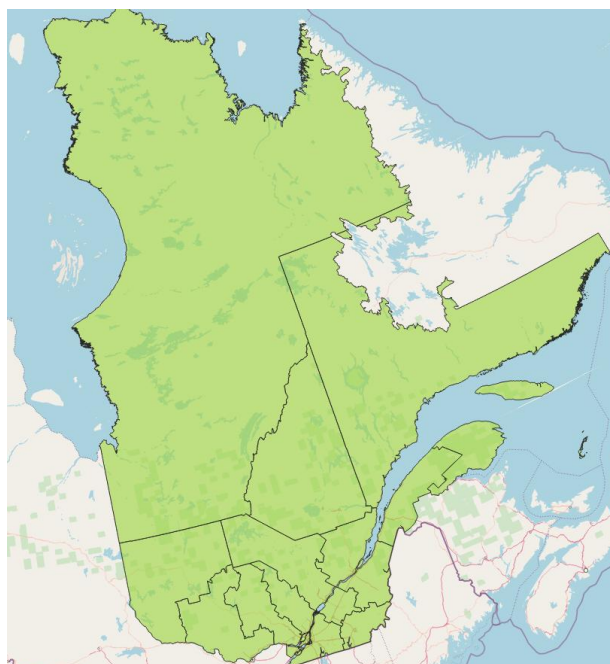


Figure 3.5 : Régions économiques du recensement de 2021 – Régions administratives du Québec

Toujours au Québec, les divisions de recensements correspondent en général aux MRC, par exemple, la MRC de Deux-Montagnes, qui regroupe la ville du même nom, Saint-Eustache, Sainte-Marthe-sur-le-Lac et Pointe-Calumet, entre autres. Certains cas font exception, notamment l'île de Montréal qui est un territoire équivalent. Ces divisions sont visibles à la Figure 3.6.

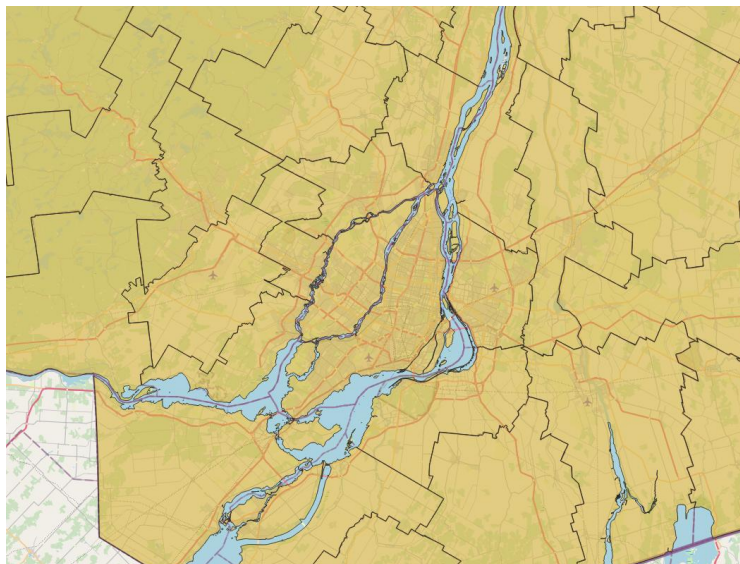


Figure 3.6 : Divisions de recensement – Municipalités régionales de comté

Les secteurs de recensement se retrouvent uniquement dans les RMR. Ils ont généralement une population inférieure à 7500 personnes, ce qui fait en sorte qu'ils peuvent autant représenter l'entièreté de l'île d'Orléans, comme à la Figure 3.7, qu'une demi-douzaine de pâtés de maison au centre de Montréal, à la Figure 3.8.

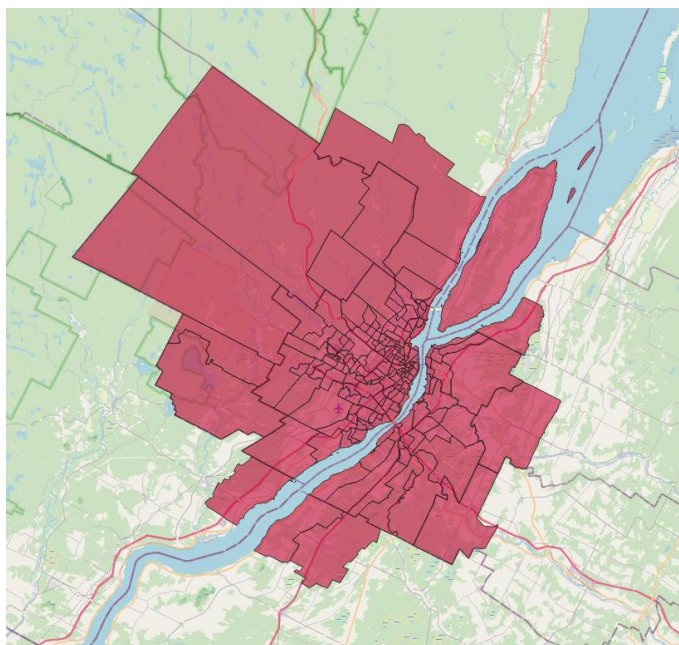


Figure 3.7 : Secteurs de recensement de la RMR de Québec

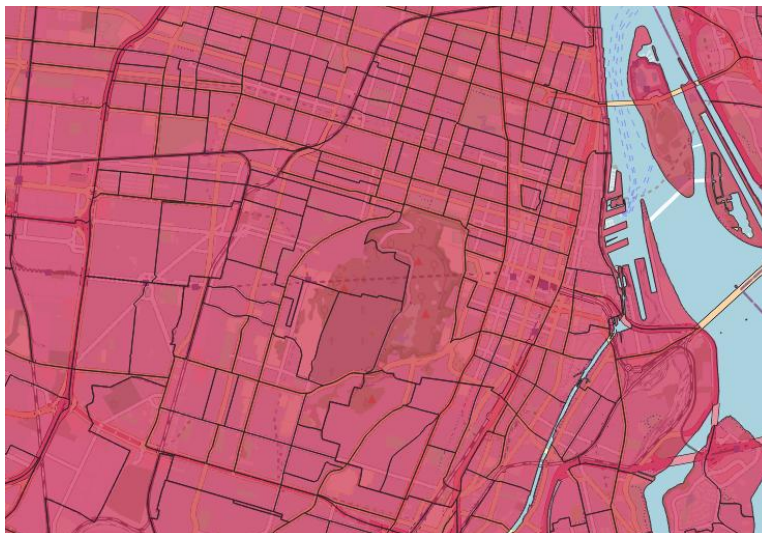


Figure 3.8 : Secteurs de recensement au centre de la RMR de Montréal

Les subdivisions de recensement sont plutôt calquées sur les divisions municipales, quant à elles. Cela signifie que la ville de Montréal est une subdivision entière, tout comme l'est une municipalité de banlieue telle que Pointe-Calumet, ou encore un village plus rural. Un exemple de subdivisions de recensement est donné par la Figure 3.9.

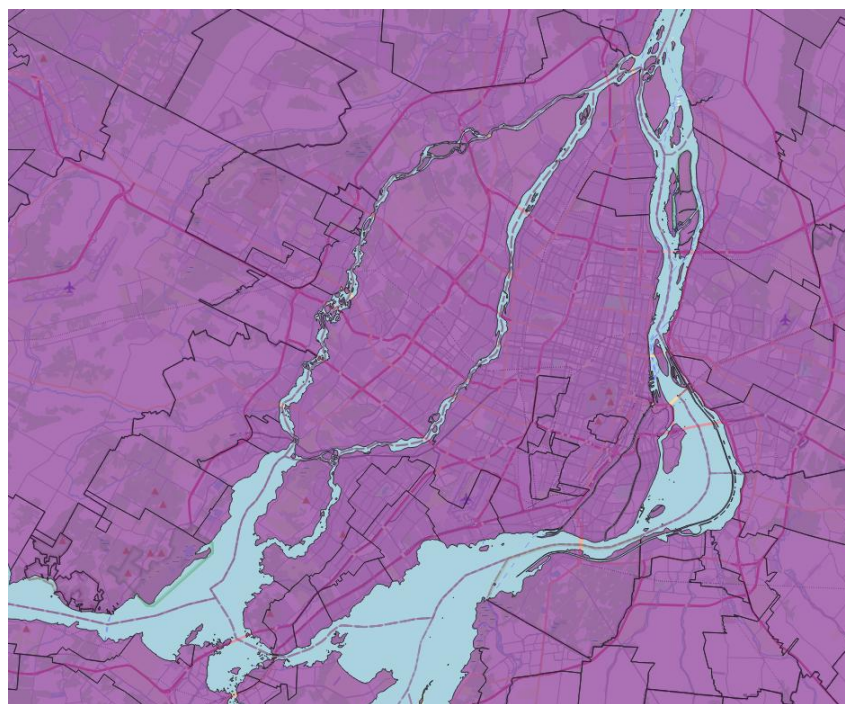


Figure 3.9 : Subdivisions de recensement de la RMR de Montréal

Finalement, l'aire de diffusion a une population de 400 à 700 personnes environ. Elle peut englober un seul pâté de maison dans des zones urbaines, comme à la Figure 3.10, tout comme de larges zones moins peuplées de plusieurs dizaines de kilomètres carrés, même dans la RMR de Montréal, tel que dans la Figure 3.11. Les aires de diffusion sont formées d'îlots de diffusion. Ceux-ci sont formés à partir du réseau routier et sont la plus petite subdivision disponible dans les fichiers du recensement. Même en zone rurale, les îlots représentent de petites superficies. Ils sont particulièrement importants au niveau démographique, car c'est la seule échelle territoriale qui comprend des données de population dans les fichiers du recensement (Gouvernement du Canada, 2021a). Une partie des îlots de recensement est montrée en détail par la Figure 3.12.

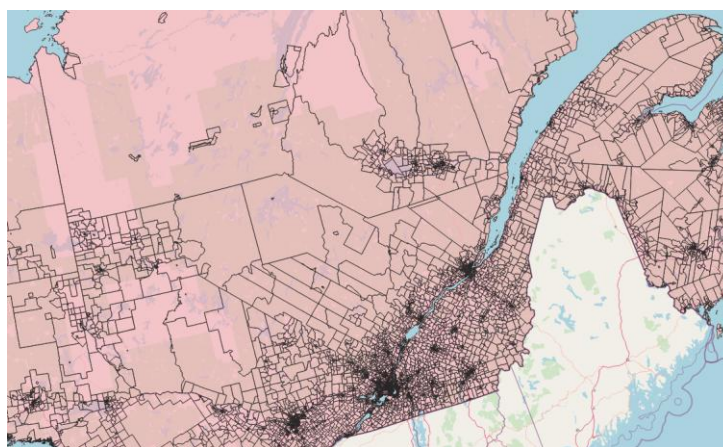


Figure 3.10 : Aires de diffusion du recensement de 2021 au sud du Québec



Figure 3.11 : Aires de diffusion à Montréal



Figure 3.12 : Îlots de recensement à Montréal

Toujours à partir des produits du recensement, des données démographiques sont aussi utilisées pour établir ce qui a trait à la population, notamment la densité et la distribution géographique de la population sur le territoire. Le fichier des attributs géographiques (Statistique Canada, 2022) permet de relier divisions géographiques du recensement et population. Pour ce faire, la population est donnée pour tous les îlots de diffusion, ainsi que les divisions de plus haut niveau qui contiennent chaque îlot. Il est donc possible de faire la somme de la population des îlots d'une subdivision de recensement, par exemple, afin d'en obtenir la population totale. Comme le fichier des attributs géographiques contient aussi les coordonnées des points représentatifs des îlots, il est possible de calculer le centre de gravité de la population des subdivisions d'ordre supérieur aussi à l'aide d'une moyenne des coordonnées pondérée par la population des îlots.

C'est ce qui a été fait dans le cadre de ce projet afin d'obtenir les centres de population des aires de diffusion au Québec. Avec la position des centres de gravité des îlots de diffusion et leur population, un script Python a été utilisé pour faire une moyenne pondérée par la population des centres de gravité des îlots composant chaque aire de diffusion. En itérant au-travers des aires de diffusion et des îlots associés, on peut obtenir les centres de population des aires de diffusion. Ce script a été adapté pour fournir les centres de population des secteurs de recensement, des subdivisions de recensement, des aires de diffusion unifiées et des secteurs de recensement unifiés au besoin.

3.1.3 Autres outils utilisés

Lors de la collecte et de l'analyse des données de transport en commun sous le format GTFS et des données du recensement, les principaux outils utilisés étaient GTFS Viewer et GTFS Validator dans le cas des GTFS ainsi que QGIS pour les données du recensement. Une description plus détaillée des fonctionnalités et avantages de GTFS Viewer et GTFS Validator est présentée en section 3.1.1.4. En plus de ces outils, divers scripts Python ont été écrits selon les objectifs au fur et à mesure de l'avancement de la méthodologie, notamment pour calculer les centres de population des divisions du recensement. Le développement de ces scripts s'est fait à l'aide de l'éditeur de code Visual Studio Code et a utilisé diverses libraires Python, notamment csv, pandas, datetime, pyproj, geopy, haversine, requests et docker.

Quelques autres outils sont aussi dignes de mention. Dans le cadre de la création des flux GTFS, l'éditeur de texte en source libre Notepad++ a été utilisé. Cet outil est une version plus avancée du bloc-notes fourni par Windows, entre autres grâce à son surligneur de syntaxe et les possibilités plus développées de sélection de texte, qui ont été fort utiles pour faire des modifications en bloc sur des fichiers individuels de flux GTFS. QGIS a servi à visualiser les données tirées du recensement, mais aussi les résultats de la méthodologie en permettant de produire des cartes à partir du positionnement des gares et de l'analyse des données géographiques et démographiques.

L'outil le plus important tout au long de ce projet demeure Transition, la plateforme de planification et simulation de réseaux de transport en commun développée par la Chaire Mobilité. Cet outil possède plusieurs fonctionnalités, notamment l'affichage de réseaux réels ou planifiés. Il est aussi possible de faire des calculs d'itinéraires un par un ou en groupe à l'aide de fichiers CSV. On peut également y comparer différents scénarios de service et y réaliser des cartes d'accessibilité.

La fonctionnalité d'importation de flux GTFS a permis de rassembler sur une seule plateforme les multiples fichiers GTFS trouvés en ligne ou rédigés. La fonctionnalité la plus utilisée a été celle des calculs multiples. Celle-ci permet de fournir un fichier CSV pour déclarer tous les calculs à faire par le moteur de calcul d'itinéraires en spécifiant les coordonnées des origines et destinations, ainsi que l'heure à laquelle les déplacements sont faits.

Pour la conception des fichiers CSV servant aux calculs multiples, ainsi que leur analyse subséquente, plusieurs scripts Python ont été écrits. Cela a été nécessaire car la taille des fichiers CSV résultant des calculs dépassait souvent la taille maximale permise par Excel. Si celui-ci a été le logiciel privilégié pour faire des analyses sur des jeux de données de plus petite taille, la plupart des résultats ont nécessité de soit faire un premier tri par un script Python ou bien d'en faire l'analyse complète. La librairie pandas a été particulièrement utile pour réaliser ces deux parties.

Un exemple de tri réalisé à l'aide de pandas concerne par exemple les calculs de trajets entre les centres de population des aires de diffusion. Un premier tri naïf avait été fait en éliminant les paires de centres de population dont la distance à vol d'oiseau était trop grande, mais le nombre de paires OD était encore trop grand pour être analysé par Excel. En plus du script Python rédigé pour écrire le fichier CSV servant au calcul multiple, un autre script a été conçu pour séparer ce fichier en plusieurs lorsqu'il était trop gros. Une fois les calculs faits par Transition, un deuxième script utilisait la librairie pandas pour seulement garder les paires OD dont le temps de parcours était sous un certain seuil. L'élimination des paires OD dont la distance était sous le seuil à vol d'oiseau mais dont le temps de parcours dépassait le seuil calculé avec les distances réseau a permis de suffisamment réduire la taille du fichier de résultats et d'ainsi permettre son analyse dans Excel.

Des tentatives d'utiliser des instances locales d'Open Source Routing Machine (OSRM) à l'aide de conteneurs Docker ont été prometteuses, mais le temps d'exécution des calculs demandés était trop long. Ces calculs ont été déplacés vers Transition et les scripts se fiant aux calculs d'OSRM ont été adaptés afin d'utiliser les résultats sous forme de fichiers CSV plutôt que les réponses d'appels faits à l'API des instances locales d'OSRM. Toujours dans le domaine des calculs d'itinéraires, OpenStreetMaps et Google Maps ont permis de rapidement visuellement vérifier, valider et comparer les résultats des calculs de Transition, que ce soit la position de certains points, les temps de parcours ou les GTFS.

Les outils d'intelligence artificielle tels que les modèles de langage n'ont pas été utilisés dans le cadre de ce projet. Bien qu'ils aient peut-être pu accélérer la rédaction des flux GTFS inexistant, les différences entre les formats de publication en PDF des horaires des opérateurs de transport interrégional auraient généré assez de divergences et nécessité trop de validation pour que ces outils fassent gagner du temps.

3.2 Diagnostic de l'offre de transport en commun longue distance

Le diagnostic de l'offre de transport en commun longue distance a principalement été fait par l'entremise de Transition et de sa fonctionnalité de calculs multiples. Transition permet de spécifier plusieurs paramètres lors de ces calculs. D'abord, il faut spécifier les modes avec lesquels faire les calculs, soit la voiture, la marche, le vélo, le bus de banlieue, le bus urbain ou le transport collectif. Les deux options de bus utilisent une approximation en empruntant le réseau routier comme une voiture, mais avec une vitesse plus lente. Pour avoir un résultat qui reflète la réalité, il faut utiliser l'option transport collectif et avoir importé les flux GTFS appropriés.

Les paramètres suivants incluent le temps d'attente minimum pour prendre en compte les variations des passages des véhicules par rapport aux horaires planifiés. On retrouve aussi les temps maximums d'accès à l'origine, à la destination et aux transferts. Ces valeurs précisent le temps maximum à pied pour accéder au premier arrêt de transport en commun du trajet, à la destination ou changer de véhicule. Il est aussi possible de demander de ne pas attendre plus qu'un certain temps au premier arrêt lors d'un trajet, de donner plusieurs alternatives au trajet demandé ou bien de donner le détail de chaque étape du parcours.

Deux séries de calculs ont été faites à l'aide de Transition. Pour mesurer les composantes d'accès et de sortie des déplacements interurbains, la première série a pris les centres de population des aires de diffusion comme origines. Chaque centre de population s'est vu assigner l'arrêt de transport en commun longue distance qui lui était le plus proche à vol d'oiseau comme destination. Les arrêts de transport en commun longue distance retenus sont ceux qui étaient inclus dans les flux GTFS de VIA Rail et des opérateurs privés de transport en commun interrégional, comme Maheux ou Orléans Express. Il a fallu se limiter à assigner les centres de population aux arrêts les plus proches à vol d'oiseau en raison du nombre de calculs trop élevé pour déterminer avec précision la distance réseau entre les arrêts et les centres de population. Les itinéraires entre les centres de population et les arrêts ont été calculés pour la voiture, le transport collectif et la marche à toutes les heures de la journée. Avec 13605 aires de diffusion peuplées et 24 heures dans une journée, cela a demandé 326520 calculs d'itinéraires sur trois modes de transports. S'il avait fallu calculer les distances réseau plutôt qu'à vol d'oiseau, cela aurait nécessité plus de 132 millions de calculs d'itinéraires, ce qui représente une durée de calcul de l'ordre des semaines.

La deuxième série de calculs a servi à calculer les temps de déplacement entre les arrêts de transport en commun longue distance. Cela aurait pu se faire simplement en consultant les horaires utilisés pour rédiger les flux GTFS des opérateurs d'autocars, mais Transition permet de faire une analyse plus exhaustive et systématique des temps de parcours, en plus de fournir une comparaison par rapport à la voiture. Les origines et destinations sont donc les 406 arrêts pour les 24 heures de la journée, ce qui donne près de 4 millions de calculs d'itinéraire, mais sur un seul mode de transport cette fois.

Le premier groupe de calculs permet donc de déterminer les temps de parcours de la composante d'accès au transport en commun longue distance, qui peut parfois être aussi longue que le déplacement inter-arrêts lui-même. Le deuxième groupe représente le temps entre les arrêts. Celui-ci est par exemple le déplacement entre la gare Centrale à Montréal et la gare du Palais à Québec, alors que l'accès représenté par le premier groupe de calcul serait par exemple de se rendre à pied à un arrêt de bus, puis prendre un bus pour se rendre à une station de métro, puis le trajet de métro jusqu'à Bonaventure, puis la marche entre Bonaventure et la gare Centrale.

L'analyse des résultats fournis par Transition par rapport aux calculs d'itinéraires a ensuite été réalisée par le moyen de tableurs Excel ou de scripts Python utilisant la librairie pandas. Les attributs des résultats des calculs multiples de Transition ont été analysés, d'abord en tant que tels, puis en fonction de leur localisation ou non dans une région métropolitaine ou non. Cela avait pour but d'étudier l'effet d'habiter ou non dans une RMR sur l'accessibilité au transport en commun longue distance.

Le fichier des résultats des calculs multiples de Transition comprend plusieurs informations. Un identifiant unique en plus des informations fournies lors de la demande de calcul sont affichés. Un code de statut du calcul est aussi donné. Leur fonctionnement est expliqué en section 4.2.1. Peu importe le résultat du calcul en transport en commun, le temps de parcours et la distance en voiture et à pied sont données, si ces modes ont été choisis dans l'interface de Transition lors du début du calcul.

Toutefois, si le calcul d'itinéraire en transport en commun trouve un trajet réalisable, plusieurs autres statistiques sont calculées. On y retrouve évidemment les temps de départ et d'arrivée pour le trajet, et donc le temps de trajet total aussi. Ce temps de départ est le temps optimisé, de la même façon qu'un trajet dont le départ demandé est à 8h00 aura comme meilleur

itinéraire un trajet dont le départ est à 8h04, par exemple. La différence entre le temps de départ souhaité et le temps de départ optimisé est aussi donné par le calculateur de Transition. Le temps total est aussi segmenté en différents attributs. On retrouve le temps en véhicule, le temps passé en dehors du transport en commun, le temps d'attente, le temps de correspondance, le temps d'accès et le temps de sortie des trajets. Les distances associées à toutes ces composantes des trajets sont également présentées dans le fichier de résultats. Puis, d'autres caractéristiques spécifiques au transport en commun sont calculées, soit le nombre d'embarquements et de correspondances ainsi que les modes et les lignes empruntés.

Finalement, un dernier script a permis de calculer de façon approximative les temps de parcours entre les principaux arrêts de transport en commun interrégional. Les arrêts retenus étaient la gare d'autocars de Berri à Montréal, la gare du Palais et la gare d'autocars de Sainte-Foy à Québec, la gare d'autocars de Sherbrooke, la gare d'autocars de Trois-Rivières ainsi que les arrêts du motel Adam et de la place du Portage à Gatineau. Puisque les temps d'accès à ces arrêts ont déjà été calculés pour les aires de diffusion dont ce sont les arrêts les plus proches à vol d'oiseau, les temps de parcours totaux ont seulement été calculés pour ces mêmes aires de diffusion. Pour calculer les temps de parcours totaux, le temps de parcours le plus court à l'horaire entre les arrêts interrégionaux a été additionné aux temps d'accès à ces arrêts de chaque paire d'aires de diffusion dont l'arrêt interrégional le plus proche à vol d'oiseau est l'un des deux arrêts étudiés. Ainsi, seules les paires d'arrêts interrégionaux étant reliés sans correspondance ont été étudiés.

3.3 Emplacement des stations

Le problème d'emplacement des stations est la suite logique de l'analyse des aires de diffusion, puisque la méthodologie de choix de localisation se base sur les caractéristiques géographiques et démographiques des aires de diffusion. Plusieurs attributs ont été utilisés de diverses façons au cours du développement de la méthodologie. Celle-ci a connu plusieurs itérations au cours du projet.

Le problème se concentre ici sur le territoire du Québec, puisque c'est celui-ci qui a été analysé. Les données géographiques utilisées sont disponibles pour l'ensemble du Canada. Cependant, une analyse au niveau canadien aurait impliqué une quantité phénoménale de flux GTFS et d'aires de diffusion supplémentaires, ce qui veut dire des calculs beaucoup plus exigeants en temps ou en ressources informatiques.

À l'heure actuelle, le Québec compte sur le réseau ferroviaire de VIA Rail et quelques compagnies privées d'autocar pour assurer l'ensemble du transport en commun interrégional sur son territoire.

Ali Zadeh (2022) a déjà compilé les corridors de demande en transport au Québec selon la population des deux villes impliquées, la distance entre ces deux villes ainsi que leur emplacement par rapport au fleuve Saint-Laurent. Celui-ci a défini comme villes principales les villes de plus de 100000 habitants, soit Montréal, Ottawa – Gatineau, Québec, Sherbrooke, Saguenay et Trois-Rivières. Les villes moyennes ont entre 50000 et 100000 habitants, donc il s'agit de Drummondville, Granby, Saint-Hyacinthe, Rimouski et Shawinigan. Il y a donc déjà un cadre théorique sur la construction d'un réseau à partir de données démographiques, mais l'emplacement des stations doit encore être défini.

3.3.1 Méthodologie incrémentale

La méthodologie de choix d'emplacement des stations a été développée de manière incrémentale afin de pouvoir avoir une série de solutions de plus en plus précises en fonction de critères de plus en plus précis. L'utilisation d'une méthodologie incrémentale a permis de s'assurer de la faisabilité de solutions demandant moins de ressources informatiques et temporelles avant de s'attaquer à des tentatives de solution demandant des calculs plus complexes.

Un script Python a été utilisé afin de compiler les centres de population des différentes divisions du recensement. Puisque seuls les îlots de diffusion ont les données de population, ils ont été utilisés pour calculer les centres de population. Une moyenne pondérée du centre géographique des îlots compris dans chaque division géographique du recensement. Cette moyenne est pondérée par la population de chaque îlot, ce qui évite d'avoir des centres de population non-représentatifs lorsqu'une division comporte des îlots beaucoup plus peuplés que d'autres. Ce sont donc ces centres de population des SDR et SR ou des AD qui sont considérés comme les emplacements potentiels des stations de transport en commun interrégional. De plus, en concevant ce script, la somme de la population des îlots est ajoutée en tant qu'attribut à la division du recensement afin de faciliter de futurs calculs.

Afin de rendre les titres de la section suivants plus concis, un code sera employé. Celui-ci sera du format Tri—Élimination—Critère. Le tri peut concerner les subdivisions et secteurs de

recensement ou bien les aires de diffusion. L'élimination spécifie quelles aires de diffusion sont enlevées de la liste des AD candidates lorsqu'une nouvelle station est placée. Le critère est ce qui détermine quand arrêter de placer de nouvelles stations. L'ensemble des codes est présenté dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Noms des chapitres de la section 3.1.1

Séquence	Tri	Élimination	Couverture de la population	Score minimal requis	Code
1	Densité des SR/SDR	10 km à vol d'oiseau	100%	N/A	DensSRSDR— 10oiseau—100pop
2	Densité des AD	10 km à vol d'oiseau	75%	N/A	DensAD— 10oiseau—75pop
3	Densité des AD	20 minutes de marche	75%	N/A	DensAD— 20marche—75pop
4	Score des AD	30 minutes à vélo	100%	N/A	ScoreAD— 30vélo—100pop
5	Score des AD	30 minutes à vélo	N/A	30%	ScoreAD— 30vélo—30score
6	Score des AD	30 minutes à vélo	N/A	10%	ScoreAD— 30vélo—10score
7	Score pondéré des AD	30 minutes à vélo	N/A	10%	ScorePondéréAD— 30vélo—10score
Finale	Score pondéré des AD	30 minutes à vélo	75%	10%	ScorePondéréAD— 30vélo— 75pop10score

3.3.1.1 DensSRSDR—10oiseau—100pop

Pour commencer, les divisions utilisées étaient les SR et les SDR selon s'il s'agit d'une zone urbaine ou rurale. Ces divisions du recensement ont d'abord été choisies en raison d'un oubli. Il fallait s'assurer que la population des divisions soit disponible, mais seuls les îlots de diffusion incluent cette donnée dans les fichiers du recensement disponibles en ligne par l'entremise de Statistiques Canada. Toutefois, cette division est à très petite échelle et aurait mené à des calculs interminables en raison de la quantité énorme d'îlots au Québec. Ayant accidentellement oublié la division tout juste au-dessus hiérarchiquement, c'est-à-dire les aires de diffusion, la méthodologie s'est donc d'abord arrêtée sur les SR et SDR, qui sont donc deux niveaux de division au-dessus des îlots de diffusion.

Les SDR et SR ont été classés en utilisant la densité de population. Il s'agit d'une mesure directement liée à l'achalandage, mais la façon dont elle calculée a posé quelques problèmes. La façon de diviser le territoire en secteurs n'est pas uniforme. Certains regroupent en un périmètre très restreint quelques tours d'habitation, alors que d'autres regroupent de larges zones industrielles avec des quartiers résidentiels sur une dizaine de kilomètres carrés. Par exemple, dans l'arrondissement de Saint-Laurent, un secteur regroupe une quinzaine de hauts immeubles d'appartements entre le boulevard Deguire et l'autoroute 15, tandis qu'un autre secteur à 3 kilomètres rassemble à la fois les bureaux de Bombardier, une partie du quartier résidentiel Bois-Franc, le parc Marcel-Laurin, la zone industrielle entre l'autoroute 40 et la 520 ainsi qu'une piste d'atterrissage de l'aéroport Dorval. La densité de population des zones résidentielles de ce secteur est donc diluée dans la superficie occupée par les autres zones. Au contraire, la densité des immeubles du premier secteur est maximisée, puisque le secteur ne fait que le périmètre qui permet d'entourer les immeubles. Cette différence dans la façon de déterminer les superficies des aires de diffusion peut donc déformer l'interprétation des densités calculées et venir fausser la démarche. Malgré cela, puisqu'il s'agit de la première itération, la densité a été conservée.

Une fois les secteurs classés par densité, une station est assignée au secteur à la plus haute densité. Dans le cas des SR et SDR, il s'agit du périmètre formé par le boulevard Jules-Poitras, la rue Crépeau, la rue Quintin et le boulevard Deguire dans Saint-Laurent à Montréal. Les secteurs dont le centre de population est situé à moins de 10 kilomètres à vol d'oiseau du centre de population précédemment mentionné sont alors éliminés. Une station est alors assignée au centre

de population le plus dense n'ayant pas déjà une station et n'ayant pas été éliminé. Les centres de population dans un rayon de 10 kilomètres de ce nouveau centre sont à leur tour éliminés.

Pour cette première ronde, les assignations et éliminations subséquentes se sont poursuivies jusqu'à la couverture de l'ensemble de la population du Québec. Cela signifie donc que tout secteur dont le centre de population est à plus de 10 kilomètres à vol d'oiseau du centre de tout autre secteur se voit automatiquement assigner une station.

3.3.1.2 DensAD—10oiseau—75pop

Plusieurs changements ont été apportés pour la deuxième itération. D'abord, afin d'assurer une meilleure précision des calculs, les SR et SDR ont été remplacés par les aires de diffusion. La précision a été grandement améliorée, particulièrement en secteur urbain, car chaque secteur de recensement regroupe plusieurs aires de diffusion. En milieu rural, les subdivisions de recensement pouvaient correspondre géographiquement à une aire de diffusion ou bien en regrouper rarement plus de trois. En effet, les centres de populations des secteurs et subdivisions de recensement pouvaient être assez surprenants lorsque le SR ou la SDR comprenait plusieurs lieux habités éloignés les uns des autres et isolés par de la forêt ou un lac. Il était possible de se retrouver avec des stations positionnées en plein milieu d'une étendue d'eau, ou bien à des kilomètres de tout lieu habité. Utiliser les AD plutôt que les SR et SDR a donc permis d'éviter ce genre de situation.

Le reste de la méthodologie est resté assez similaire, c'est-à-dire qu'à chaque assignation, on ajoute la population des aires dont le centre de population est situé dans le rayon de 10 kilomètres. Seule nuance, ces assignations et éliminations se poursuivent jusqu'à ce que 75% de la population du Québec soit couverte par ces zones de 10 kilomètres de rayon, plutôt que l'entièreté de la population. Cela a été fait pour réduire le nombre de stations en évitant d'assigner une station à toutes les aires de diffusion plus isolées.

3.3.1.3 DensAD—20marche—75pop

La troisième itération est venue éliminer la zone-tampon de 10 kilomètres autour des stations choisies, tout en gardant le tri des aires de diffusion en fonction de leur densité. Au lieu de considérer toute la population dans un rayon de 10 kilomètres comme desservie, c'est plutôt la population à moins de 20 minutes de marche du centre de population de l'aire de diffusion choisie comme station qui était considérée comme desservie. Ce choix a été fait pour remplacer une

solution qui utilisait un chiffre de 10 kilomètres qui n'était pas ancré sur une quelconque base scientifique, mais qui servait plutôt de base pour valider le fonctionnement lui-même de la méthodologie. De plus, puisque la distance de 10 kilomètres était calculée à vol d'oiseau, elle ignorait totalement la configuration du réseau dans le calcul de la population desservie et pouvait donc fausser certains trajets entre deux aires de diffusion.

Cette itération ne s'est pas avérée fructueuse, car les aires de diffusion qui étaient considérées comme desservies lorsqu'une nouvelle station était placée n'étaient pas ôtées de la liste d'AD pouvant accueillir une station. Combiné au retrait de la zone-tampon de 10 kilomètres de rayon entre toute paire de station, cet oubli a fait en sorte que deux aires de diffusion voisines pouvaient accueillir une station de transport en commun de longue distance si leurs densités étaient assez grandes.

En effet, alors que les itérations précédentes éliminaient toutes les aires de diffusion à moins de 10 kilomètres des stations déjà attribuées, cette itération procède par élimination en fonction d'un temps de parcours. Or, celui-ci est de 20 minutes à pied, alors qu'une distance de 10 kilomètres correspond à deux heures de marche en ligne droite. En appliquant une tortuosité de 1,44, ce qui est le cas dans un réseau routier en grille, on obtient même 2 heures et 52 minutes à pied pour couvrir le rayon de 10 kilomètres dans le pire cas. Ainsi, la troisième itération élimine jusqu'à 74 fois moins d'aires de diffusion à chaque station placée.

Il faut dire que le seuil de 20 minutes à pied a été choisi dans le but de tester la faisabilité d'éliminer des aires de diffusion en fonction de temps de parcours plutôt que simplement avec une distance à vol d'oiseau, ce qui explique la divergence significative entre la couverture des stations assignées par la deuxième itération et celle de la troisième itération.

3.3.1.4 ScoreAD—30vélo—100pop

La quatrième itération de la méthodologie apporte un changement de paradigme sur la façon de classer les aires de diffusion et leurs potentielles stations. Au lieu de classer les aires de diffusion simplement par leur densité, on les classe par la population qui a accès au centre de population en un certain nombre de minutes. Ce faisant, on évite les cas d'aires de diffusion très densément peuplées, mais dont les alentours ne le sont pas, ou qui ne sont pas desservies par le transport en commun malgré leur densité.

Dès cette itération, ce n'est pas un nombre de minutes arbitraire qui est utilisé pour calculer la population ayant accès à une aire de diffusion, mais plutôt un score normalisé. Celui-ci est calculé en fonction des maximums pour chaque catégorie d'accès par la population. L'équation 4.1 montre plus clairement la formule utilisée pour calculer le score de chaque aire de diffusion. On prend la population qui peut atteindre le centre de population de l'aire de diffusion étudiée en moins de 30 minutes à pied que l'on divise par la population pouvant atteindre en 30 minutes à pied l'aire de diffusion qui a la plus grande population à moins de 30 minutes à pied. On y ajoute le même ratio pour la population à 25, 20, 15, 10 et 5 minutes, à pied et à vélo. On finit par ajouter à la somme toujours ce même type de ratio, mais sur la population même de l'aire de diffusion.

$$score_{AD} = \frac{pop_{marche_{30}}}{\max(pop_{marche_{30}})} + \frac{pop_{vélo_{30}}}{\max(pop_{vélo_{30}})} + \dots + \frac{pop_{marche_5}}{\max(pop_{marche_5})} + \frac{pop_{AD}}{\max(pop_{AD})} \quad 3.1$$

Comme chaque partie de la somme est normalisée sur le maximum, tout ratio est entre 0 et 1. Ainsi, en faisant la somme, le score des aires de diffusion est situé entre 0 et 13. 0 n'est pas compris dans l'intervalle possible, car cela voudrait dire que l'aire de diffusion étudiée n'a aucun habitant, alors que ce genre d'AD a été auparavant éliminé.

Les aires de diffusion sont donc classées en ordre décroissant de score. L'AD au plus haut score se voit attribuer une station, puis toutes les aires de diffusion dont le centre de population est atteignable en moins de 30 minutes de vélo à partir de l'AD au plus haut score sont éliminées. Ce seuil de 30 minutes à vélo est choisi en l'absence de calculs sur les itinéraires en transport en commun. Le temps de parcours à vélo est donc un proxy pour couvrir une distance supérieure à ce qui peut être confortablement fait à la marche, tout en couvrant une distance correspondant à un court trajet de voiture, taxi ou transport en commun. Transition utilise une vitesse moyenne deux fois plus élevée pour la voiture que pour le vélo, donc une zone de couverture de 30 minutes à vélo est similaire à une zone de couverture de 15 minutes en voiture, tout en montrant ce qui peut être fait exclusivement en transports actif et collectif. Le processus continue donc en attribuant une station à l'aire de diffusion restante dont le score est le plus grand. Cependant, on demande toujours de couvrir 100% de la population, donc les aires de diffusion isolées des autres se voient attribuer une station, même si leur score est très bas.

3.3.1.5 ScoreAD—30vélo—30score

La cinquième itération ajoute une limite au processus initié par la quatrième itération. Ici, seules les aires de diffusion dont le score était supérieur à 30% du score le plus haut étaient considérées. Il ne s'agit pas de garder seulement 30% des aires de diffusion, ce critère agit plutôt comme un filtre sur le score des aires de diffusion en gardant seulement les AD dont le score est au-dessus de 30% de l'étendue. À moins d'une distribution uniforme, cela ne gardera pas 30% des aires de diffusion.

Ainsi, le critère demandant à couvrir 100% de la population québécoise est raffiné, puisque qu'on enlève toutes les aires de diffusion qui n'atteignent pas suffisamment de population en moins de 30 minutes à pied et à vélo. Le seuil de population devient la population qui habite dans une aire de diffusion dont le score est au-dessus de 30% du maximum. Cela ne signifie pas que toutes les aires de diffusion avec un tel score auront une station, mais plutôt que l'on veut desservir une population équivalente. Ainsi, des AD dont le score est inférieur à 30% du maximum pourraient être couvertes. Cela fera en sorte que certaines AD au score suffisant ne soient pas couvertes, mais la quantité de population desservie resterait équivalent à la somme de la population des AD dont le score est au-dessus de 30%.

3.3.1.6 ScoreAD—30vélo—10score

Étant donné le déséquilibre de la distribution des scores des aires de diffusion, la sixième itération n'apporte qu'une modification mineure à la méthode employée au cours de la cinquième itération. Au lieu de ne considérer que les aires de diffusion dont le score est au-dessus de 30% de l'étendue, on élargit la base de stations potentielles en conservant toutes les aires de diffusion dont le score dépasse 10% du maximum. Cela permet d'avoir un plus grand bassin d'aires de diffusion pouvant devenir une station de transport en commun interrégional.

3.3.1.7 ScorePondéréAD—30vélo—10score

La septième itération introduit une amélioration au score calculé par l'équation 4.1. On y ajoute des coefficients pour chaque paire de termes de la somme ainsi que pour le dernier terme. On a donc un coefficient à la fois pour la population atteinte en 30 minutes de vélo et celle atteinte en 30 minutes de marche, puis un deuxième coefficient pour les populations atteintes en 25 minutes par ces deux modes, et ainsi de suite jusqu'à la population atteinte en cinq minutes par les deux

modes. On ajoute un septième coefficient pour la population de l'aire de diffusion elle-même. L'équation 4.2 illustre la nouvelle formulation du score, qui devient le score pondéré.

$$\begin{aligned} score\ pondere_{AD} = & \beta_1 \frac{pop_{marche_{30}}}{\max(pop_{marche_{30}})} + \beta_1 \frac{pop_{vélo_{30}}}{\max(pop_{vélo})} + \dots \\ & + \beta_6 \frac{pop_{marche_5}}{\max(pop_{marche_5})} + \beta_7 \frac{pop_{AD}}{\max(pop_{AD})} \end{aligned} \quad 3.2$$

Pour cette première itération avec un score pondéré, les coefficients sont conçus de manière linéaire. La population de l'aire de diffusion a un coefficient de 7, la population atteinte en cinq minutes a un coefficient de 6, et ainsi de suite jusqu'à la population atteinte en 30 minutes, qui obtient pour sa part un coefficient de 1. L'équation 4.3 montre l'équation 4.2 avec les coefficients utilisés.

$$\begin{aligned} score\ pondere_{AD} = & 1 * \frac{pop_{marche_{30}}}{\max(pop_{marche_{30}})} + 1 * \frac{pop_{vélo_{30}}}{\max(pop_{vélo})} + \dots \\ & + 6 * \frac{pop_{marche_5}}{\max(pop_{marche_5})} + 7 * \frac{pop_{AD}}{\max(pop_{AD})} \end{aligned} \quad 3.3$$

Afin de tester le fonctionnement de la pondération, on conserve le critère selon lequel les aires de diffusion doivent avoir un score d'au moins 10% du maximum, en échangeant le score pour le nouveau score pondéré. Il est aussi transformé pour faire en sorte qu'on épuise toutes les aires de diffusion correspondant à ce critère, plutôt que de couvrir une population aussi grande que la somme de la population des AD correspondant au critère, comme aux deux itérations précédentes.

3.3.2 Méthodologie finale (ScorePondéréAD—30vélo—75pop10score)

La méthodologie finale vient apporter un simple ajustement à la septième itération. Elle combine deux paramètres utilisés précédemment afin de déterminer le moment où terminer le processus. Certaines itérations s'arrêtaient lorsqu'un certain de seuil de population avait accès à une station interrégionale en moins de 30 minutes à vélo, alors que d'autres plaçaient toutes les stations ayant un score, pondéré ou non, plus élevé qu'un certain seuil. Le critère de 30 minutes à vélo est retenu comme proxy afin de se limiter à des trajets qui peuvent être faits sans voiture, mais qui peuvent tout de même rejoindre une plus grande population que des trajets faits seulement à

ped. Le critère de 75% de la population québécoise atteinte est utilisé afin de rejoindre et légèrement dépasser un objectif de la PMD.

Pour finaliser la méthodologie, on combine ces deux paramètres afin de placer des stations tant que l'on n'a pas atteint ce seuil de population et qu'il y a toujours des aires de diffusion avec un certain score disponibles. Ainsi, plus besoin de choisir entre ces deux critères, le premier atteint sera le facteur limitant. Pour leurs valeurs, on conserve la limite de 75% de la population du Québec afin de ne pas avoir à placer une station dans toutes les aires de diffusion isolées, ainsi que le critère d'avoir un score plus élevé que 10% du score maximum. De plus, on conserve l'élimination des aires de diffusion à moins de 30 minutes à vélo d'une station placée. Comme on épuise les aires de diffusion avec un score supérieur à 10% du maximum avant de donner accès à 75% de la population du Québec à une station interrégionale, les résultats seront les mêmes pour ces deux itérations, puisque la septième itération utilisait le score comme facteur limitant sur l'ajout de nouvelles stations.

CHAPITRE 4 RÉSULTATS

Cette section présente les résultats tirés de l'analyse des données géographiques et démographiques tirées du recensement, du diagnostic de l'accès au transport en commun interrégional en voiture et en transport en commun ainsi que de la méthodologie de positionnement des stations. Pour cette dernière partie, une représentation visuelle des résultats de chaque étape de la méthodologie décrite plus haut sera présentée, en plus d'analyser les effets de l'ajout de chaque nouvelle station ainsi que la population desservie.

4.1 Analyse des aires de diffusion

La subdivision de recensement utilisée dans la méthodologie est l'aire de diffusion. Celles-ci sont conçues pour avoir une population de 400 à 700 habitants, mais elles sont loin d'être uniformes. Elles sont au nombre de 13805 au Québec. Leur superficie varie entre quelques centaines de mètres carrés, par exemple à Oka ou Lac-Beauport, et 290000 kilomètres carrés dans le Nord-du-Québec.

4.1.1 Population

Sur les 13805 aires de diffusion du Québec, 13605 d'entre elles sont peuplées. Les 200 aires sans population sont concentrées dans le nord de la province, particulièrement sur la Côte-Nord, dans le Nord-du-Québec, ainsi que dans les réserves fauniques et parcs des Laurentides, de l'Outaouais, de la Capitale-Nationale et de la Gaspésie.

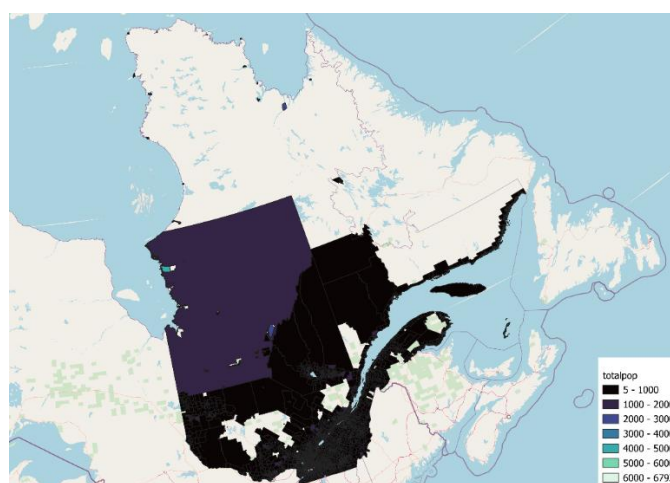


Figure 4.1 : Population par aire de diffusion au Québec en 2021

On peut aussi voir que la population de la Côte-Nord et du Nord-du-Québec est concentrée sur les côtes de ces deux régions respectives. La carte à la Figure 4.1 permet aussi de voir que la majorité des aires de diffusion ont une population comprise entre 5 et 1000 habitants, ce qui correspond à la définition de 400 à 700 habitants.

On peut voir sur la Figure 4.2 et la Figure 4.3 que les aires de diffusion ayant une population largement supérieure au seuil inscrit dans la définition sont concentrées dans les régions de Montréal et de Québec. Dans le cas de Québec, il s'agit surtout d'aires de diffusion ayant une plus grande superficie, donc des aires dont la densité n'est pas nécessairement plus haute que celle de leurs voisines. Dans la région de Montréal, cette situation se répète en banlieue, notamment à Mirabel et Laval, mais aussi dans quelques aires de diffusion plus petites situées en plein centre-ville.

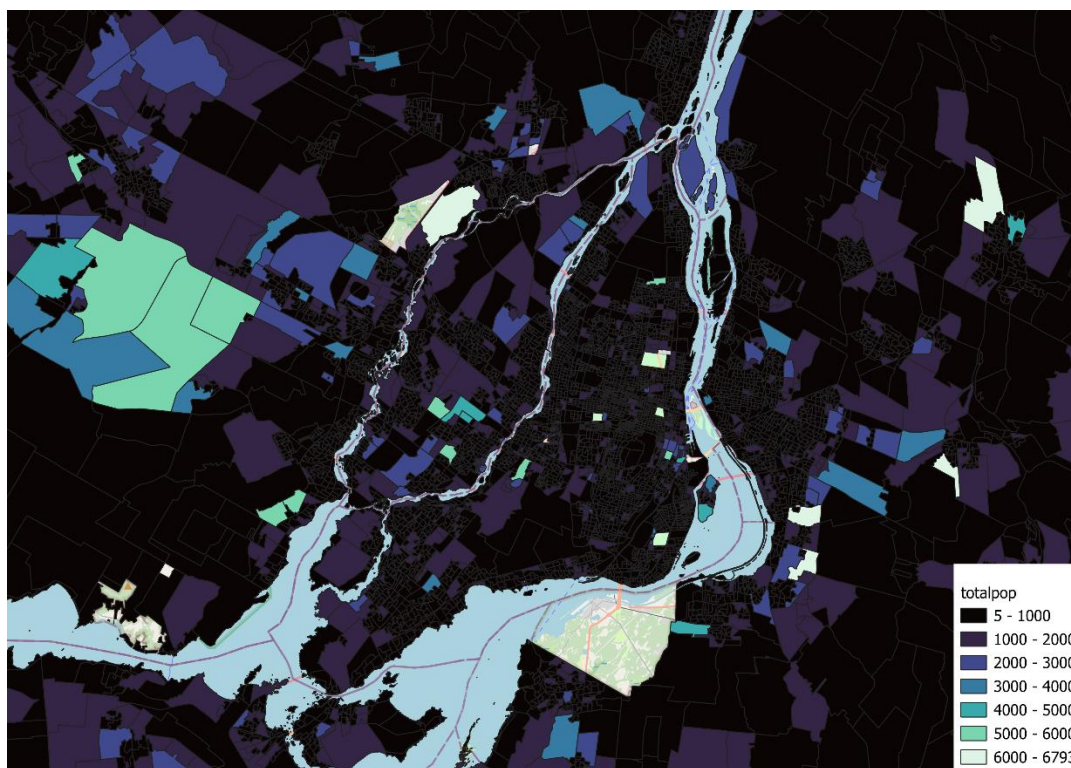


Figure 4.2 : Population des aires de diffusion de la région de Montréal en 2021

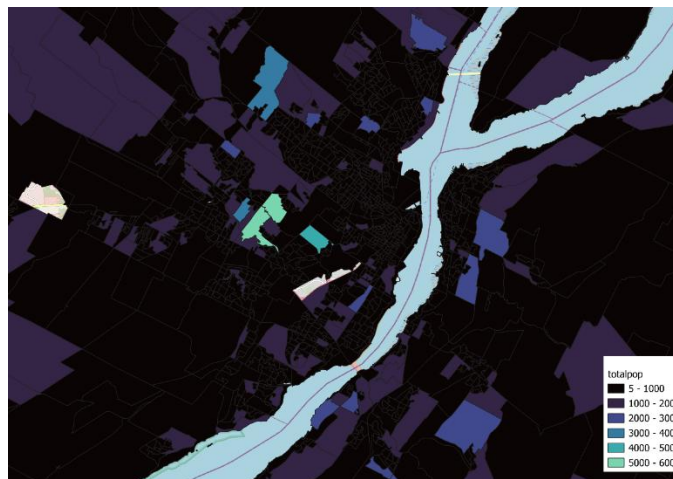


Figure 4.3 : Population des aires de diffusion de la région de Québec en 2021

En dehors de ces deux régions métropolitaines, quelques aires de diffusion plus peuplées sont présentes sur le territoire québécois. Il s'agit souvent d'aires situées légèrement en périphérie des centres-villes de villes moyennes. Ces aires de diffusion sont donc souvent beaucoup plus grandes que celles du centre-ville, mais avec une densité seulement légèrement inférieure, ce qui leur donne une population plus grande. Cette situation se produit notamment à Beloeil, Granby, Sherbrooke, Gatineau, Victoriaville, Drummondville, Saguenay et Trois-Rivières.

On retrouve aussi des aires de diffusion plus peuplées dans le nord de la province, puisque des réserves autochtones constituent au plus quelques aires de diffusion. Ainsi, Mistissini, Waskaganish et Chisasibi sont parmi les aires de diffusion les plus peuplées.

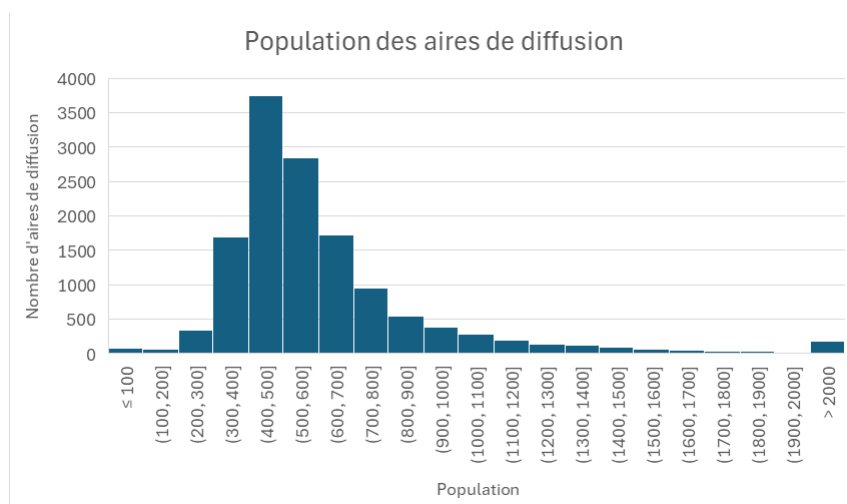


Figure 4.4 : Population des aires de diffusion au Québec en 2021

Comme la définition de l'aire de diffusion le stipule, la majorité des aires de diffusion ont entre 400 et 700 habitants, quoique plusieurs aires se situent dans la tranche des 300 à 400 habitants, et d'autres sont encore plus peuplées. Les trois plus peuplées ont autour de 6500 habitants et sont à Chambly, Terrebonne et Brossard. La distribution des populations a un pic entre 400 et 500 habitants.

Ensuite, chaque aire de densité a vu sa population recentrée sur un seul point à partir des données des îlots de diffusion dans le but de faire des calculs d'itinéraires. La carte à la Figure 4.5 illustre la localisation de ces centres de population. On peut y voir une autre représentation de l'occupation inégale du territoire au Québec, puisque la majorité des centres de population sont dans le sud de la province, et surtout en région montréalaise.

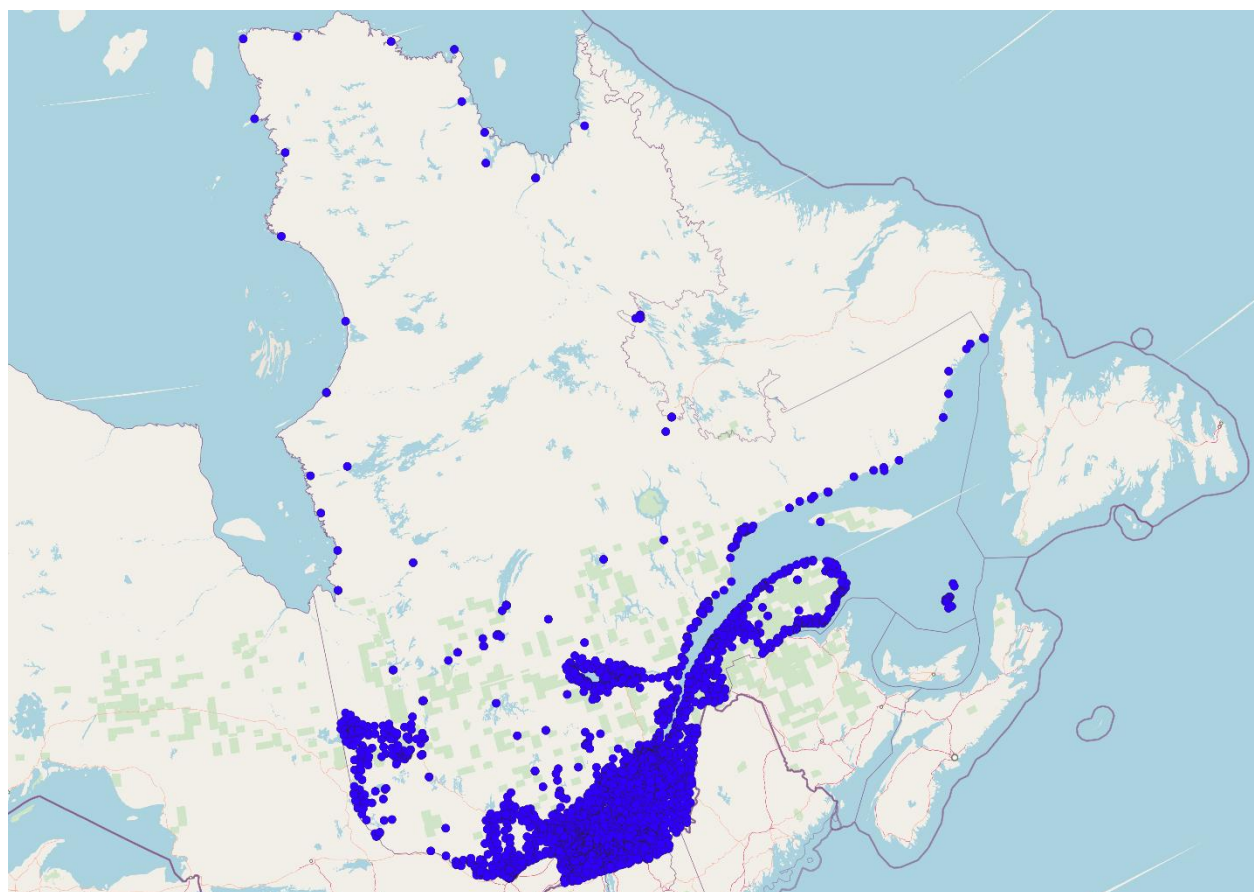


Figure 4.5 : Carte des centres de population des aires de diffusion

4.1.2 Densité

La densité de population au Québec varie grandement. La région métropolitaine de Montréal compte près de la moitié de la population totale. Quelques autres centres urbains concentrent une bonne partie de la population, notamment à Québec, Sherbrooke et Gatineau. À l'inverse, de larges portions du territoire québécois sont très peu peuplées.

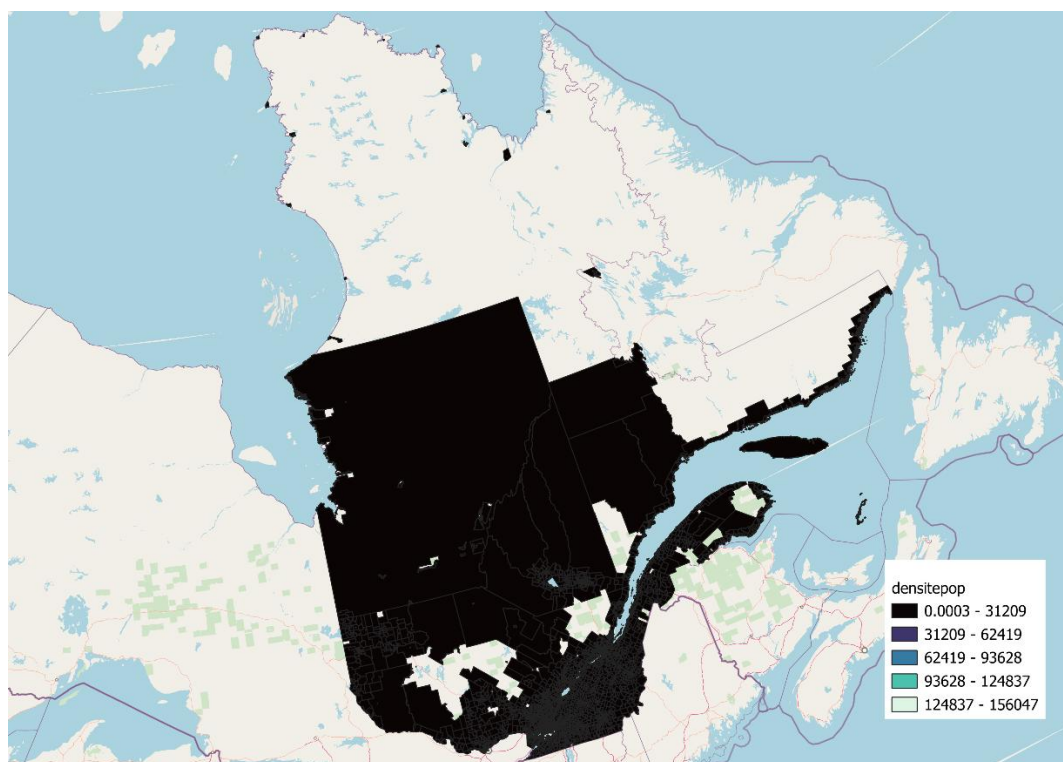


Figure 4.6 : Densité des aires de diffusion au Québec en 2021

Comme la carte de la Figure 4.1, les trous dans la Figure 4.6 représentent les aires de diffusion ne comptant aucun habitant. Ce sont principalement des parcs et des réserves fauniques. Toutefois, contrairement à la carte de population, la carte de densité est beaucoup plus uniforme. Dans le cas de la population des aires de diffusion, l'étendue est de 6793, alors qu'elle est de 156047 pour la densité. La carte de population a donc été divisée en sept catégories, soit par millier, alors que la carte de densité a été divisée en cinq intervalles égaux. L'omniprésence du noir sur cette carte illustre bien à quel point la grande majorité des aires de diffusion ont une très petite densité.

Alors que le Québec compte 13605 aires de diffusions habitées et 13805 au total, on peut voir sur la Figure 4.7 que seules 67 aires de diffusion entrent dans les quatre plus hauts intervalles de densité. Cela signifie donc que 99,5% des aires de diffusion au Québec ont une densité qui est inférieure au cinquième de la densité de l'aire de diffusion ayant la plus haute densité de la province. 66 de ces aires de diffusion sont sur l'île de Montréal, principalement dans les quartiers centraux (Saint-Laurent, Ville-Marie, Côte-des-Neiges), et la dernière est sur l'île du Tremblay, à Laval.

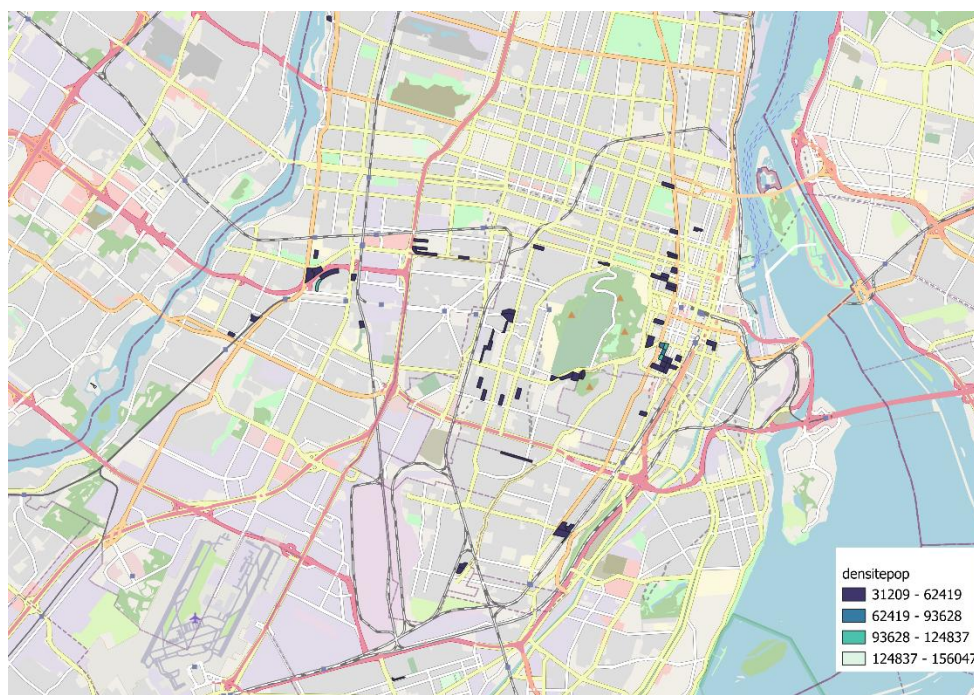


Figure 4.7 : Densité des aires de diffusion à Montréal en 2021 (2^{ème} au dernier intervalle)

Cette distribution est particulièrement remarquable, car lorsqu'on ôte le deuxième intervalle pour ne garder que les trois à la plus haute densité, il ne reste plus que six aires de diffusion. Comme l'indique la Figure 4.8, quatre d'entre elles sont contiguës et situées autour de la station de métro Guy-Concordia. Une autre est dans Saint-Laurent, entre Jules-Poitras et l'autoroute 15. La dernière, aussi la plus dense, est celle de l'île du Tremblay, à Laval.

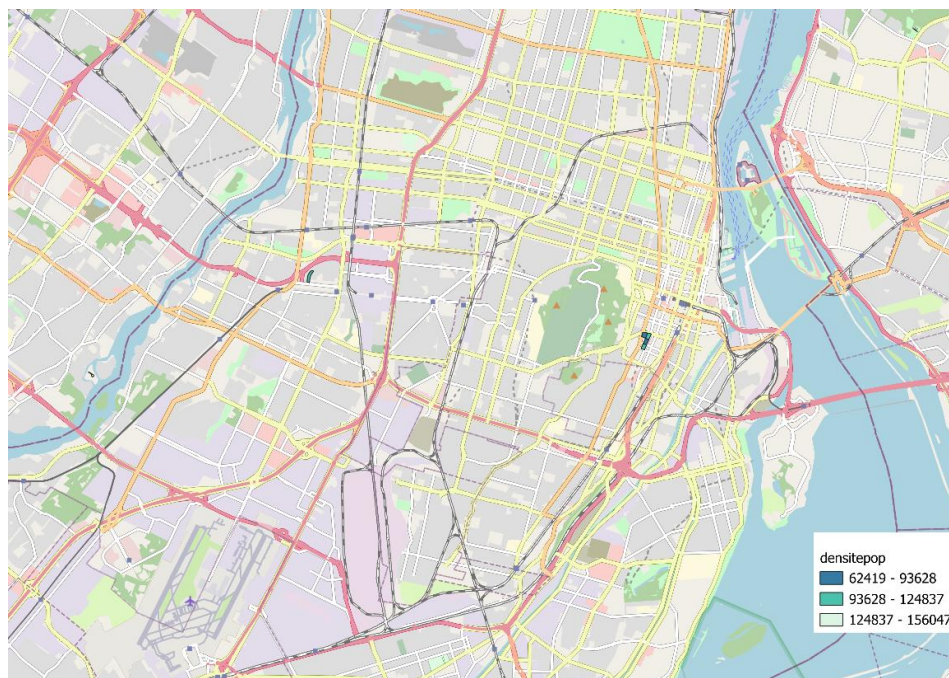


Figure 4.8 : Densité des aires de diffusion à Montréal (3^{ème} au dernier intervalle)

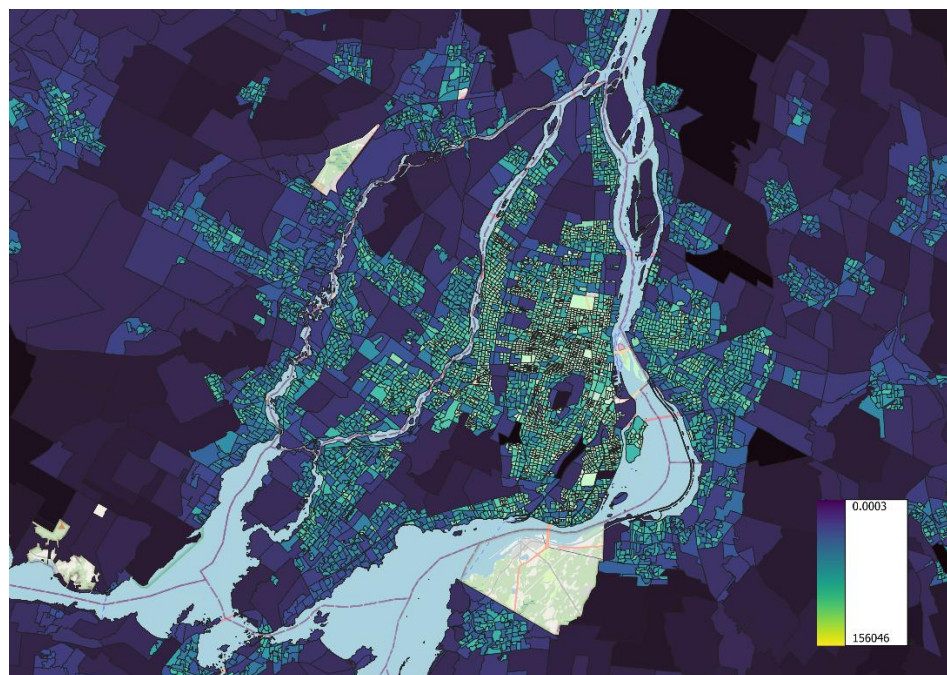


Figure 4.9 : Densité des aires de diffusion à Montréal (percentiles)

Aussi, en divisant la densité en percentiles, le 99^{ème} percentile est à 25106 habitants/km², ce qui est bien loin du maximum de 156046 habitants/km². La vaste différence entre ces quelques

aires de diffusion et le reste du Québec est particulièrement visible dans la Figure 4.10, qui représente la distribution de la densité. 3636 aires de diffusion ont une densité inférieure à 500 habitant/km², alors que seulement 283 accueillent plus de 20000 habitants au kilomètre carré. Aussi, à partir de 7000 habitants/km², le nombre d'aires de diffusion à ces densités reste bas.

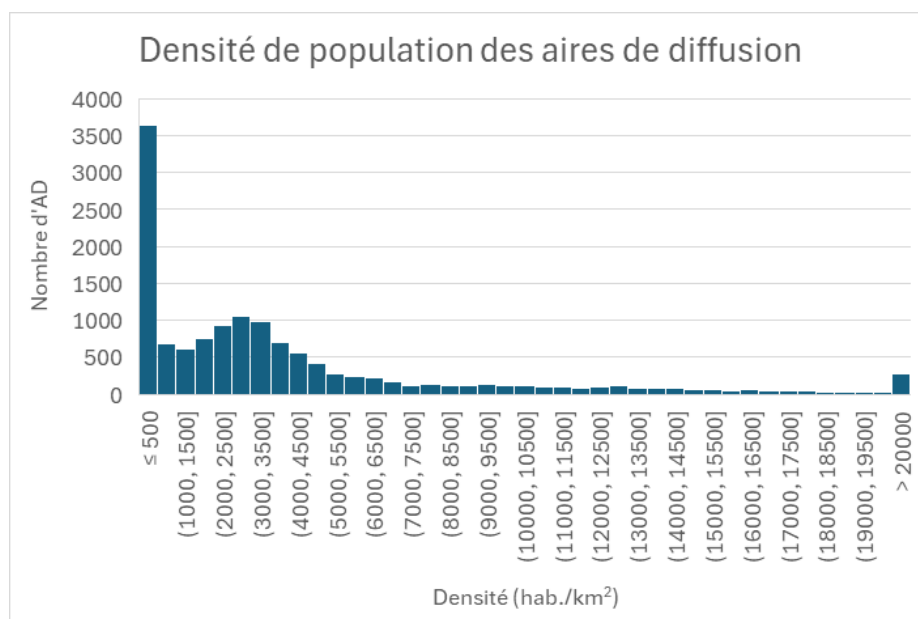


Figure 4.10 : Densité de population des aires de diffusion au Québec en 2021

Puis, la densité semble avoir un faible lien avec la population des aires de diffusion, comme le montre la Figure 4.11. On peut toujours voir les quatre aires de diffusion dont la densité est largement supérieure, mais celles-ci ont des populations entre 671 et 2017 habitants. En faisant abstraction de ces cas plus extrêmes, la plupart des aires de diffusion plus denses, c'est-à-dire d'au-dessus de 20000 habitants au kilomètre carré, ont une population d'entre 200 et 1000 personnes, avec quelques cas entre 1000 et 3000 personnes. On peut supposer que les aires de diffusion ayant une plus grande population ont aussi une plus grande superficie, ce qui leur donne une densité moyenne.

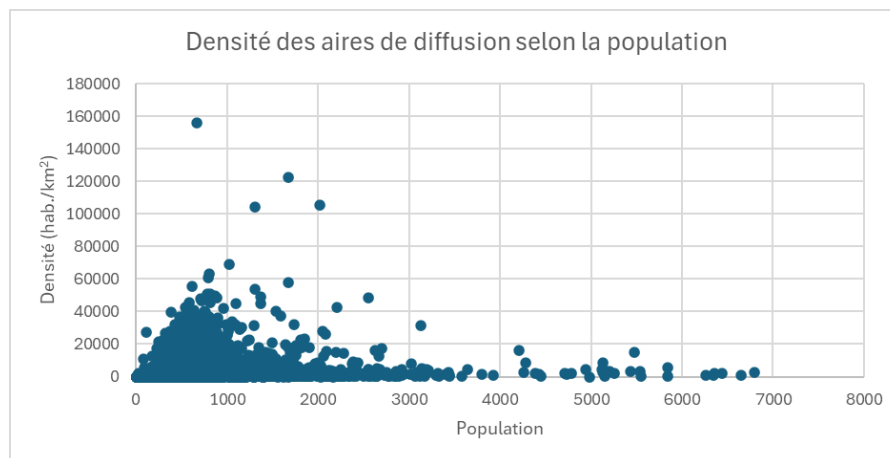


Figure 4.11 : Densité de population des aires de diffusion en fonction de la population

En tenant compte de tout cela et puisque la densité est souvent citée comme un facteur déterminant de l'achalandage du transport en commun, tel que décrit dans la section 2.3, les premières itérations de la méthodologie de positionnement des stations de transport en commun interrégional se basaient sur la densité comme statistique pour le choix des aires de diffusion où implanter une station. Toutefois, l'aire de diffusion la plus dense au Québec est celle située sur l'île du Tremblay, à Laval. Cette aire ne comprend que quelques blocs d'appartements, mais les aires qui l'entourent ne sont pas du tout aussi denses. De plus, il y a un seul arrêt de transport en commun dans cette aire de diffusion. Une seule ligne de bus y passe, et ce, une fois par heure seulement. Cette ligne prend 30 minutes pour se rendre au métro Cartier. Inutile de préciser qu'un tel service de transport en commun serait grandement déficient pour une station interrégionale. Les trois autres aires de diffusion seraient plus adéquates, puisqu'une est entre deux stations du REM et est desservie par la ligne 171 – Henri-Bourassa, une ligne de bus à haute fréquence, alors que les deux dernières sont à proximité de la station de métro Guy-Concordia. Cela montre que la densité n'est pas le seul attribut à considérer. Le voisinage et le service de transport en commun existant doivent aussi être pris en compte.

4.1.3 Scores d'accessibilité

Le score d'accessibilité de chaque aire de diffusion est basé sur la population qui peut y accéder en certains intervalles de temps à pied et à vélo. En théorie, la composante du score pouvant rassembler la plus grande population accessible est celle de la population atteignable en 30 minutes à vélo. La Figure 4.12 illustre la distribution des aires de diffusion selon cette population. On peut

y voir qu'une pluralité d'aires de diffusion a accès à moins de 20000 personnes en moins de 30 minutes à vélo. 1686 des 4319 aires de diffusion incluses dans cette catégorie n'ont accès à aucune autre aire de diffusion en moins de 30 minutes à vélo. Ainsi, même en excluant les aires de diffusion totalement isolées, les aires de diffusion ayant accès à moins de 20000 personnes en 30 minutes de vélo restent les plus courantes.

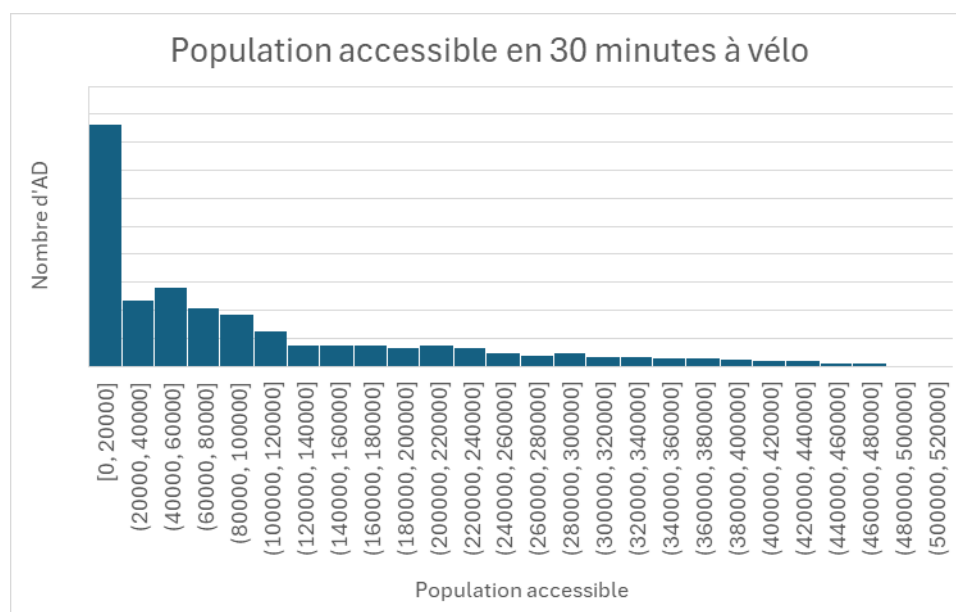


Figure 4.12 : Accès aux aires de diffusion en 30 minutes à vélo

Ensuite, la Figure 4.13 et la Figure 4.14 montrent la distribution du score d'accessibilité et du score d'accessibilité pondéré par la distance, respectivement. Comme on peut s'y attendre avec la distribution de la population accessible en moins de 30 minutes à vélo, une pluralité d'aires de diffusion a un score d'accessibilité sous 0,5 et un score pondéré sous 1. Pour rappel, le score peut être compris entre 0 et 13, alors que le score pondéré a une limite supérieure théorique de 49. On voit donc aussi qu'aucune aire de diffusion n'est proche de ces limites théoriques. Les maximums réels de ces deux mesures sont à respectivement 77% et 70% des limites théoriques.

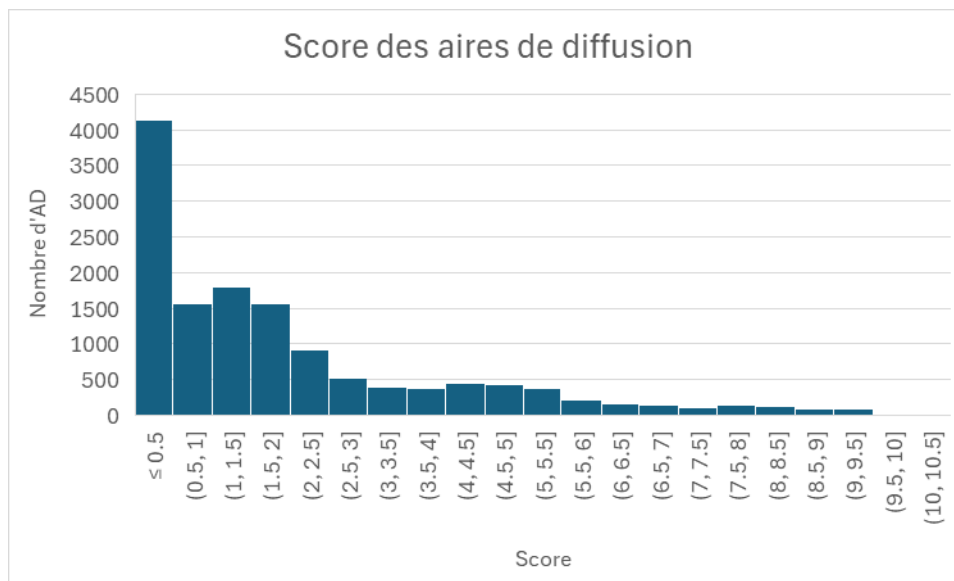


Figure 4.13 : Distribution du score d'accessibilité des aires de diffusion

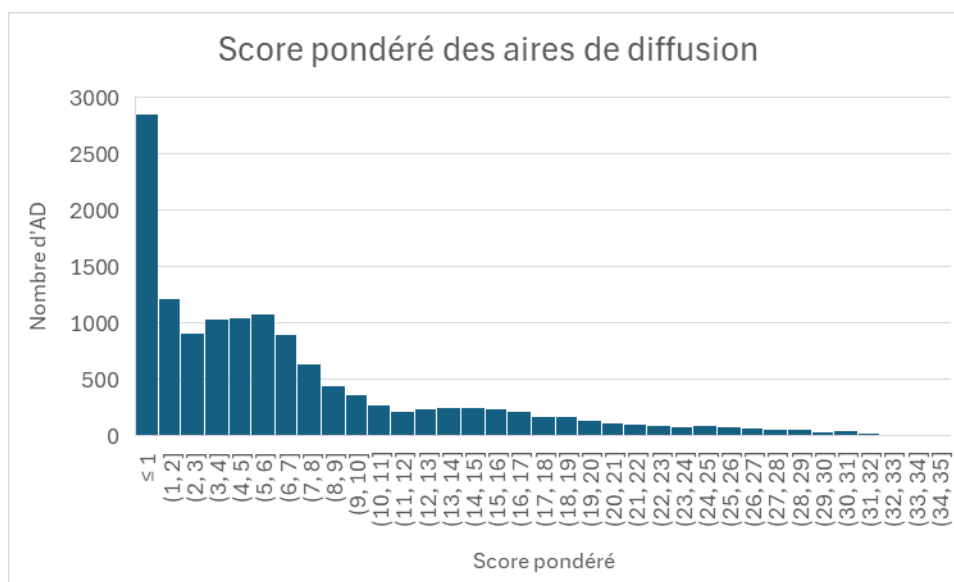


Figure 4.14 : Distribution du score pondéré des aires de diffusion

4.2 Diagnostic de l'offre de transport en commun longue distance

Après l'analyse du territoire et de la population au Québec, l'étape subséquente est d'étudier l'offre de transport en commun de longue distance. Avant même de comparer les performances du transport en commun par rapport à la voiture, comme discuté dans la section 2.1, il faut valider que la population ait simplement accès au transport en commun de longue distance. Avoir accès ne

veut pas seulement dire pouvoir prendre un bus pour aller d'une ville à l'autre par exemple. Il faut aussi que cette option soit viable, c'est-à-dire qu'elle puisse se faire dans un intervalle de temps raisonnable, entre autres. Les paires origine-destination étudiées ici sont au nombre de 326520. Les origines sont les centres de population des aires de diffusion du Québec, et la destination pour chaque aire de diffusion est l'arrêt de transport en commun interrégional le plus proche à vol d'oiseau. Les calculs d'itinéraires sont faits à chaque heure de la journée.

4.2.1 Fonctionnement des calculs de Transition

Tous les calculs ont été faits à l'aide de Transition, qui retourne alors un code de succès ou d'erreur du calcul. TRROUTING_QUERY_ERROR, à peine visible sur la Figure 4.15, a été retourné pour une paire origine-destination seulement, pour toutes les heures de la journée. Il s'agit donc d'un problème avec les paramètres entrés dans le calcul d'itinéraire. Ceux-ci comprennent les coordonnées de l'origine et de la destination, l'heure de la journée ainsi qu'un identifiant. Le problème, maintenant réglé, concerne le centre de population d'une aire de diffusion couvrant la partie ouest de l'aéroport de Mirabel, une moitié de Sainte-Scholastique ainsi qu'une partie de Saint-Canut. Lorsque l'origine du calcul fait sur Transition se situe dans une petite zone au nord-ouest de l'aéroport de Mirabel, le calculateur de chemin indique une erreur inconnue qui ne se reproduit pas sur OpenStreetMap ou OSRM. Il s'agit toutefois du seul itinéraire engendrant ce problème.

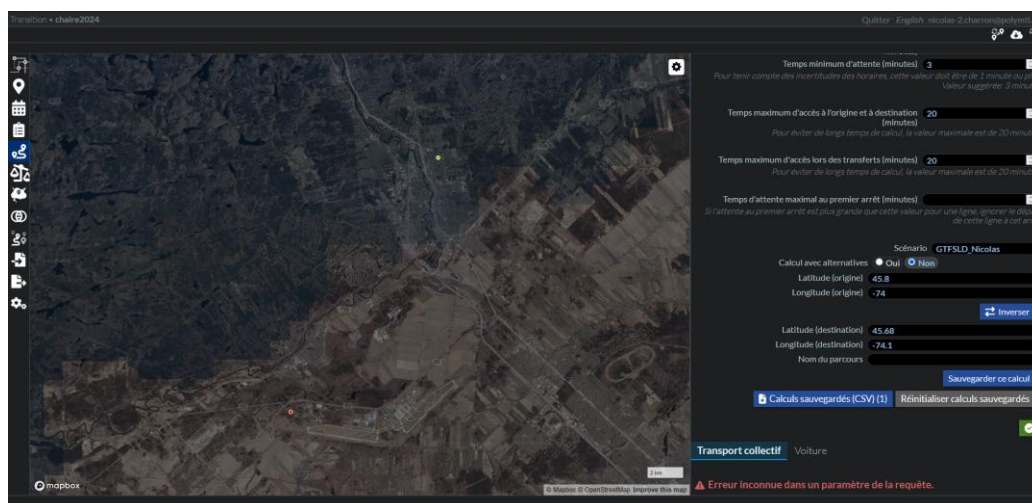


Figure 4.15 : Exemple d'itinéraire retournant TRROUTING_QUERY_ERROR

Le prochain code retourné par les calculs de chemin de Transition est celui de TRROUTING_NO_ROUTING_NO_SERVICE_FROM_ORIGIN. Celui-ci indique qu'il n'y a aucune connexion de transport en commun rejoignable à partir de l'origine en respectant les paramètres prévus. Tel peut être le cas lorsqu'il n'y a pas de service de transport en commun, ou lorsqu'on est en dehors des heures de service. Ce code est retourné dans le cas des aires de diffusion en Gaspésie, notamment, car le GTFS de la Régie intermunicipale de transport Gaspésie—Îles-de-la-Madeleine n'est pas disponible et n'a pas pu être rédigé dans le cadre de ce projet.

Un autre cas possible est celui où un arrêt de transport en commun est à proximité, mais que l'heure de départ spécifiée est en dehors des heures de passage du service de transport en commun local. Cela est le cas de plusieurs villes ayant un service de transport en commun local qui cesse de fonctionner durant la nuit. Puisque les calculs sont faits pour toutes les heures de la journée, un itinéraire disponible à midi ne le sera pas nécessairement à trois heures du matin.

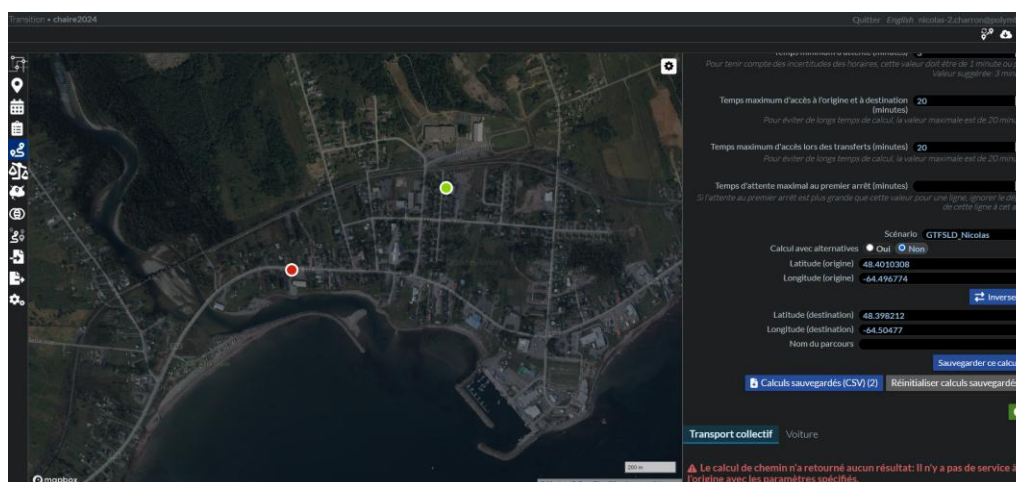


Figure 4.16 : Exemple d'itinéraire retournant le code Transition TRROUTING_NO_ROUTING_NO_SERVICE_FROM_ORIGIN

Cela peut aussi arriver lorsque l'origine est trop éloignée du réseau de transport en commun, comme ici alors que l'origine est dans un champ au sud de Saint-Bruno-de-Montarville. Ici, cela signifie qu'aucun arrêt de transport en commun n'est à moins de 20 minutes d'accès. On peut en voir un exemple sur la Figure 4.17, alors que Google Maps indique une marche de 27 minutes pour accéder à l'arrêt.

Dans de tels cas, le temps de parcours est à -1 seconde et la distance à -1 mètre. Pourtant, la carte affiche un trajet à la marche, mais les temps de parcours et la distance restent à -1 mètre.

Lorsqu'on déplace l'origine vers le début du trajet de marche affiché, le calculateur d'itinéraire retourne alors un résultat valide. Ici, OpenStreetMap peut calculer un chemin valide en supposant que l'origine est en fait au tronçon de route le plus proche de l'origine spécifiée. Les valeurs de temps de parcours et de distance y sont indiquées. Google Maps fait pareil, mais peut aussi inclure le transport en commun. Ainsi, même si l'origine est dans un champ, son calculateur assume que le déplacement se fait à partir du tronçon de route le plus proche et y inclut la distance et le temps de parcours.

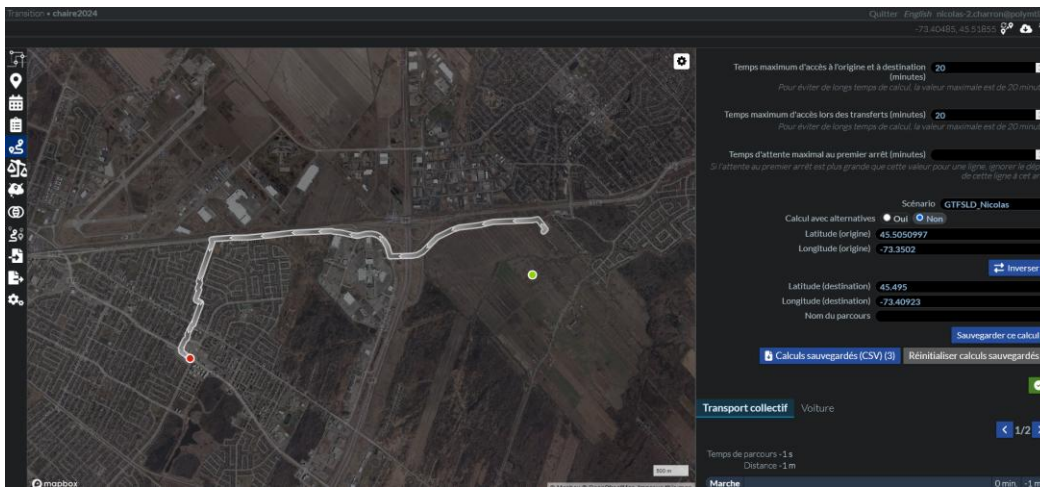


Figure 4.17 : Itinéraire dont l'origine est éloignée du réseau routier et ne donne pas d'option en transport en commun

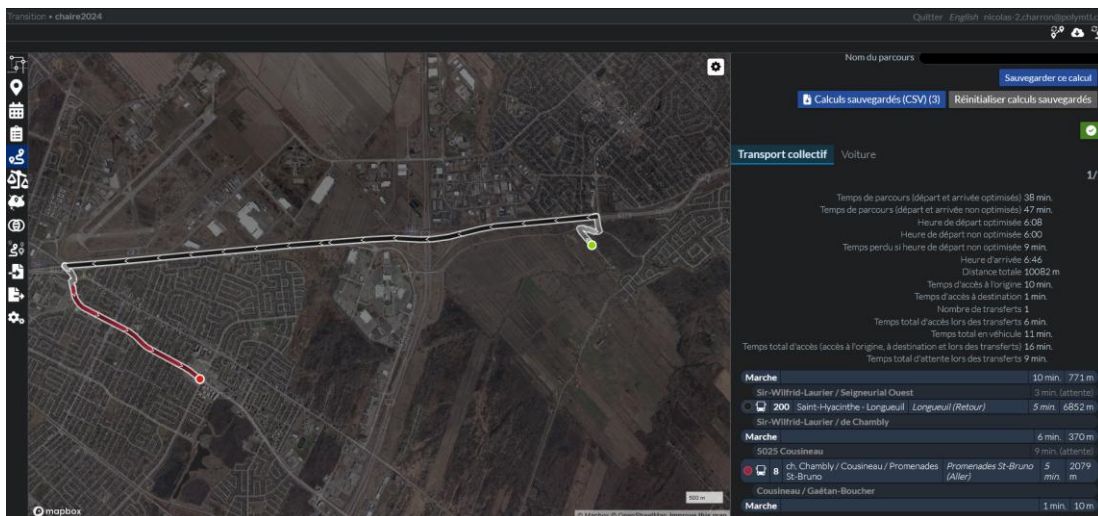


Figure 4.18 : Trajet proposé lorsque l'origine est rapprochée au départ du trajet à pied de la Figure 4.17

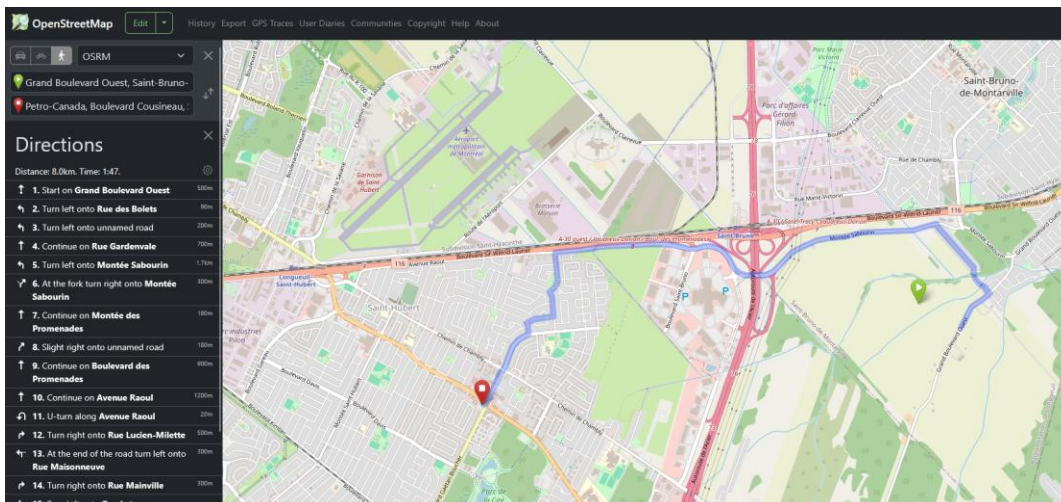


Figure 4.19 : Trajet à pied proposé par OpenStreetMap pour la paire OD de la Figure 4.17

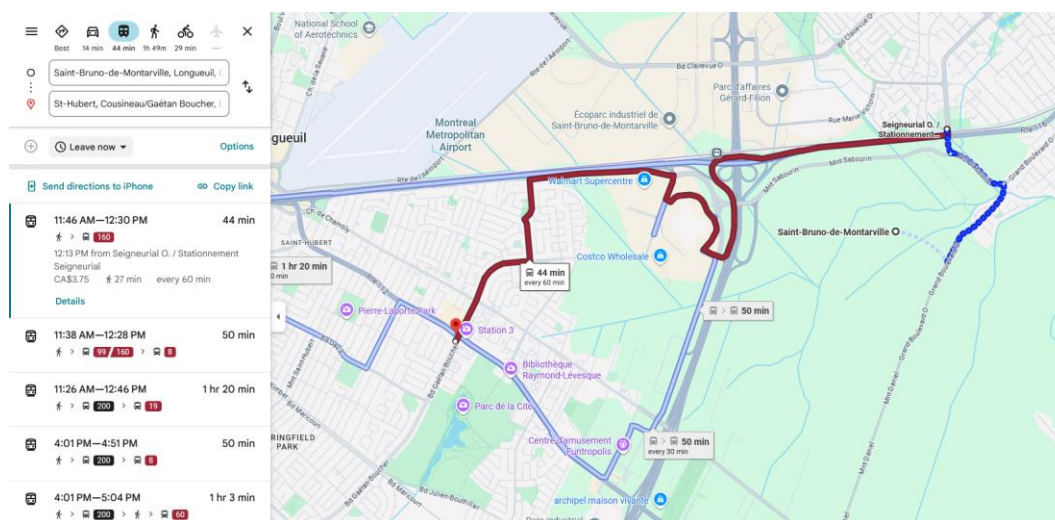


Figure 4.20 : Trajet en transport en commun proposé par Google Maps pour la paire OD de la Figure 4.17

Ensuite vient `TRROUTING_NO_ROUTING_NO_ACCESS_AT_ORIGIN`. Ce code signifie qu'aucun nœud de transport en commun n'est accessible à pied selon les paramètres du calcul. Dans cet exemple, aucun arrêt n'est à moins de 20 minutes à pied de l'origine, qui est située à l'ouest de Sainte-Perpétue. Il n'est donc pas possible de rejoindre le réseau interrégional à Saint-Jean-Port-Joli.

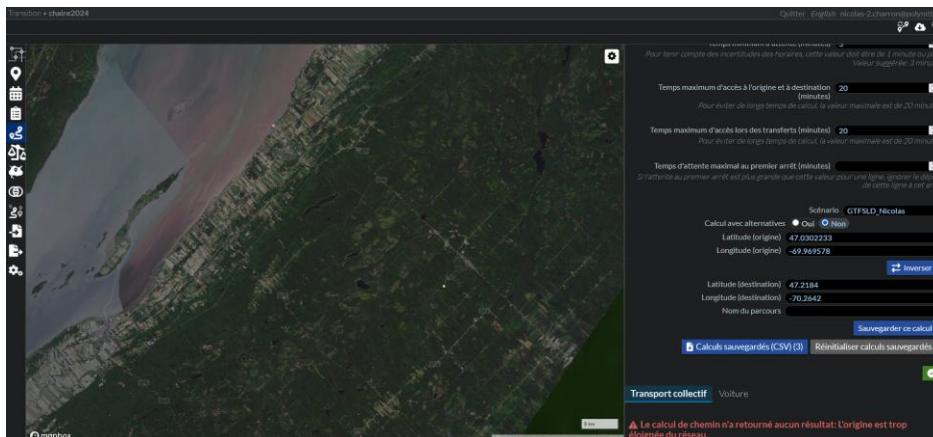


Figure 4.21 : Exemple d'itinéraire retournant TRROUTING_NO_ROUTING_FOUND

Le dernier code d'erreur est le plus générique TRROUTING_NO_ROUTING_FOUND. Il est utilisé quand aucune raison précise n'est trouvée pour expliquer l'échec du calcul d'itinéraire. Le fait qu'il s'agisse d'une option de secours peut expliquer sa fréquence nettement plus basse par rapport aux deux codes d'erreur précédents.

Finalement, le dernier code est success. Celui-ci indique qu'un itinéraire de transport en commun a été trouvé pour la paire origine-destination avec les paramètres spécifiés dans la requête. Attention, l'absence de code de succès n'est pas grave, puisqu'on cherche à savoir s'il existe un trajet disponible entre deux points. Dans le cadre de ce projet, un calcul d'itinéraire peut être réussi même s'il ne retourne pas le code success s'il permet d'établir qu'il n'existe pas de service en commun à partir de telle aire de diffusion.

4.2.2 Résultats des calculs d'itinéraires

Les calculs d'itinéraires faits par l'entremise de Transition retournent pour la plupart un code success. Comme mentionné précédemment, un seul trajet retourne TRROUTING_QUERY_ERROR, et ce pour toutes les heures de la journée. Le code TRROUTING_NO_ROUTING_FOUND est plus rare que les deux derniers codes d'erreurs, puisqu'il s'agit d'un code utilisé lorsqu'aucune raison précise n'est trouvée pour expliquer l'absence de trajet en transport en commun. Il y a plus d'itinéraires n'ayant pas accès à un arrêt de transport en commun à pied en 20 minutes que d'itinéraires n'ayant pas de service, ce qui est plutôt logique étant donné la quantité d'aires de diffusion qui sont éloignées de tout type de transport en commun ainsi que l'absence de flux GTFS pour certains opérateurs. Les données sont donc quelque

peu faussées, puisque l'ensemble des GTFS implémentés dans Transition ne reflète pas tout à fait la réalité. La grande quantité de code d'erreur concernant l'absence de service est causée par le calcul des itinéraires à toutes les heures.

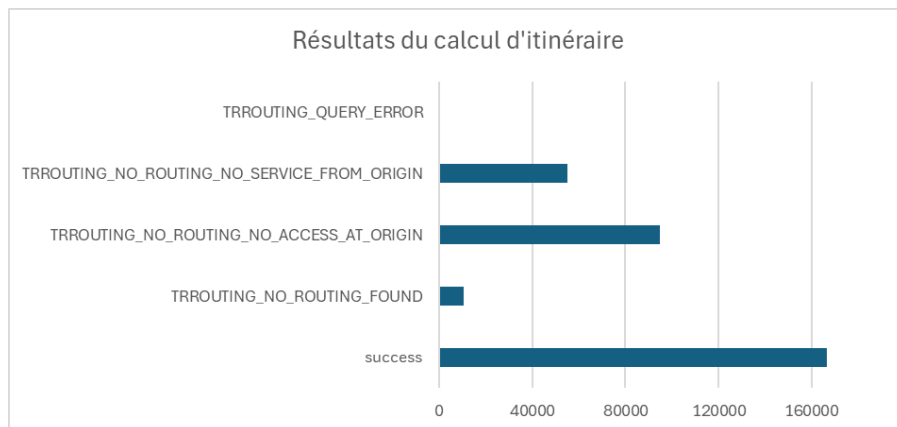


Figure 4.22 : Statuts retournés par les calculs d'itinéraires

Les résultats sont toutefois bien différents selon la localisation. La segmentation a été faite selon si l'aire de diffusion est dans une région métropolitaine de recensement. La quantité de trajets n'ayant aucun service est assez similaire selon si l'aire de diffusion est dans une RMR ou non, soit entre 15 et 18%, mais l'immense différence se situe dans l'accès au transport en commun. La similarité de la présence du service peut s'expliquer par le fait que tous les trajets en RMR entre 1 heure et 3 heures du matin retournent une erreur d'absence de service, alors que plusieurs trajets en dehors des RMR vont plutôt retourner une erreur d'accès à l'origine étant donné qu'il n'y a tout simplement pas d'arrêt et donc encore moins de service, peu importe l'heure de la journée. Cela se reflète dans la proportion de trajets donnant cette erreur, qui est de seulement 8% en RMR, mais de 76% en dehors de celles-ci. C'est l'inverse pour les trajets qui ont accès au transport en commun interrégional, alors que 71% des trajets à partir d'une aire de diffusion en RMR ont accès à un arrêt de transport en commun, incluant les heures de la journée sans service. Au contraire, seulement 6% des trajets en dehors des zones urbaines permettent d'atteindre l'arrêt de transport en commun interrégional le plus proche. Aussi, le taux d'erreur générique retourné par Transition (TRROUTING_NO_ROUTING_FOUND) reste similaire, peu importe l'emplacement de l'aire de diffusion.

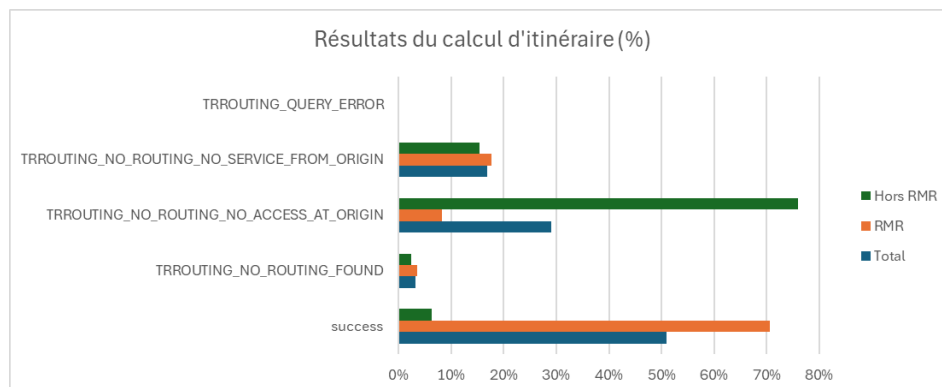


Figure 4.23 : Codes retournés par le calcul d’itinéraire entre les centres de population des aires de diffusion et les arrêts de transport en commun longue distance les plus proches

La proportion des codes de retour donnés par Transition permet d’avoir une idée de la situation autant en zone urbaine qu’en zone rurale. Toutefois, ces calculs ont été faits pour toutes les heures de la journée. La Figure 4.24 montre l’évolution du taux de succès des calculs d’itinéraire au long de la journée. Il est à noter qu’un bogue de Transition fait en sorte que les lignes commençant un trajet avant minuit et se poursuivant après ne sont pas prises en compte, ce qui explique l’absence de trajets calculés entre une et trois heures du matin. Toutefois, la baisse marquée du taux de succès du calcul des itinéraires à partir de 22 heures et le faible taux à quatre heures du matin permet de supposer que le nombre d’itinéraires disponibles reste assez bas aux petites heures du matin. Le nombre d’itinéraires menant des centres de population des aires de diffusion aux arrêts de transport en commun interrégional reste plutôt stable durant la journée, puisqu’il se situe entre 8099 et 8716 sur un total de 13605 trajets de six heures à 22 heures.

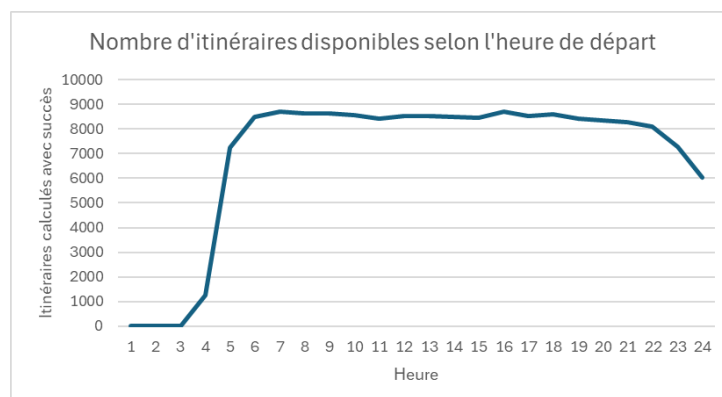


Figure 4.24 : Nombre d’itinéraires retournant un code success dans Transition selon l’heure

La Figure 4.25 illustre toutefois la division entre les RMR et les aires de diffusion en dehors de ces régions. Alors qu'en zone urbaine, près de 90% des aires de diffusion peuvent rejoindre l'arrêt de transport en commun interrégional le plus proche durant la plupart de la journée, les zones rurales peinent à atteindre le 10% au courant de la journée. Ce seuil est seulement atteint à 10 heures du matin. Le service plus fréquent et plus répandu au sein des RMR explique cette différence, en plus des GTFS absents pour certaines régions, notamment la Gaspésie—Îles-de-la-Madeleine. L'écart entre la proportion en RMR et le 100% est probablement dû aux zones plus éloignées des RMR qui sont moins bien desservies.

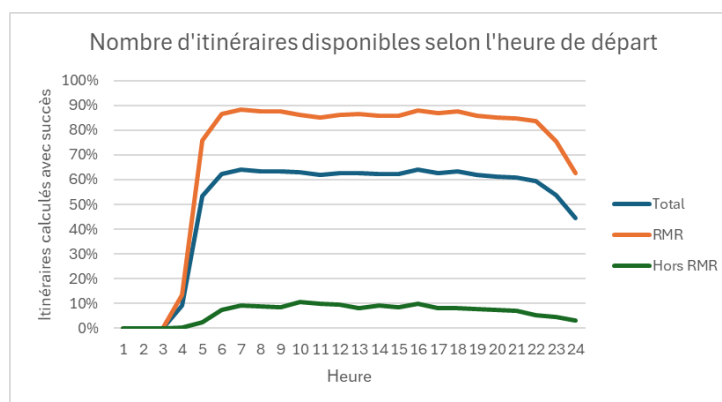


Figure 4.25 : Proportion d'itinéraires retournant un code success dans Transition selon l'heure et l'emplacement dans une RMR ou non

Il faut préciser que les calculs mentionnés précédemment concernent tout simplement l'accès à un arrêt de transport en commun interrégional. Le temps d'attente n'est pas pris en compte. Ainsi, un itinéraire ayant eu un code success va effectivement mener à un arrêt de transport en commun interrégional, mais il se pourrait que le prochain départ soit dans plusieurs heures, ou qu'il ne mène pas à la destination voulue. Si l'on prend l'exemple de Rouyn-Noranda, deux lignes de bus parcourent la ville à des fréquences entre 30 minutes et une heure. Les deux lignes ont un arrêt à un coin de rue du terminus de Maheux, qui fait la liaison avec d'autres villes d'Abitibi-Témiscamingue ainsi que Montréal. Un bus du circuit 1 arrive à 12h30 au centre-ville, ce qui permet aux gens de Lac-Dufault de partir à midi et rejoindre l'arrêt de transport en commun interrégional. Toutefois, les seuls départs offerts sont vers La Sarre à 9h00 et 17h45, vers Val-d'Or et Montréal à 7h35 et 21h35 ainsi que vers Ville-Marie et North Bay à 9h00. Il est donc possible de rejoindre le terminus de Maheux à midi et Transition retourne un code success, mais il faut attendre plus de cinq heures pour obtenir un départ vers La Sarre. Si un passager veut aller à

Montréal à midi en partant de Lac-Dufault, il devra passer la journée au terminus de Maheux avant d'embarquer dans un bus pour arriver à destination neuf heures plus tard, ce qui donne un temps de déplacement de plus de 18 heures, comparativement aux sept heures nécessaires en voiture. Ainsi, bien que cet itinéraire soit calculé comme rendant le transport en commun interrégional accessible, l'horaire réel fait en sorte qu'il ne s'agit pas d'une option viable, ce qui n'est pas pris en compte dans la méthodologie.

Les calculs d'itinéraires ont été faits avec des départs à toutes les heures exactes, cependant Transition optimise les déplacements en faisant démarrer le trajet au moment nécessaire pour arriver au premier arrêt du trajet avec trois minutes d'avance. Ainsi, même si le départ demandé est à 8h00, si le bus passe à 8h20, le départ se fera à 8h17 s'il n'y a pas de marche pour se rendre à l'arrêt. Il y a donc un décalage entre le départ demandé et le départ le plus efficace pour arriver à destination en minimisant le temps d'attente à ce premier arrêt de transport en commun. C'est cet écart qu'illustre la Figure 4.26. On y voit que les départs à partir d'aires de diffusion dans des RMR sont souvent seulement décalés d'au plus cinq minutes par rapport à l'heure spécifiée dans le fichier de calculs multiples fourni à Transition. Au contraire, les trajets réussis en dehors des RMR sont plus répartis dans leurs écarts. Cela peut s'expliquer par la fréquence plus élevée du transport en commun dans les zones urbaines, bien que les distances soient souvent plus grandes en ville. On peut aussi constater plus d'occurrences de 24 à 27 minutes d'écart. Cela pourrait s'expliquer par la présence de services ayant une fréquence de 30 minutes. Les écarts s'arrêtent à 27 minutes, puisque Transition permet de partir jusqu'à 30 minutes après l'heure demandée, mais la valeur par défaut du paramètre d'attente au premier arrêt est de trois minutes. Cette valeur par défaut a été conservée afin d'éviter certains problèmes avec le calculateur d'itinéraires. Par exemple, pour un trajet entre Laurier et Berri-UQÀM, aucun itinéraire n'est trouvé si le temps minimum d'attente est de 30 minutes.

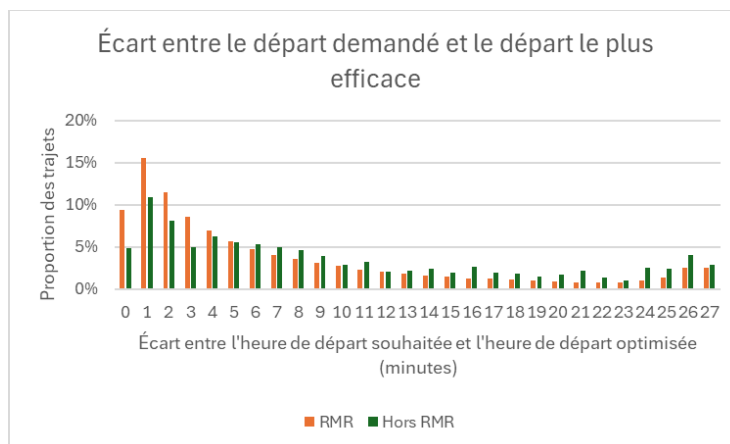


Figure 4.26 : Écart entre l'heure de départ spécifiée dans le calcul d'itinéraire et l'heure de départ minimisant l'attente au premier arrêt local

L'écart entre le transport en commun en zone urbaine et en zone rurale est encore une fois illustré dans la Figure 4.27. Celle-ci montre le temps requis pour accéder au premier arrêt de transport en commun local lors du trajet menant à un arrêt de transport en commun interrégional. Cela représente donc le temps de la première étape d'un trajet vers un mode de transport en commun interrégional. Dans les régions métropolitaines, il est beaucoup plus courant de seulement avoir besoin de marcher moins de huit minutes pour se rendre à ce premier arrêt local. La distribution des temps d'accès est plus équilibrée en dehors des métropoles. Les temps d'accès de plus de neuf minutes sont plus fréquents dans les municipalités situées en dehors des RMR. Ainsi, plus de trajets ruraux demandent 10, 12 ou 14 minutes à pied respectivement pour la composante d'accès que les trajets demandant une ou deux minutes.

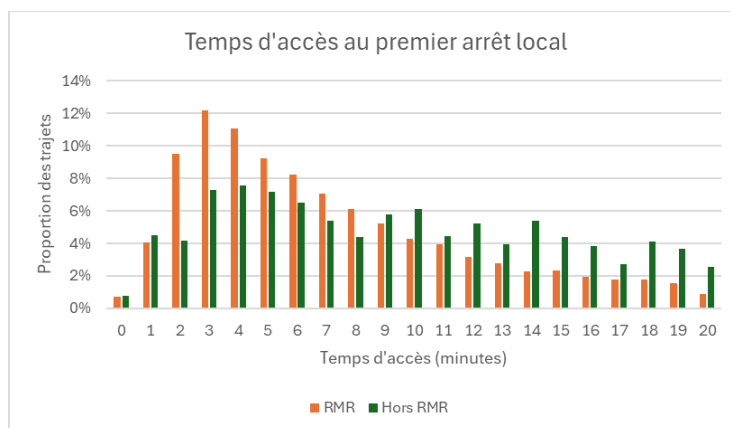


Figure 4.27 : Temps d'accès au premier arrêt local de transport en commun du trajet vers l'arrêt interrégional le plus proche

Ensuite, le nombre d'embarquements nécessaires pour se rendre à l'arrêt de transport en commun interrégional le plus proche brosse un portrait plus surprenant au premier abord. Les habitants des zones rurales semblent avantagés, car plus de 80% des aires de diffusion peuvent atteindre un service de longue distance en une seule ligne. Toutefois, ce graphique ne compile que les trajets pouvant se rendre à cet arrêt, et on ignore donc toutes les instances d'aires de diffusion n'ayant tout simplement aucun moyen de rejoindre un arrêt de transport interrégional. De plus, considérant que les services de transport en commun en dehors des régions métropolitaines sont souvent constitués d'une seule ou de deux lignes, il est moins surprenant de constater que la plupart des trajets qui peuvent se rendre à un arrêt interrégional le font à l'aide d'une des seules lignes disponibles. En RMR, la situation est quasi-linéaire. Près de la moitié des trajets urbains vers l'arrêt interrégional le plus proche se font en une seule ligne, un tiers avec une correspondance, 13% avec deux correspondances, et les 6% restants nécessitent plus de quatre segments.

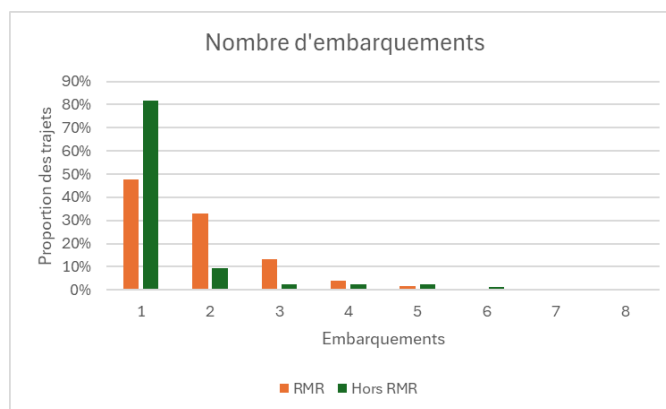


Figure 4.28 : Nombre d'embarquements requis pour atteindre l'arrêt de transport en commun interrégional le plus proche

Dans la même veine, le temps de parcours total vers l'arrêt interrégional le plus proche est d'une certaine façon à l'avantage des aires de diffusion en dehors des RMR. Une plus grande proportion de celles-ci a des temps de parcours inférieurs à 30 minutes pour atteindre un service de transport en commun interrégional. Toutefois, la proportion de trajets de plus de deux heures et demie dépasse la barre des 10% en dehors des RMR, alors qu'elle n'est que de 1% en zone urbaine. De plus, tout comme pour les graphiques précédents, le temps de parcours n'est comptabilisé que lorsqu'un trajet est faisable. Ainsi, on peut supposer que s'il y a moins de trajets de longue durée pour se rendre au transport en commun interrégional en zone rurale, c'est qu'au-delà d'une certaine durée, il n'y a tout simplement plus d'option pour se rendre à l'arrêt.

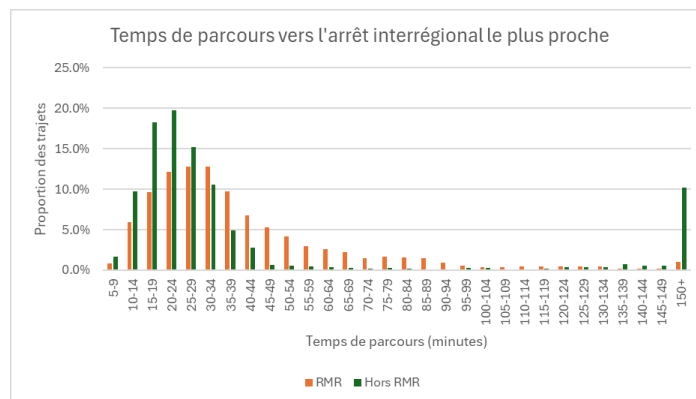


Figure 4.29 : Temps de parcours total vers l'arrêt de transport en commun interrégional le plus proche

La Figure 4.31 à Figure 4.40 illustrent les résultats des temps de parcours en transport en commun entre les aires de diffusion dont les arrêts interrégionaux les plus proches à vol d'oiseau sont parmi les suivants : la gare d'autocars de Berri à Montréal, la gare du Palais et la gare d'autocars de Sainte-Foy à Québec, la gare d'autocars de Sherbrooke, la gare d'autocars de Trois-Rivières ainsi que les arrêts du motel Adam et de la place du Portage à Gatineau.

Sur les Figure 4.31, Figure 4.34 et Figure 4.36, on peut voir un pic où sont situés la plupart des temps de parcours, puis un deuxième pic moins important de temps de parcours plus longs. Cela est dû à l'assignation des centres des aires de diffusion à leur arrêt interrégional le plus proche à vol d'oiseau. Dans le cas de la gare du Palais, cela lui attribue quelques aires de diffusion situées à Lévis, qui auront certainement un temps de parcours vers la gare de Palais beaucoup plus long que les aires de diffusion situées à Québec même. Ce phénomène est visible sur la Figure 4.30.

Pour le premier corridor étudié, soit les trajets entre les aires de diffusion assignées à la gare d'autocars de Berri et celles assignées à la gare du Palais, la Figure 4.31 montre que les temps de parcours sont majoritairement entre 230 et 236 minutes. En voiture, le trajet entre ces deux stations est de 187 minutes pour une distance de 254 kilomètres. Le temps de parcours le plus bas est quant à lui de 196 minutes en transport en commun.

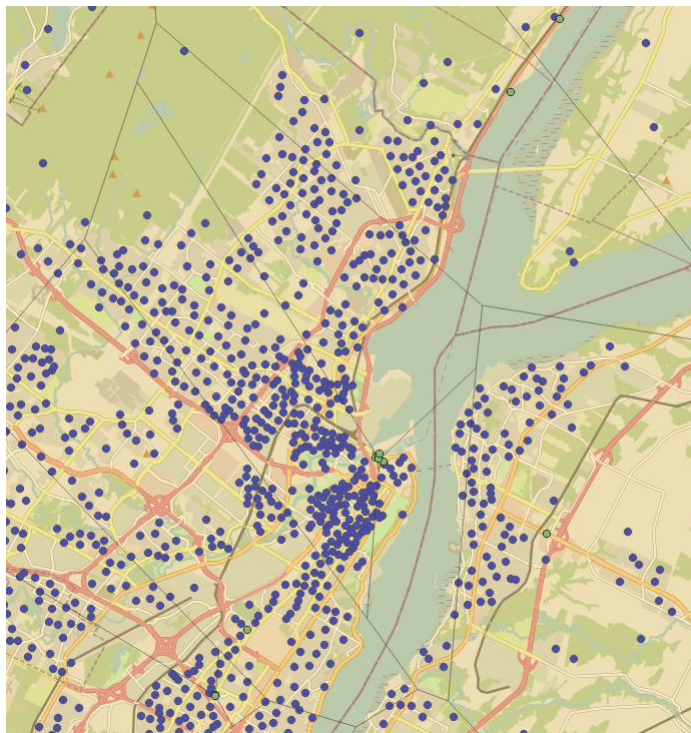


Figure 4.30 : Polygones de Voronoï des arrêts de transport en commun interrégional à Québec

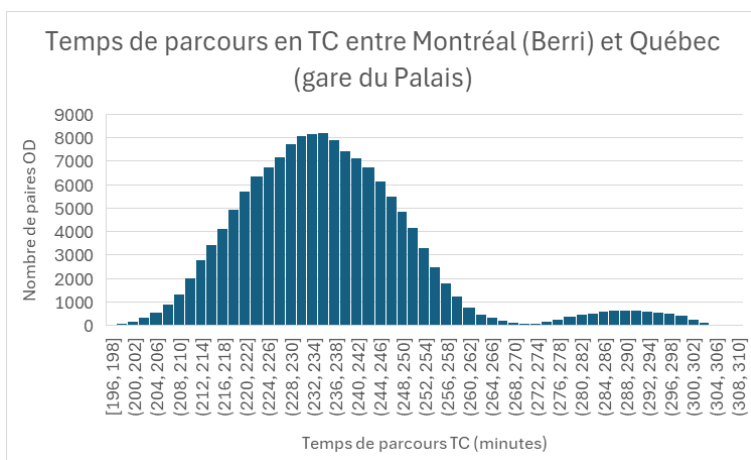


Figure 4.31 : Temps de parcours en transport en commun entre Berri et la gare du Palais

Le Tableau 3 situé après la Figure 4.40 compare les résultats de tous les corridors étudiés. Il comprend la distance réseau entre les deux arrêts, le temps de parcours en auto, les temps de parcours le plus fréquent et le plus rapide en transport en commun, les ratios entre les deux temps de parcours en transport en commun et en auto ainsi que la vitesse en transport en commun.

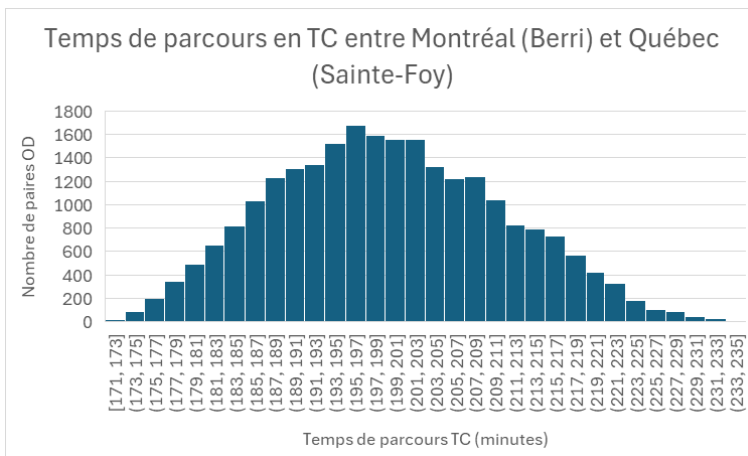


Figure 4.32 : Temps de parcours en transport en commun entre Berri et Sainte-Foy

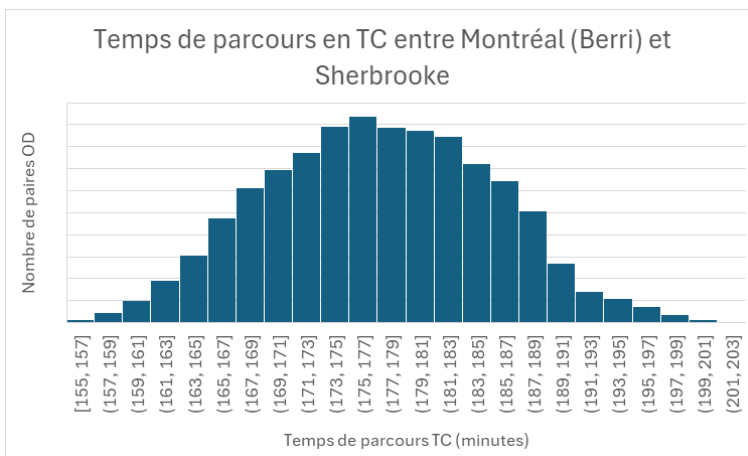


Figure 4.33 : Temps de parcours en transport en commun entre Berri et Sherbrooke

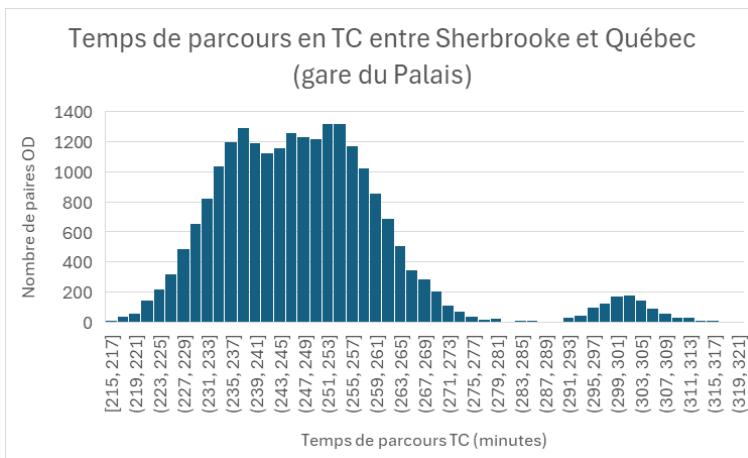


Figure 4.34 : Temps de parcours en transport en commun entre Sherbrooke et la gare du Palais

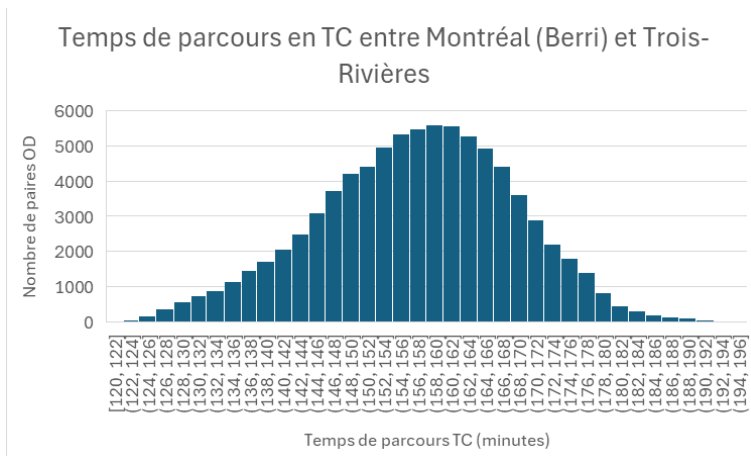


Figure 4.35 : Temps de parcours en transport en commun entre Berri et Trois-Rivières

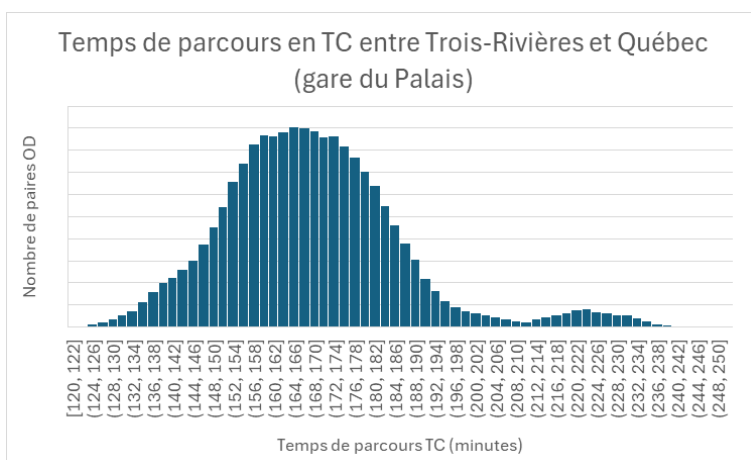


Figure 4.36 : Temps de parcours en transport en commun entre Trois-Rivières et la gare du Palais

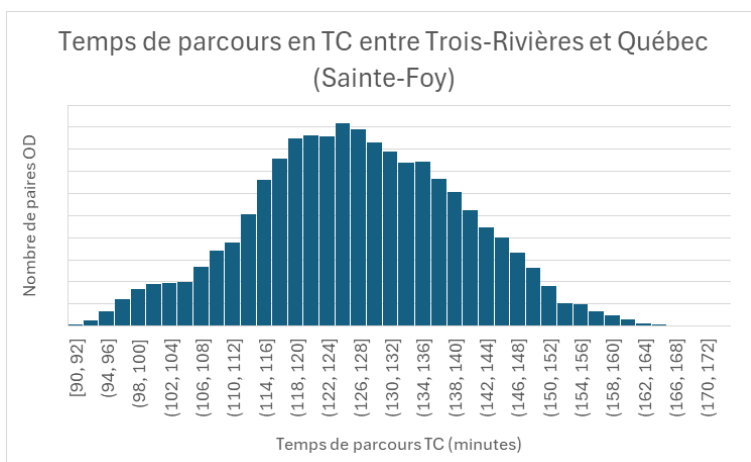


Figure 4.37 : Temps de parcours en transport en commun entre Trois-Rivières et Sainte-Foy

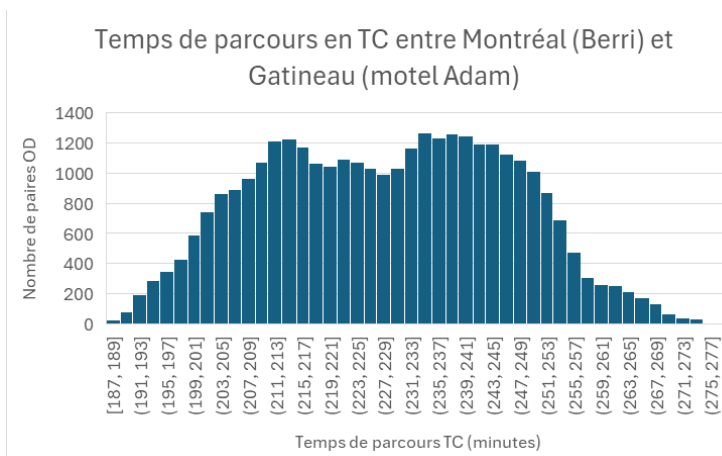


Figure 4.38 : Temps de parcours en transport en commun entre Berri et le motel Adam (Gatineau)

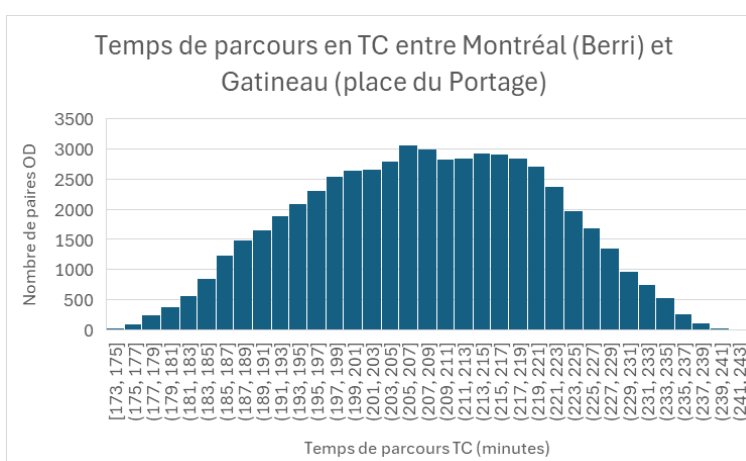


Figure 4.39 : Temps de parcours en transport en commun entre Berri et Portage (Gatineau)

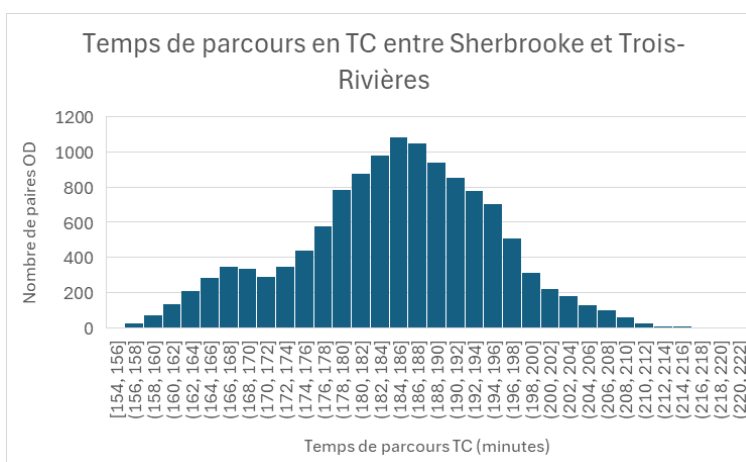


Figure 4.40 : Temps de parcours en transport en commun entre Sherbrooke et Trois-Rivières

Tableau 3 : Comparaison des corridors étudiés

Corridor	Distance réseau (km)	Temps de parcours auto (min)	Mode temps de parcours TC (min)	Min. temps de parcours TC (min)	Ratio temps de parcours auto/TC	Vitesse TC (km/h)
Berri–du Palais	254	187	235	196	1.05-1.26	64.9-77.8
Berri–Ste-Foy	242	172	196	171	0.99-1.14	74.1-84.9
Berri–Sherbrooke	159	120	176	155	1.29-1.47	54.2-61.5
Sherbrooke–du Palais	240	169	252	215	1.27-1.49	57.1-67.0
Berri–Trois-Rivières	139	111	159	120	1.08-1.43	52.5-69.5
Trois-Rivières–du Palais	131	97	165	120	1.24-1.70	47.6-65.5
Trois-Rivières–Ste-Foy	123	86	125	90	1.05-1.45	59.0-82.0
Berri–Adam	206	148	234	187	1.26-1.58	52.8-66.1
Berri–du Portage	203	143	206	173	1.21-1.44	59.1-70.4
Sherbrooke–Trois-Rivières	149	110	185	154	1.40-1.68	48.3-58.1

On peut voir par le Tableau 3 que les deux corridors entre la gare d'autocars de Berri et les deux stations de Québec sont les plus efficaces. Les ratios entre les temps de parcours en transport en commun et en auto y sont les plus bas, et les vitesses sont les plus hautes. En comparant avec les corridors entre Trois-Rivières et Québec, on voit que les corridors s'arrêtant à Sainte-Foy performant légèrement mieux que ceux s'arrêtant à la gare du Palais, probablement parce qu'ils évitent d'aller jusqu'au centre-ville historique.

4.3 Analyse du positionnement des gares

Les sections qui suivent se veulent le reflet des différentes itérations de la méthodologie de positionnement des stations telles que décrites dans la section 3.3.1 et dans la section 3.3.2 pour la dernière itération. Un court rappel des paramètres importants utilisés par chaque itération sera fait, en plus de la présentation et de l'analyse de la géographie des stations proposées.

Le même code que celui utilisé à la section 3.3.1 sera utilisé pour présenter les résultats. Une explication est disponible au Tableau 2 dans cette même section.

4.3.1 DensSRSDR—10oiseau—100pop

Cet essai est le premier de la méthodologie incrémentale et a été réalisé afin de poser les bases de la méthode de positionnement des stations de transport en commun interrégional. Les centres de population des secteurs de recensement des régions métropolitaines ainsi que des sous-divisions de recensement en dehors des régions métropolitaines ont été choisis comme points. Une zone-tampon d'un rayon de 10 kilomètres est établie autour de chaque sélectionnée. Les centres de population sont classés par la densité de la zone qu'ils représentent et on veut couvrir 100% de la population du Québec.

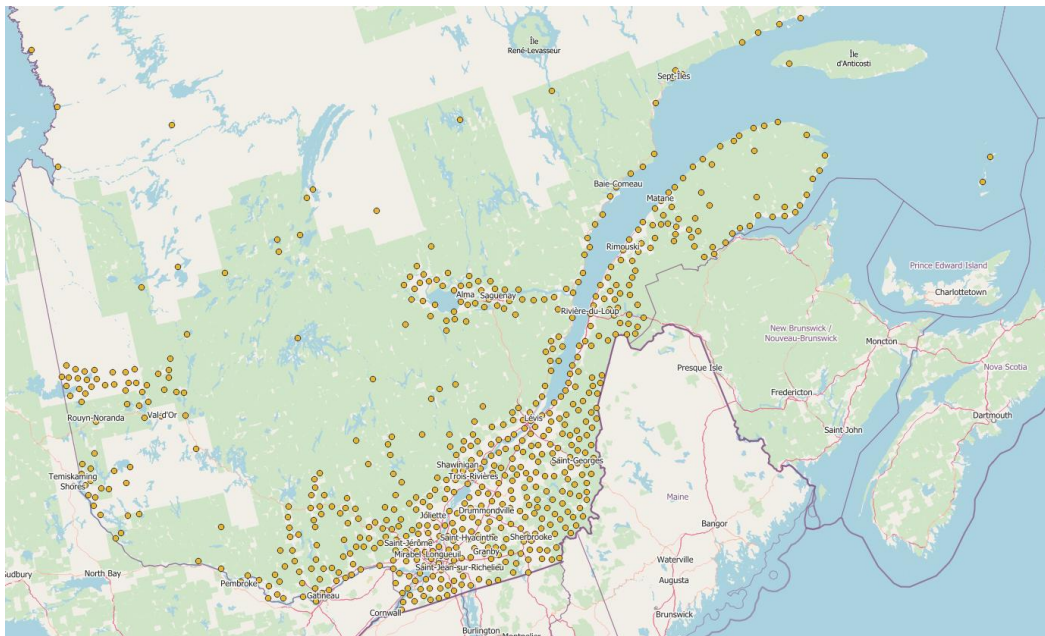


Figure 4.41 : Carte des stations de la première itération

On obtient 666 stations qui sont partagées dans toutes les régions du Québec. Puisque la zone d'exclusivité de chaque station est calculée par un rayon de 10 kilomètres à vol d'oiseau et que l'on veut couvrir toute la population québécoise, le nombre de stations est énorme. En effet, cela implique de positionner une station dans chaque municipalité du Nord-du-Québec et de la Côte-Nord, en plus de constituer un damier de quelque sorte dans le sud du Québec, là où la population est concentrée. On obtient ainsi huit stations sur l'île de Montréal, 34 dans la région métropolitaine de Montréal et 13 dans la RMR de Québec, mais aussi 28 dans la région administrative du Nord-du-Québec et 34 dans la région de la Côte-Nord. Une région contenant 0,5% de la population québécoise se voit donc attribuer autant de stations interrégionales qu'une région contenant la moitié de la population. Évidemment, lorsqu'il s'agit de constituer un réseau à exploiter, les fréquences de services peuvent rééquilibrer en fonction de la population, mais il semble illogique d'avoir autant de stations dans ces deux régions considérant la grande différence de population dans ces deux régions.

Aussi, l'utilisation des SR et SDR pour obtenir les centres de population peut être problématique. En région urbaine, l'aire des SR est au minimum environ $0,1 \text{ km}^2$, et les plus petits secteurs de recensement englobent environ une demi-douzaine de pâté de maisons dans les quartiers centraux de Montréal, tandis que les plus grands peuvent s'étendre sur plus d'une

quinzaine de km² lorsqu'ils comportent de grandes zones industrielles. En zone rurale, les SDR peuvent atteindre une superficie de presque 300000 km² dans les cas les plus extrêmes, en plus de parfois regrouper plusieurs centres de population. Les aires de diffusion leur sont donc préférables, car en plus de simplifier le traitement en étant présentes à la fois dans les zones rurales et urbaines, elles sont plus précises. En reprenant l'exemple des quartiers centraux de Montréal, l'aire des AD est en générale autour de 0,02 km² (un à deux pâtés de maisons) pour les plus petites. En milieu rural, les SDR sont pour la plupart divisés en plusieurs AD divisant les différents centres de population, ce qui rend le calcul du centre de gravité des populations plus précis. Cela se remarque particulièrement dans le cas des SDR regroupant deux villages. En calculant un centre de gravité de population pour cette SDR, celui-ci était souvent placé en plein milieu d'un lac ou d'une forêt. L'utilisation des AD, qui vient séparer les villages dans leur propre aire, résout ce problème.

Pour ce qui est des résultats au niveau du service à la population, deux méthodes peuvent être employées pour en faire l'analyse. Puisque le seul critère était de garder les stations éloignées de 10 kilomètres les unes des autres, on peut considérer que la population qui peut atteindre chaque gare est dans un rayon de cinq ou de dix kilomètres. Si l'on prend un rayon de cinq kilomètres, plusieurs secteurs de recensements vont tomber entre les aires de couvertures des stations, alors que si l'on prend un rayon de dix kilomètres, les aires de couverture vont se recouper. L'analyse a donc été faite avec les deux rayons. On peut voir que les graphiques ont environ la même progression au fur et à mesure que l'on ajoute des stations, à l'exception que l'amplitude de la population est largement plus élevée en utilisant un rayon de 10 kilomètres, ce qui est tout à fait logique. De plus, avec un rayon de 5 kilomètres, on n'atteint pas la totalité de la population de la province, alors qu'avec un rayon de 10 kilomètres, on atteint un peu moins du double.

Dans les deux cas, la population marginale ajoutée par chaque nouvelle station diminue fortement après une quarantaine de stations. Quelques stations ajoutées plus tardivement apportent un gain soudain de population couverte, mais en règle générale, la contribution des stations plus tardives est minime, comme le montrent la Figure 4.42 et la Figure 4.45. La diminution de la contribution des stations passé une quarantaine de stations établies est confirmée par la Figure 4.44 et la Figure 4.47. La Figure 4.43 et la Figure 4.46 permettent d'avoir un aperçu de la population marginale des 50 premières stations.

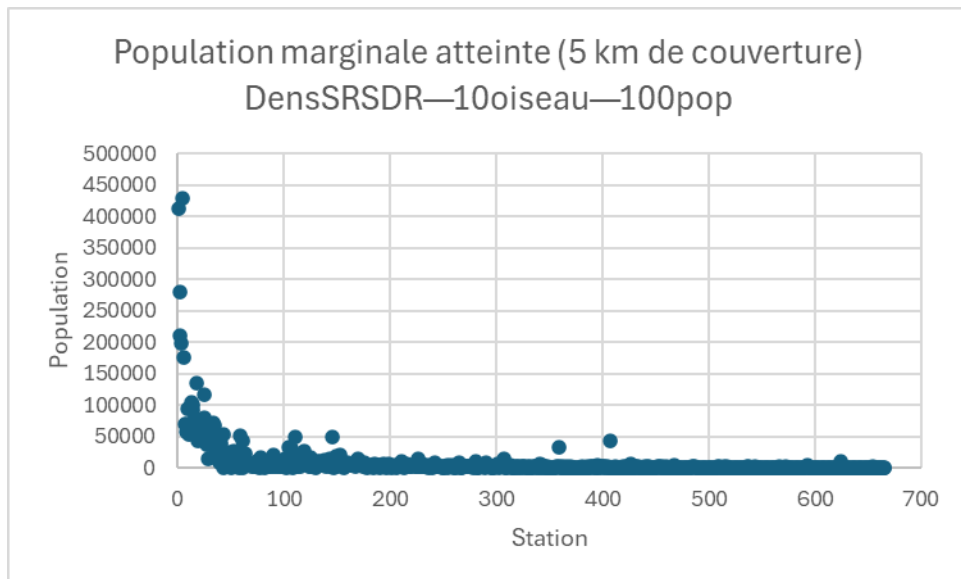


Figure 4.42 : Population marginale de chaque nouvelle station avec un rayon de couverture de 5 kilomètres à la première itération

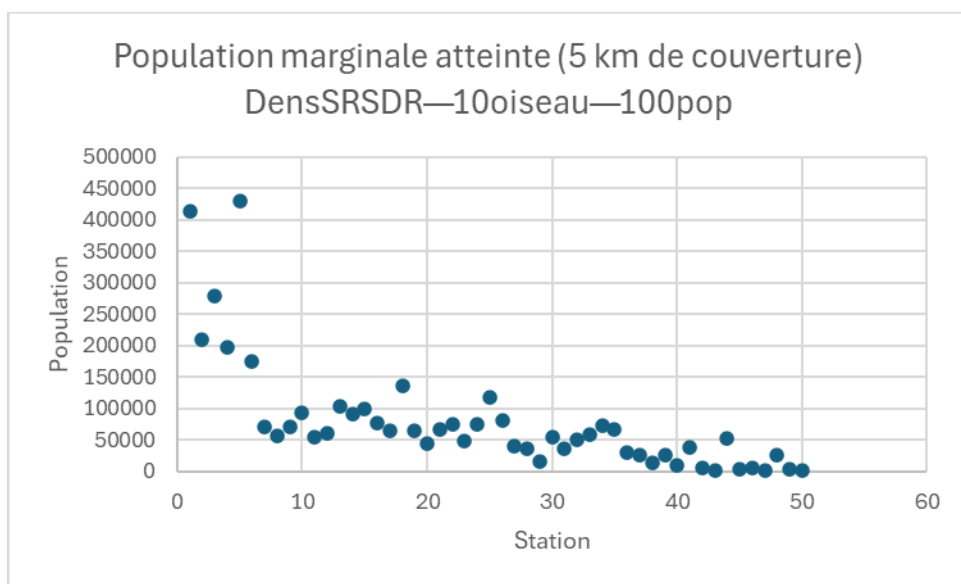


Figure 4.43 : Population marginale de chaque nouvelle station avec un rayon de couverture de 5 kilomètres à la première itération (50 premières stations)

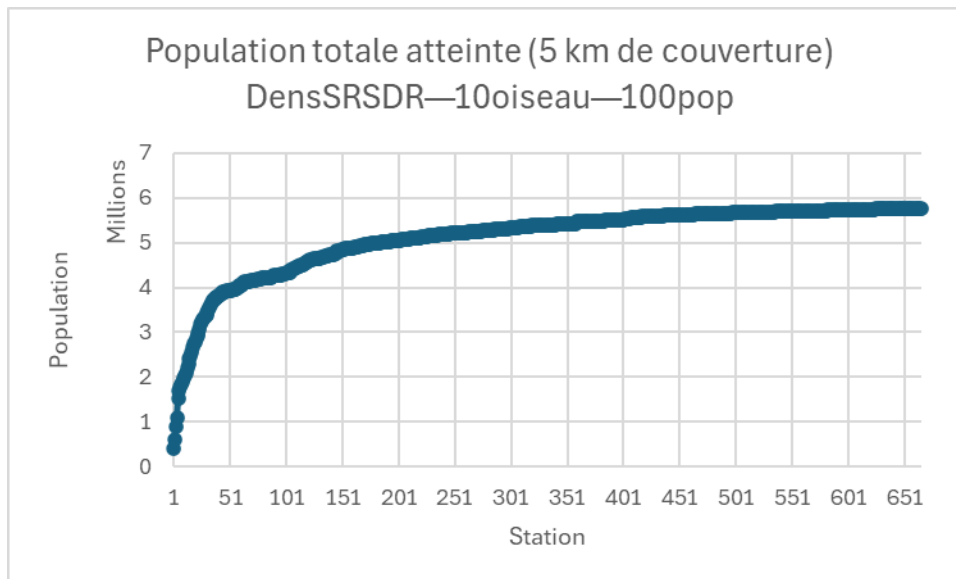
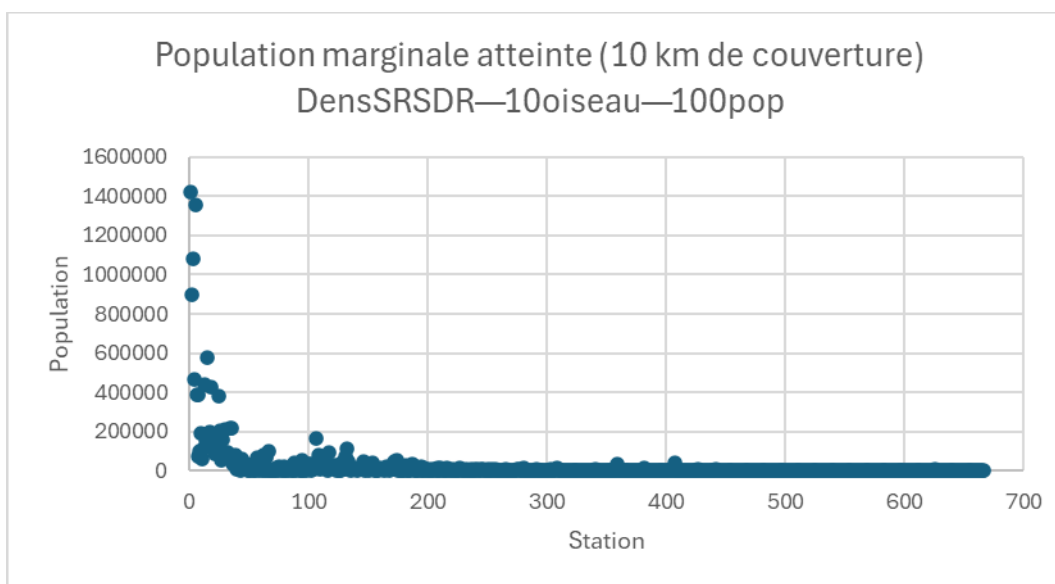


Figure 4.44 : Population totale atteinte après chaque nouvelle station avec un rayon de couverture de 5 kilomètres à la première itération



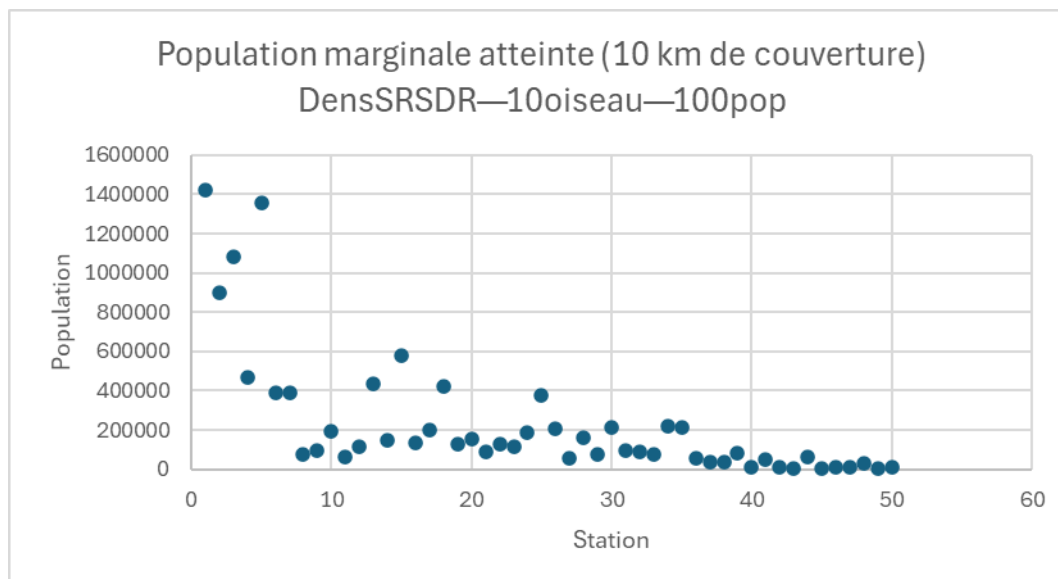


Figure 4.46 : Population marginale de chaque nouvelle station avec un rayon de couverture de 10 kilomètres à la première itération (50 premières stations)

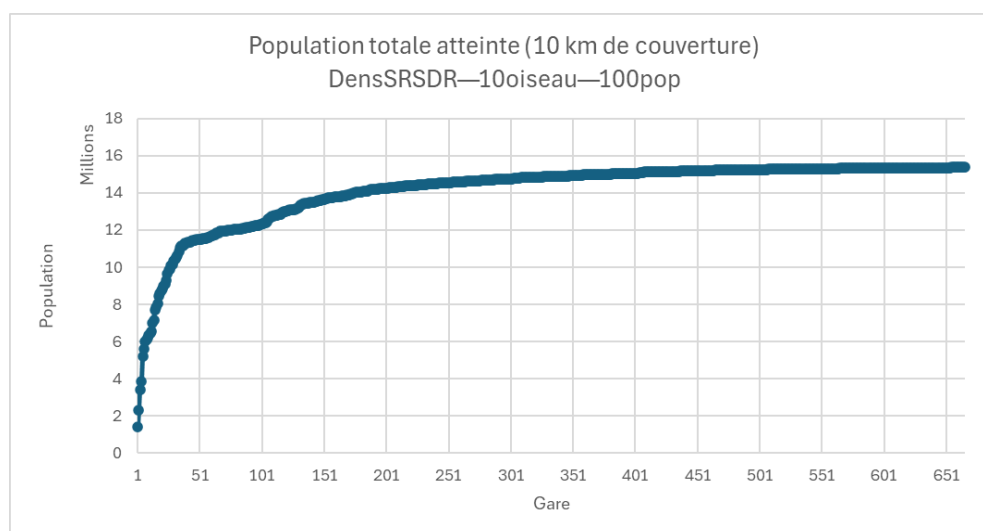


Figure 4.47 : Population totale atteinte après chaque nouvelle station avec un rayon de couverture de 10 kilomètres à la première itération

La Figure 4.48 illustre la chute drastique de la densité des secteurs et subdivisions de recensement ayant été désignés pour avoir une station de transport en commun longue distance. La première station est dans le secteur le plus dense, comme le précise la méthodologie. Le deuxième secteur choisi est deux fois et demie moins dense que le premier, et cette chute de densité se poursuit à chaque station placée. Dès la septième station, la densité n'est plus que de 5464 habitants par

kilomètre carré, comparativement à 48864 habitants au kilomètre carré pour le secteur de la première station.

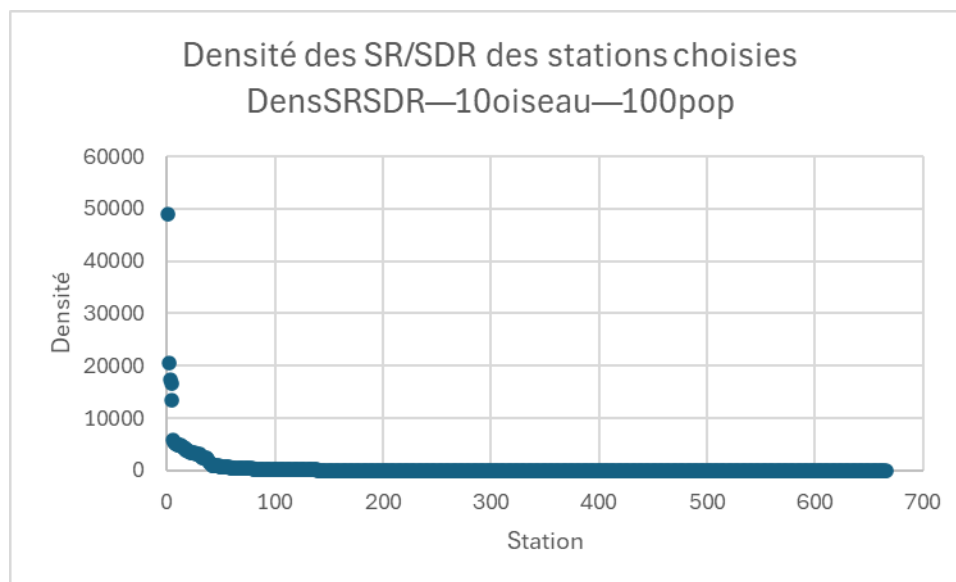


Figure 4.48 : Densité des secteurs et subdivisions de recensement ayant été choisis pour accueillir une station de transport en commun interrégional

4.3.2 DensAD—10oiseau—75pop

Cette prochaine itération résout deux problèmes avec la première itération. D’abord, les SR et SDR sont remplacés avec les centres de population des aires de diffusion. Ces divisions du recensement sont plus petites, donc offrent une meilleure précision, au prix d’un temps de calcul allongé. La même zone-tampon de 10 kilomètres à vol d’oiseau autour des stations sélectionnées est maintenue. Ensuite, au lieu de vouloir couvrir l’entièreté de la population québécoise, on se limite à 75%. Cette proportion est toutefois légèrement supérieure à l’objectif de 70% de la population ayant accès à au moins quatre services de mobilité durable énoncé dans la Politique de mobilité durable (Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l’Électrification des transports, 2018b, 2018a). Cela permet d’éviter d’avoir à placer un immense nombre de stations partout au Québec.

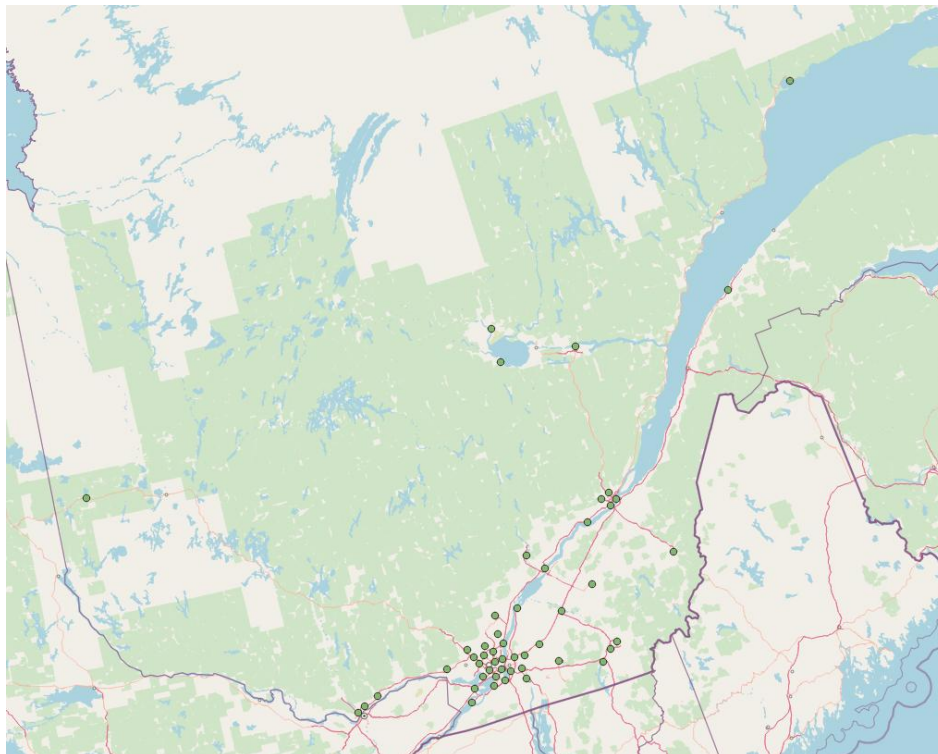


Figure 4.49 : Carte des stations de la deuxième itération

Avec ces paramètres, on se retrouve avec l'inverse du problème précédent concernant l'emplacement des stations. On retrouve 22 des 50 stations dans la RMR de Montréal, mais aucune dans les régions du Nord-du-Québec et de la Gaspésie—Îles-de-la-Madeleine. Plusieurs régions se voient attribuer seulement une station avec ces paramètres, alors qu'elles ont plusieurs centres de population d'importance relativement similaire. Sur la Côte-Nord, une station est placée à Sept-Îles, mais aucune à Baie-Comeau, en Abitibi-Témiscamingue, Rouyn-Noranda est desservie, mais pas Val-d'Or et en Chaudière-Appalaches, Lévis est totalement ignorée alors que Saint-Georges-de-Beauce reçoit une station. Il est difficile de qualifier un tel ensemble de stations de base pour un système de transport interrégional si plusieurs régions ne sont pas représentées adéquatement.

En raison du tri fait par densité seulement et de la zone-tampon de 10 kilomètres à vol d'oiseau, le positionnement ici obtenu n'est pas idéal. D'abord, l'aide de diffusion la plus dense au Québec est située sur une petite île de Laval. L'aire de diffusion en question regroupe quatre tours d'appartements pour une population totale de 671 personnes sur une aire de 0,0042 km². Il n'y a qu'un seul arrêt de transport en commun à proximité, qui est seulement desservi par la ligne 20 de la STL. Cette ligne rejoint certes le métro Cartier, mais elle a une fréquence d'une heure et le trajet

jusqu'au métro dure 30 minutes. Bien que la densité de population aux alentours soit intéressante, il serait très difficile d'accéder à une station de transport interrégional située à cet endroit.

De plus, ce positionnement moins qu'idéal empêche, du fait de sa zone-tampon de 10 kilomètres de rayon, le choix d'un emplacement dans la moitié ouest de Laval ainsi que dans les arrondissements de Pointe-Claire, Dorval, Saint-Laurent, Ahuntsic-Cartierville, Ville Mont-Royal ainsi qu'une partie de Villeray, qui ont pour la plupart des secteurs beaucoup plus accessibles en transport en commun ou à vélo que celui de l'AD la plus densément peuplée. Dans le même ordre d'idées, la station située au métro Guy empêcherait la ville de Longueuil d'accueillir une station par sa zone-tampon, alors que celle-ci est parmi les plus peuplées de la RMR de Montréal et de la province.

Alors que cette itération se limite à 50 stations proposées, on peut voir par la Figure 4.50 et la Figure 4.51 que la contribution des stations placées après les 26 premières diminue grandement aussi. La pente entre chaque nouvelle station est plus petite à partir de la 26^{ème} station, et c'est la dernière station à atteindre 100000 nouvelles personnes lorsqu'elle est choisie.

Cette 26^{ème} station est située à Vaudreuil-Dorion. Elle permet donc de couvrir la banlieue ouest de l'île de Montréal. D'un point de vue purement méthodologique, elle est la dernière à contribuer plus significativement à la proportion de la population couverte par cette itération. Cependant, les 27^{ème}, 29^{ème} et 31^{ème} stations permettent respectivement de couvrir la région de Gatineau, la ville de Sept-Îles et la ville de Magog. Ainsi, d'un point de vue politique, il peut être parfois souhaitable de couvrir une région n'ayant toujours pas de station de transport en commun longue distance, même si les bénéfices par rapport à l'ensemble de la population du Québec sont légèrement moindres que pour une énième station dans la RMR de Montréal.

La population marginale ajoutée par les nouvelles stations est plus ou moins régulière, puisqu'on se base sur la densité pour accorder une station à une aire de diffusion. La Figure 4.52 montre que la densité des aires de diffusion avec une station baisse graduellement, quoique plus rapidement au début. Au contraire, la Figure 4.51 montre certes une tendance générale à la baisse pour la population marginale au fur et à mesure que l'on place plus de stations, mais il existe plusieurs stations qui semblent s'écarter de cette tendance. Par exemple, la troisième station placée ne rejoint qu'environ 50000 personnes, tandis que la station précédente et la station suivante attirent environ 1,2 millions habitants et 340000 personnes respectivement. Ce cas se répète pour la

treizième station, alors que les deux stations placées avant et après celle-ci attirent près de 150000 et plus de 200000 personnes, contrairement à sa population marginale de moins de 15000 personnes.

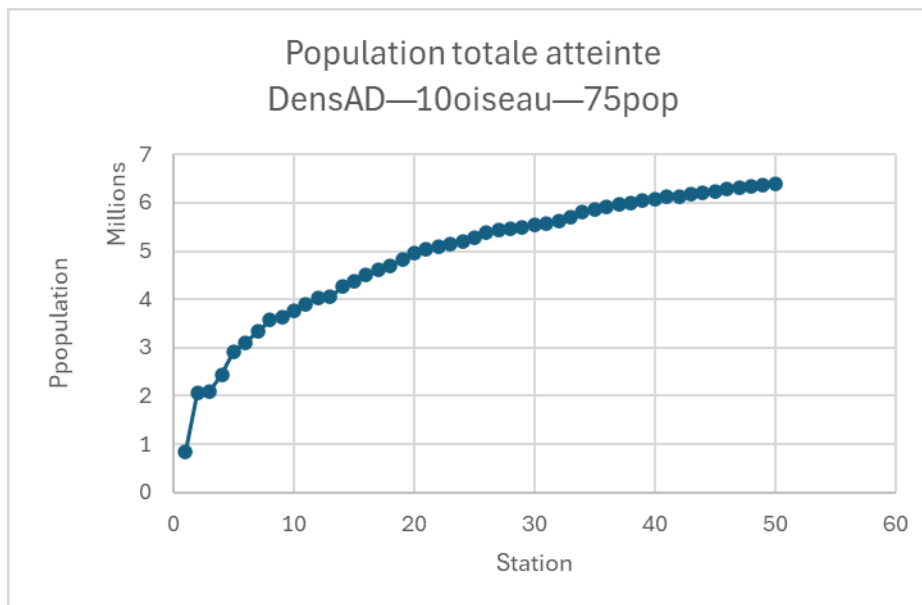


Figure 4.50 : Population totale atteinte après chaque nouvelle station à la deuxième itération

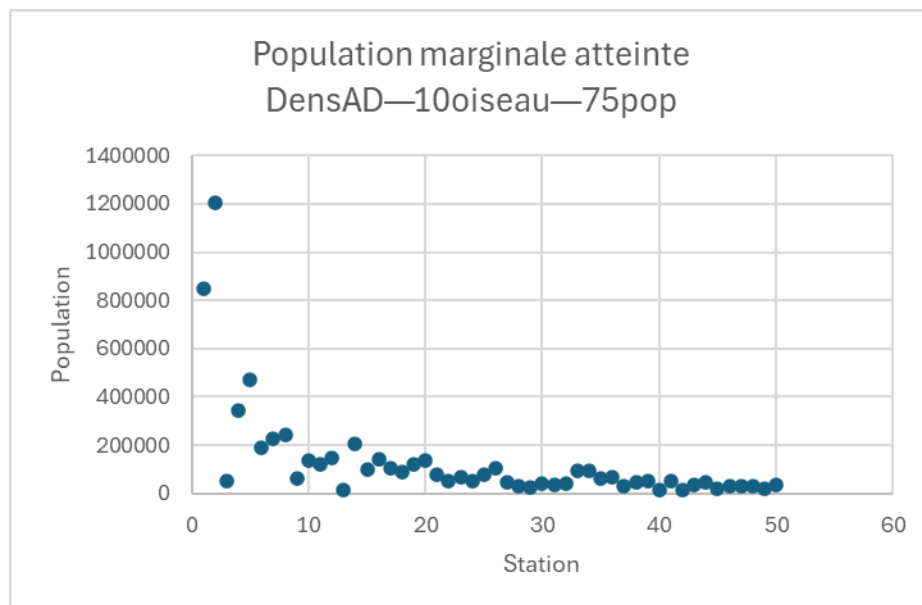


Figure 4.51 : Population marginale atteinte après chaque nouvelle station à la deuxième itération

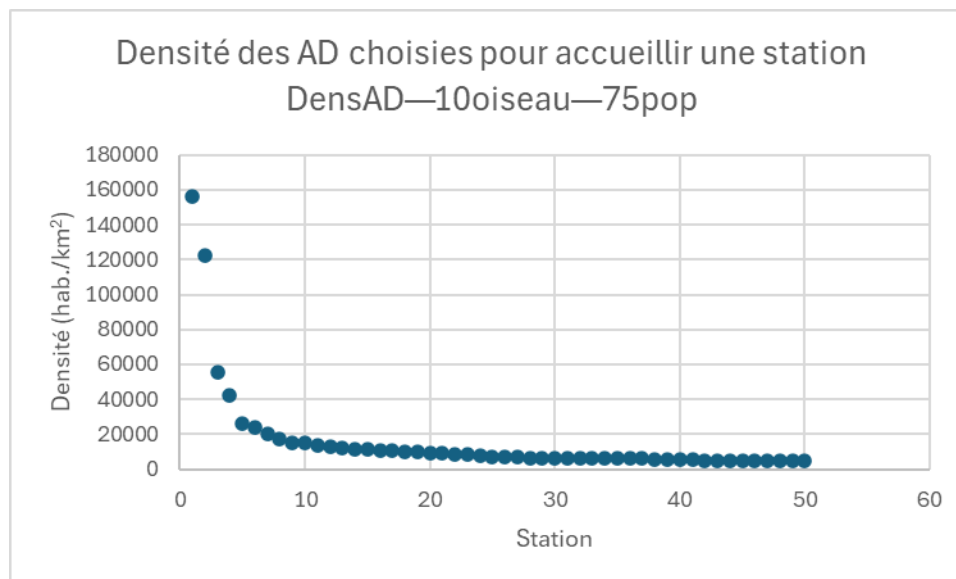


Figure 4.52 : Densité des aires de densité ayant une station de transport en commun interrégional

4.3.3 DensAD—20marche—75pop

Cette troisième itération tente de se défaire du critère arbitraire de la zone-tampon de 10 kilomètres autour des stations choisies. Pour ce faire, celui-ci est complètement retiré du processus, autant par rapport à la zone d'exclusivité des stations que par rapport au calcul de la population atteinte par chaque gare. Pour remplacer le rayon de 10 kilomètres dans ce dernier, on utilise plutôt un temps de parcours de 20 minutes de marche pour l'élimination des aires de diffusion à proximité des stations assignées. On garde aussi la limite de 75% de la population ainsi que le tri par densité des aires de diffusion.

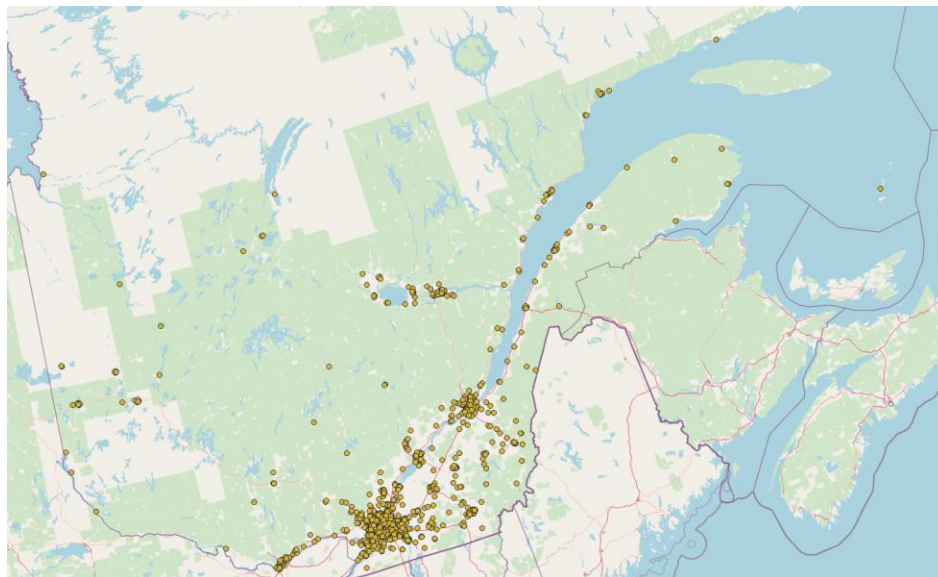


Figure 4.53 : Carte des stations de la troisième itération

Avec ces paramètres, on se retrouve avec 1247 stations assignées. La distance minimale entre les stations était précédemment de 10 kilomètres à vol d’oiseau. En distance réseau, cela correspond à deux heures de marche dans le meilleur des cas, et deux heures 53 minutes dans le pire cas. Dans cette nouvelle itération, le temps de parcours maximal à pied entre deux stations est de 20 minutes. Cette itération réduit donc le temps de parcours admissible entre deux stations par un facteur entre 6 et 8,65. Cela cause évidemment un nombre beaucoup plus élevé d’aires de diffusion pouvant accueillir une station en n’étant pas incluses dans la zone d’exclusivité d’une station déjà choisie.

Le nombre de stations choisies fait aussi en sorte que celles-ci sont très proches les unes des autres, ce qui n’est pas idéal pour un service de transport en commun interrégional. À titre d’exemple, sur le tronçon entre les stations de métro Henri-Bourassa et Sherbrooke, soit 10 stations de métro, cinq stations interrégionales sont placées.

Comme les zones d’attraction de chaque station sont beaucoup plus petites en raison de la diminution des temps de parcours délimitant celles-ci, l’influence de chaque station ajoutée est largement inférieure aux itérations précédentes. De plus, comme illustré à la Figure 4.54, la courbe de la population totale atteinte augmente plus lentement à cette itération. Alors qu’à la deuxième itération, la barre des deux millions de personnes desservies est atteinte dès la deuxième station, il faut attendre la 105^{ème} station dans le cas de la troisième itération.

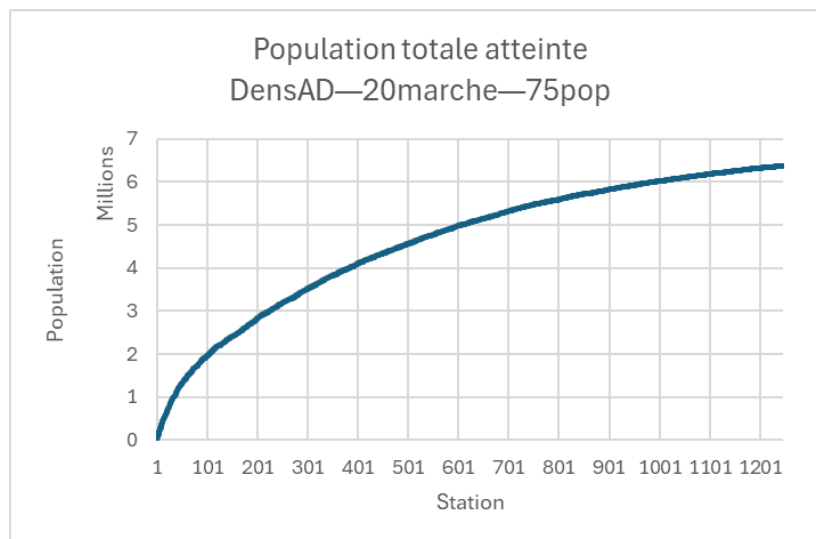


Figure 4.54 : Population totale atteinte après chaque nouvelle station à la troisième itération

De même, la population marginale de chaque station ne dépasse jamais 70000 personnes, alors que l'itération précédente pouvait atteindre plus de 156000 personnes avec sa première station. Évidemment, le rapetissement des zones d'attraction des stations explique ce phénomène. De plus, seules cinq stations contiennent plus de 40000 personnes dans leur zone d'attraction. Aussi, comme les aires de diffusion sont toujours classées par densité, la première station placée n'attire que 13000 personnes. La Figure 4.56 permet de mieux visualiser l'effet des 200 premières stations illustrées à la Figure 4.55.

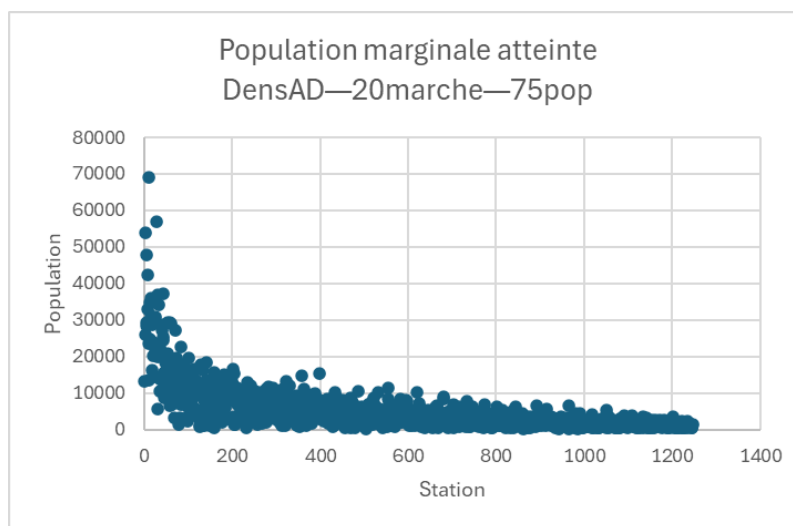


Figure 4.55 : Population marginale atteinte après chaque nouvelle station à la troisième itération

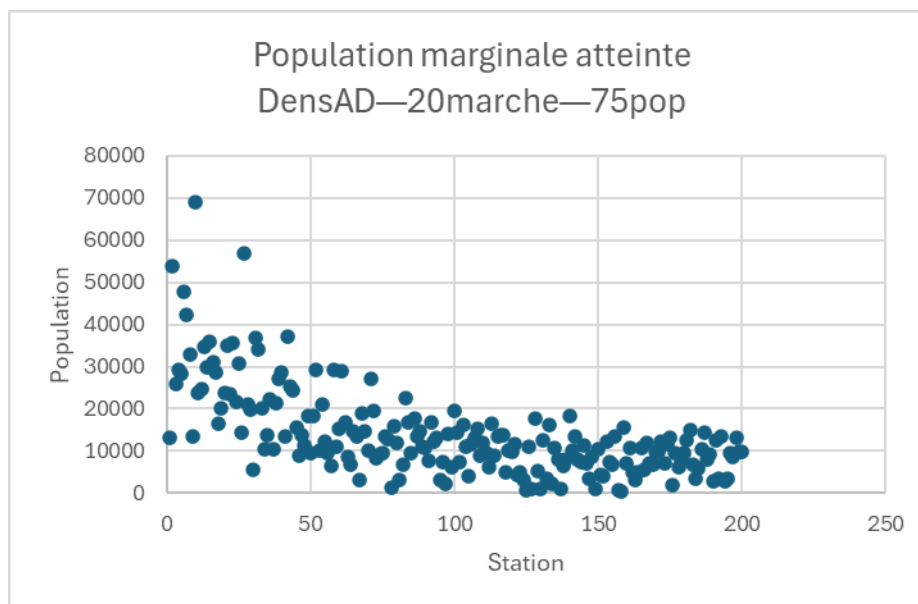


Figure 4.56 : Population marginale atteinte après chaque nouvelle station à la troisième itération (200 premières stations)

4.3.4 ScoreAD—30vélo—100pop

La quatrième itération est la première à introduire la notion de score d'accessibilité dans le but de se débarrasser du tri par densité des aires de diffusion. Celui-ci était problématique, car des aires de diffusion très petites en superficies qui contenaient quelques tours d'appartement étaient parmi les plus denses et se voyaient attribuer une station même si leur voisinage était beaucoup moins peuplé. C'est le cas d'une aire de diffusion sur l'île du Tremblay, à Laval. Les aires de diffusion sont donc maintenant classées selon la population qui peut y accéder à pied et à vélo en un certain temps.

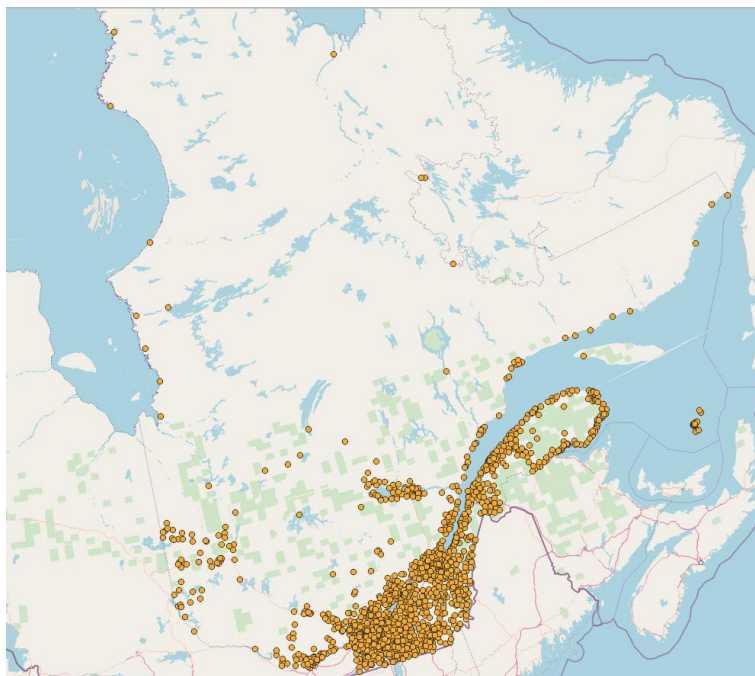


Figure 4.57 : Carte des stations de la quatrième itération

Les paramètres de ce calcul impliquent à nouveau de couvrir 100% de la population québécoise. La zone d'exclusivité et d'attraction des stations est augmentée pour couvrir toutes les aires de diffusion situées à moins de 30 minutes à vélo de la station en question. Ainsi, ces paramètres viennent respectivement augmenter et diminuer le nombre de stations potentielles. On se retrouve donc avec un nombre de stations similaire, quoique légèrement plus élevé, qu'à l'itération précédente, soit 1478 stations. Tout comme précédemment, ce nombre est trop grand pour constituer la base d'un réseau de transport en commun interrégional.

La population totale atteinte grimpe plutôt rapidement jusqu'à environ la centième station. À ce stade, 5,8 millions de Québécois ont accès à une station. Pour ce qui est de la population marginale, la Figure 4.59 montre une baisse rapide de la population marginale, mais aussi que certaines des premières stations placées n'ont pas une si grande population marginale. On peut voir les 100 premières stations placées à la Figure 4.60. L'exemple le plus extrême est certainement la vingtième station, qui n'ajoute que 1769 personnes à la couverture du réseau. À titre de comparaison, la première station couvre plus de 417000 habitants, et la 21^{ème} plus de 145000. Cela s'explique par le fait que la vingtième station placée est située tout juste en dehors de la zone couverte par une station déjà placée. Ainsi, toutes les aires de diffusion qui auraient pu être dans

sa zone de couverture calculée en fonction des 30 minutes de temps de parcours à vélo, mais qui sont déjà dans la zone d'attraction de la station précédemment placée, ne sont pas comptées dans sa population marginale. Le contraire, soit une station placée tardivement ayant une population marginale anormalement haute, ne se produit pas dans cette itération.

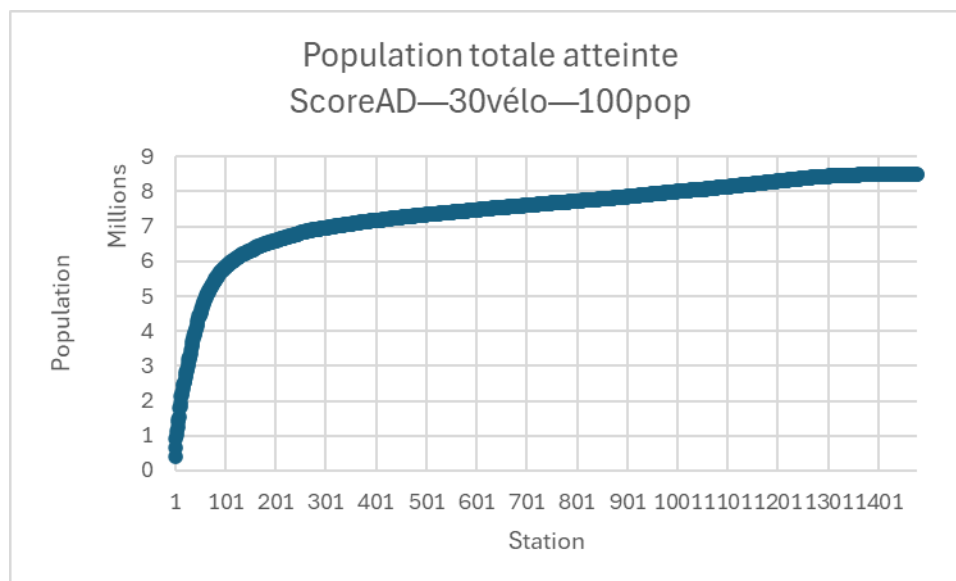


Figure 4.58 : Population totale atteinte après chaque nouvelle station à la quatrième itération

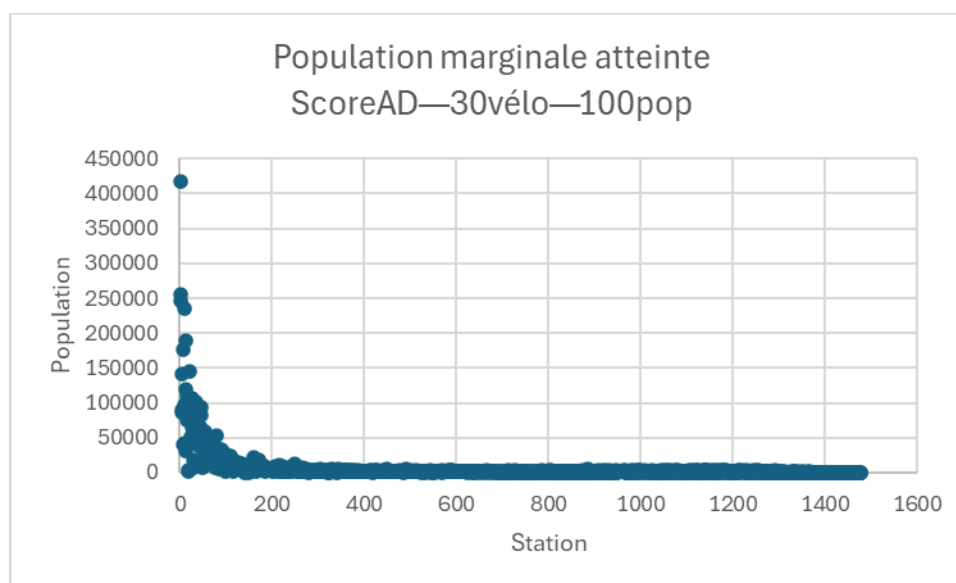


Figure 4.59 : Population marginale atteinte après chaque nouvelle station à la quatrième itération

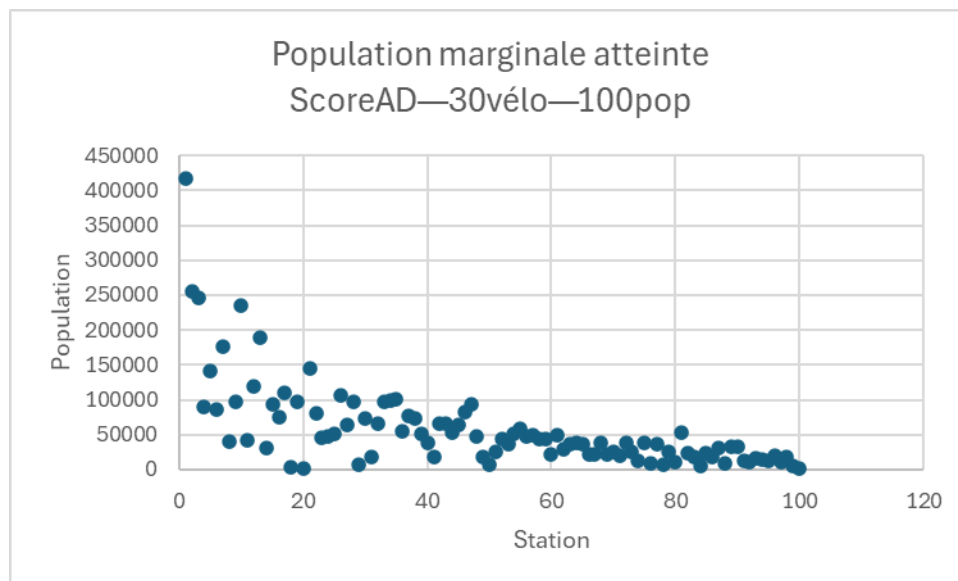


Figure 4.60 : Population marginale atteinte après chaque nouvelle station à la quatrième itération (100 premières stations)

Ensuite, puisque cette itération classe les stations par score d'accessibilité, il est possible d'évaluer la distribution du score parmi les stations choisies. La Figure 4.61 montre que la quasi-totalité des stations ont un score parmi les plus faibles. Cela est dû à la couverture de 100% de la population, et donc au nombre de stations choisies. Puisqu'on choisit des stations dans toutes les aires de diffusion isolées, cela vient gonfler le nombre de stations avec un score proche de 0.

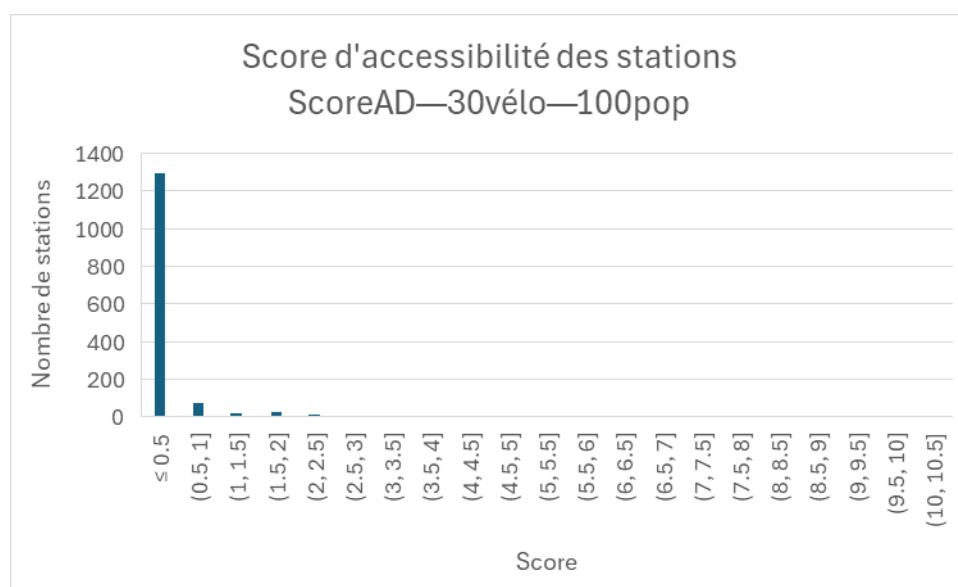


Figure 4.61 : Distribution du score d'accessibilité des stations choisies

Puis, la Figure 4.62 et la Figure 4.63 viennent démontrer qu’il existe une certaine corrélation entre le score des stations et la densité de leur aire de diffusion ainsi qu’avec leur population marginale. En règle générale, une aire de diffusion avec une grande densité est entourée d’autres aires de diffusion ayant une densité similaire. Ainsi, le nombre de personnes atteignables en 30 minutes est lui aussi plutôt élevé. La plus forte corrélation entre le score et la population marginale n’est pas surprenante, puisque les deux mesures proviennent de la population des aires de diffusion autour. Le fait que le coefficient de corrélation ne soit pas de 1 illustre le phénomène décrit plus haut où les stations placées en premier viennent cannibaliser la population marginale des stations placées plus tardivement. Bien que cela se reflète de manière négative pour certaines stations, c’est un phénomène souhaitable, puisque cela signifie que les gens dont la station la plus proche a une population marginale plus petite ont souvent une autre station à proximité. On a donc du potentiel pour une complémentarité du réseau.

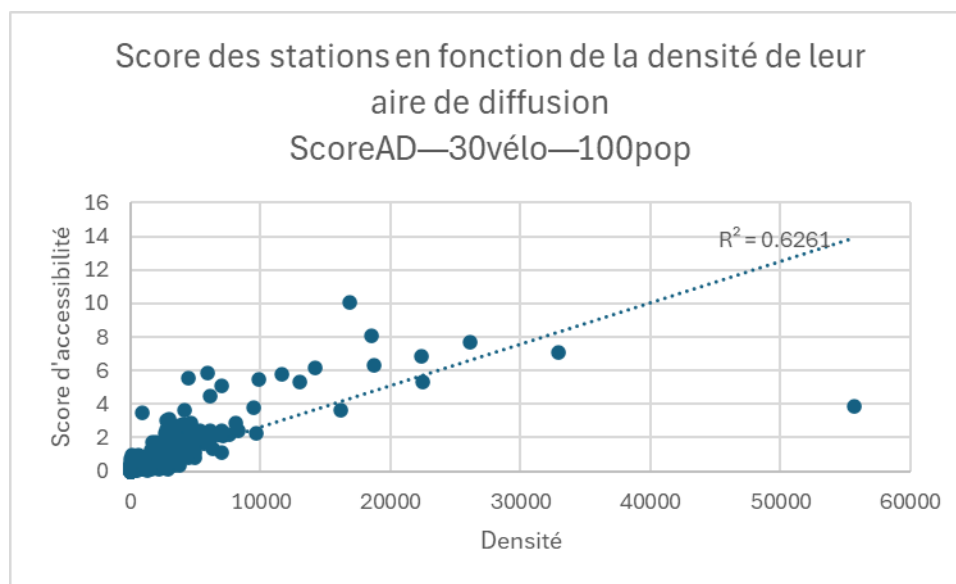


Figure 4.62 : Score des stations choisies selon la densité de leur aire de diffusion

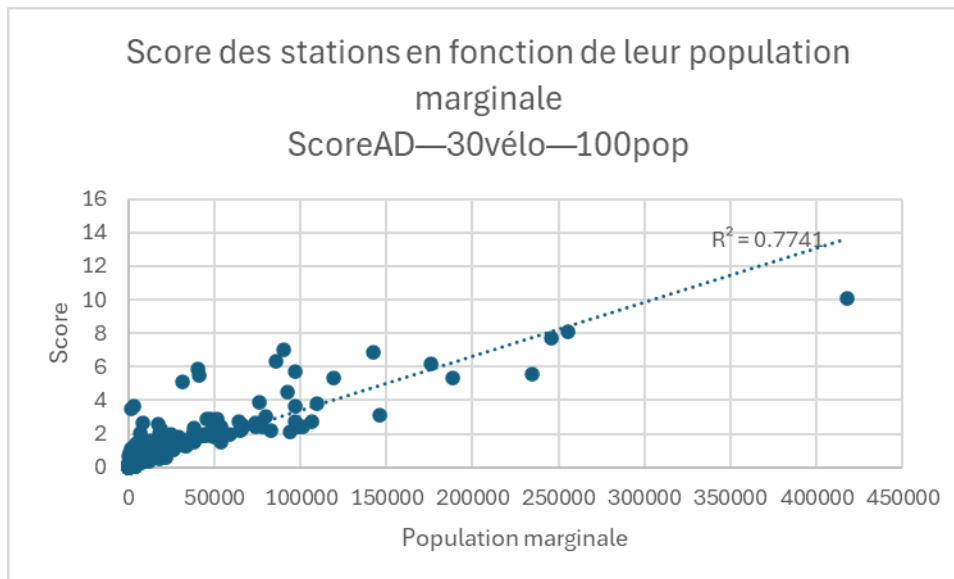


Figure 4.63 : Score des stations choisies selon leur population marginale

4.3.5 ScoreAD—30vélo—30score

La cinquième itération vise à restreindre les aires de diffusion pouvant accueillir une station afin de limiter le nombre de stations à la fin de l'exécution de la méthodologie. Pour ce faire, seules les aires de diffusion dont le score est dans le plus haut 70% sont considérées. Le calcul d'accès se fait tout de même avec toutes les aires de diffusion. Le tri se fait toujours par le score et la zone d'attraction des stations est calculée avec un temps de parcours de 30 minutes à vélo.

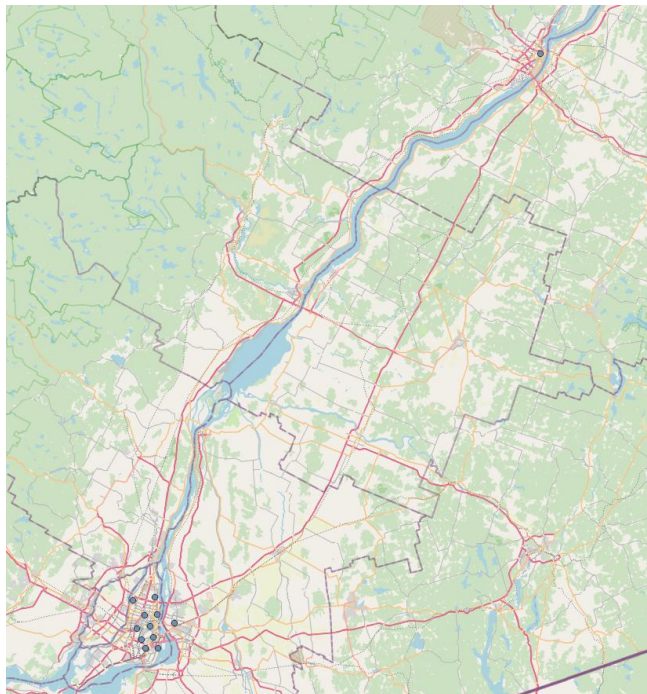


Figure 4.64 : Carte des stations de la cinquième itération

On se retrouve toutefois avec le problème inverse qu'à la quatrième itération. La distribution des scores de toutes les aires de diffusion est tellement déséquilibrée que de limiter les aires de diffusion candidates à celles qui ont un score supérieur à 30% de la valeur maximale fait en sorte que l'on se retrouve avec seulement 12 stations placées. De plus, parmi ces stations, dix sont à Montréal, une à Longueuil et une à Québec. Relier seulement deux RMR n'est pas un réseau interrégional.

Le graphique de population totale atteinte présenté à la Figure 4.65 a une forme différente des graphiques des itérations précédentes. Étant donné qu'il n'y a que 12 stations, on n'atteint pas le point où l'augmentation de la population totale commence à stagner. Cela explique la forme plus linéaire de ce graphique comparativement aux autres. On peut aussi y voir que ces 12 stations couvrent près de deux millions de gens. Sur la Figure 4.66, les trois premières stations ont une population marginale supérieure au reste des stations, mais la baisse que l'on voit sur les graphiques précédents ne se produit pas. Cela est probablement dû à la petite quantité de stations. Les deux points qui divergent de la tendance à la baisse au fur et à mesure que l'on ajoute des stations sont les septième et dixième points. Leur population marginale plus s'explique par le fait qu'ils

représentent les deux stations assignées en dehors de Montréal. Ainsi, ils n'ont pas de concurrence avec des stations déjà placées pour l'ajout de population desservie.

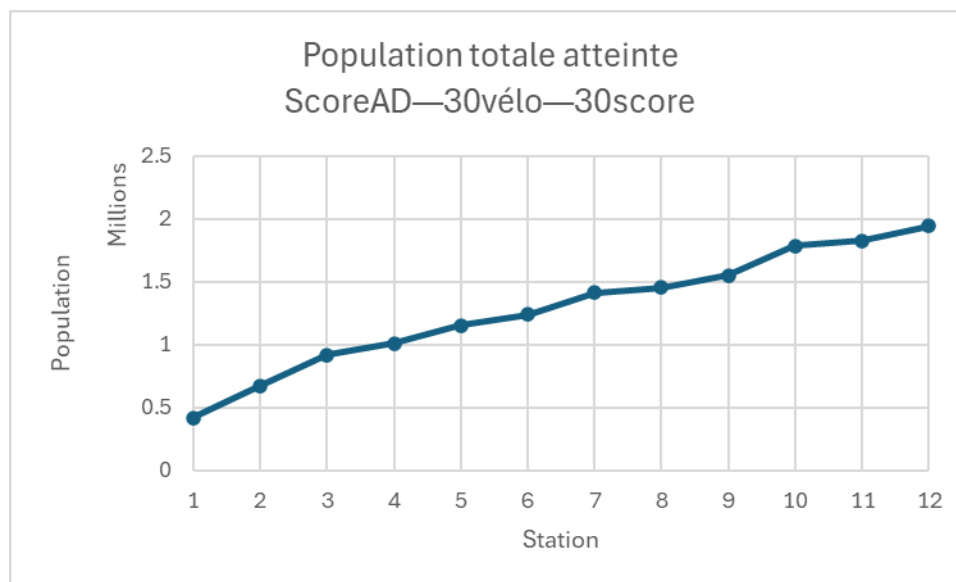


Figure 4.65 : Population totale atteinte après chaque nouvelle station à la cinquième itération

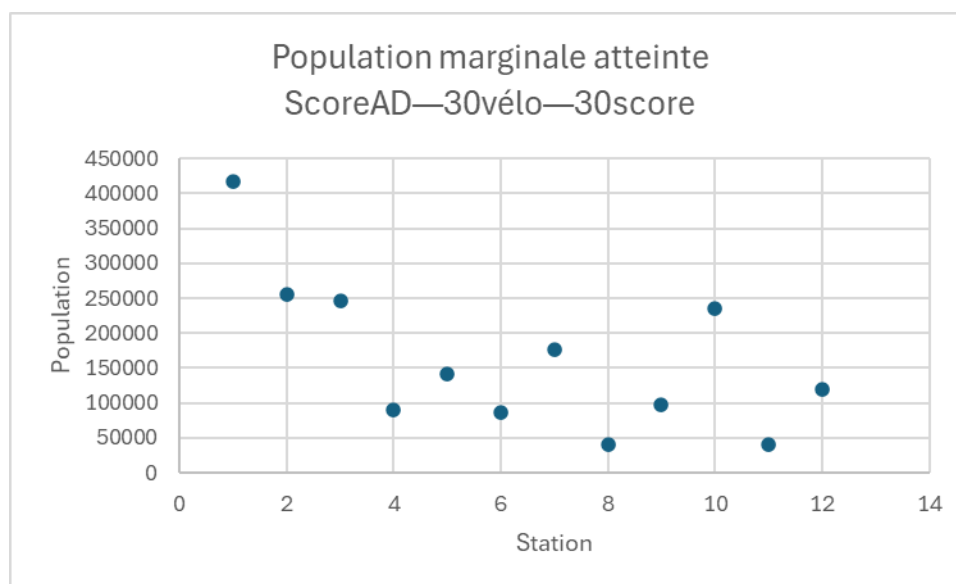


Figure 4.66 : Population marginale atteinte après chaque nouvelle station à la cinquième itération

Puis, la Figure 4.67 montre l'effet de ne retenir que les scores supérieurs à 30% du score maximal. Alors qu'à la quatrième itération, les scores sous 0.5 formaient l'écrasante majorité de la distribution, aucun score n'est sous 5 ici. Puisque le score minimal pour qu'une aire de diffusion

soit candidate à accueillir une station était d'environ 3, on peut considérer que l'attribut limitant dans l'attribution des stations était l'atteinte de la population souhaitée plutôt que le score lui-même.

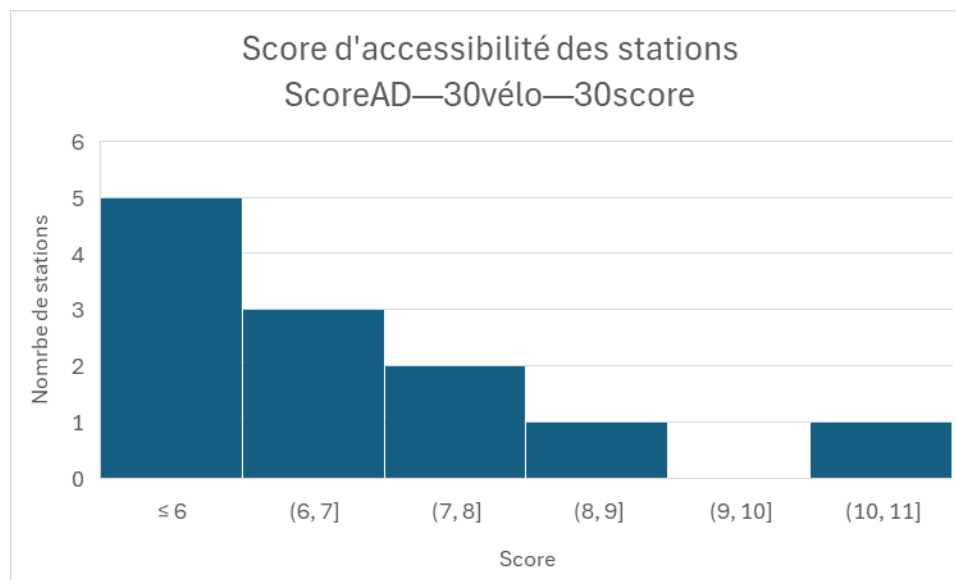


Figure 4.67 : Distribution du score d'accessibilité des stations à la cinquième itération

4.3.6 ScoreAD—30vélo—10score

La sixième itération ne fait que changer le score minimal requis pour qu'une aire de diffusion soit considérée comme pouvant avoir une station de transport en commun interrégional. Celui-ci est maintenant de 10% du maximum au lieu de 30%. Avec ce changement de paramètre, on atteint un total de presque 5 millions de personnes avec 60 stations.

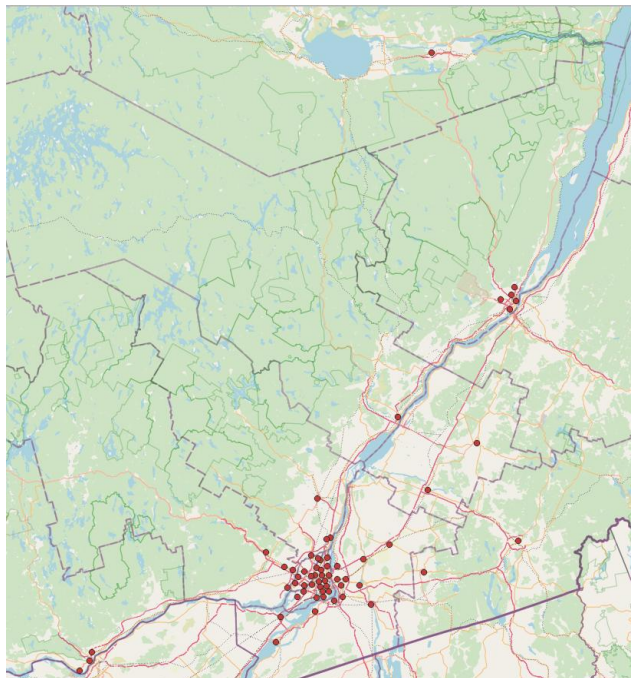


Figure 4.68 : Carte des stations de la sixième itération

La carte à la Figure 4.68 montre la distribution géographique des stations pour la sixième itération. On peut voir une grande amélioration par rapport à l'itération précédente grâce à l'abaissement du score requis pour qu'une aire de diffusion puisse accueillir une station. Alors que l'itération précédente ne plaçait des stations qu'à Montréal, Québec et Longueuil, on voit des stations à Gatineau, Sherbrooke, Trois-Rivières et Saguenay par exemple. On constate toutefois que 19 des 60 stations sont sur l'île de Montréal, et près des trois quarts sont dans la RMR de Montréal.

La population totale atteinte croit de façon plutôt linéaire, alors que la population marginale est plus erratique. La dixième station a une population marginale plus élevée que les stations l'entourant. Il s'agit de la première station placée à Longueuil après huit stations à Montréal. Au contraire, les 18^{ème} et 20^{ème} stations n'ajoutent que quelques milliers de gens pouvant atteindre le transport en commun interrégional en moins de 30 minutes à vélo. Il s'agit de la station dans le Sud-Ouest de Montréal et de celle à proximité de Langelier et l'autoroute métropolitaine. En général, les stations situées en zone urbaine dont la population marginale est plus basse ont une zone atteignable en 30 minutes de vélo qui chevauche partiellement la zone d'une station déjà placée. Ainsi, la population ajoutée par la nouvelle station n'est pas aussi grande, car une partie de

sa zone d'attraction est déjà comptabilisée dans la population marginale d'une station précédente. Cela signifie que cette nouvelle station vient à la fois couvrir une nouvelle population, mais aussi fournir une deuxième option à une population déjà desservie.

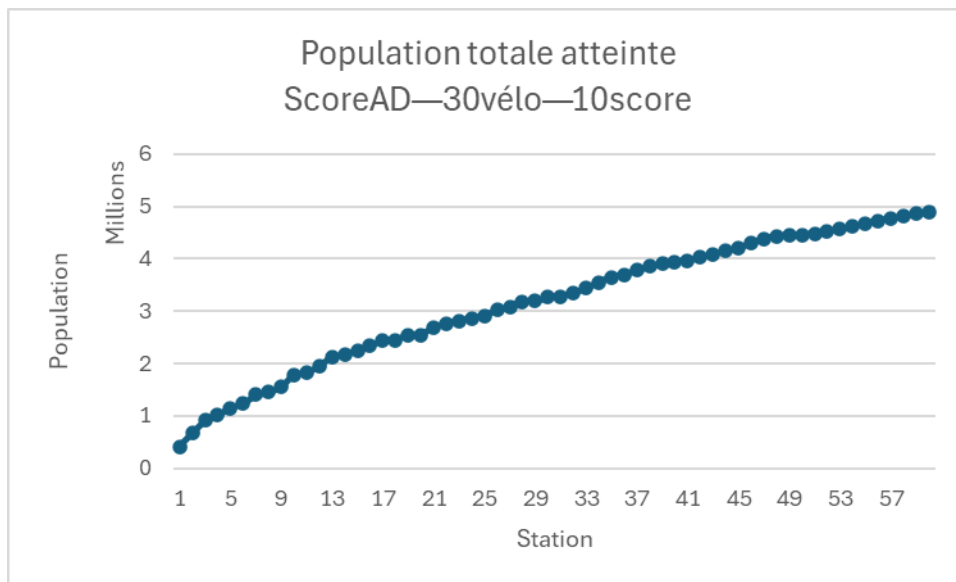


Figure 4.69 : Population totale atteinte après chaque nouvelle station à la sixième itération

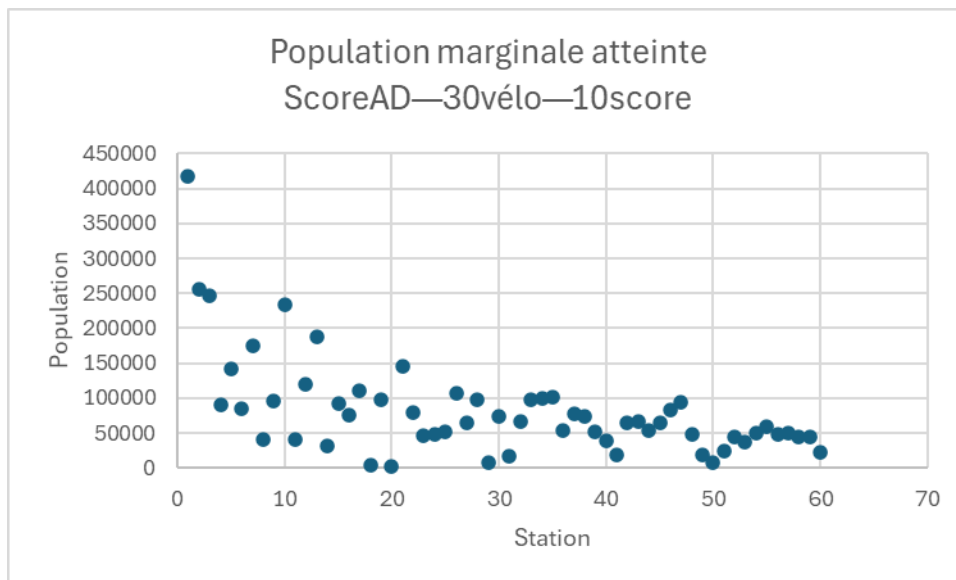


Figure 4.70 : Population marginale atteinte après chaque nouvelle station à la sixième itération

La distribution des scores d'accessibilité se situe entre celles des deux itérations précédentes. En ayant plus de stations avec un critère de score minimum plus bas, on se retrouve

avec plus de stations, notamment avec des scores entre 1 et 4, tout en gardant une proportion importante de stations avec un score supérieur à 5. De plus, on évite d'avoir une majorité de stations dont le score est inférieur à 0,5.

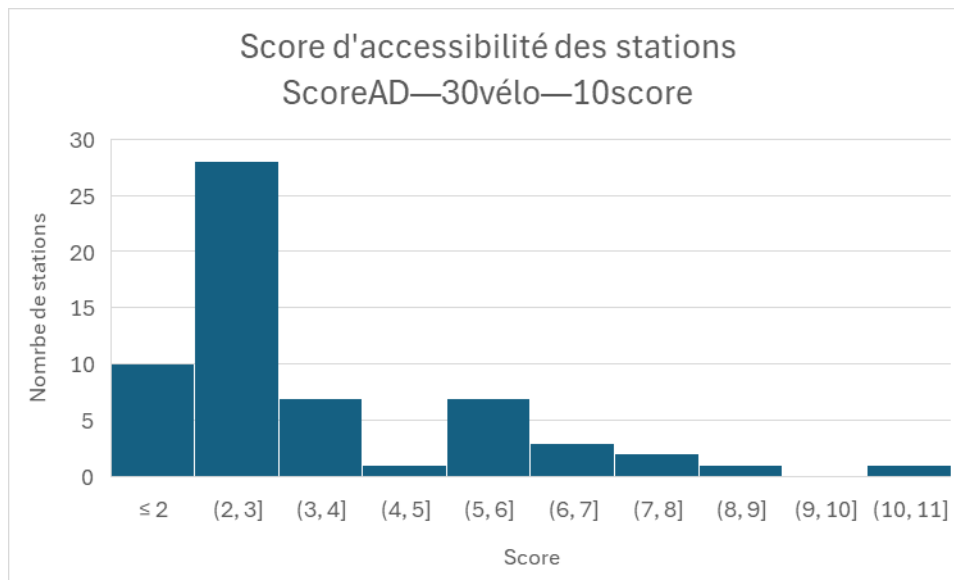


Figure 4.71 : Distribution du score d'accessibilité des stations à la sixième itération

4.3.7 Méthode finale ScorePondéréAD—30vélo—10score(75pop)

La septième itération ainsi que la méthodologie finale présentent les mêmes résultats, même si les paramètres d'entrée sont légèrement différents. La septième itération raffine le concept du score et introduit des coefficients aux différentes parties de la somme formant le score afin de former un score pondéré par la distance. Ces coefficients font en sorte que l'influence de la population de l'aire de diffusion elle-même est plus grande que l'influence de la population à 30 minutes de vélo. La dernière itération combine les critères signifiant la fin du processus de positionnement des stations en un seul.

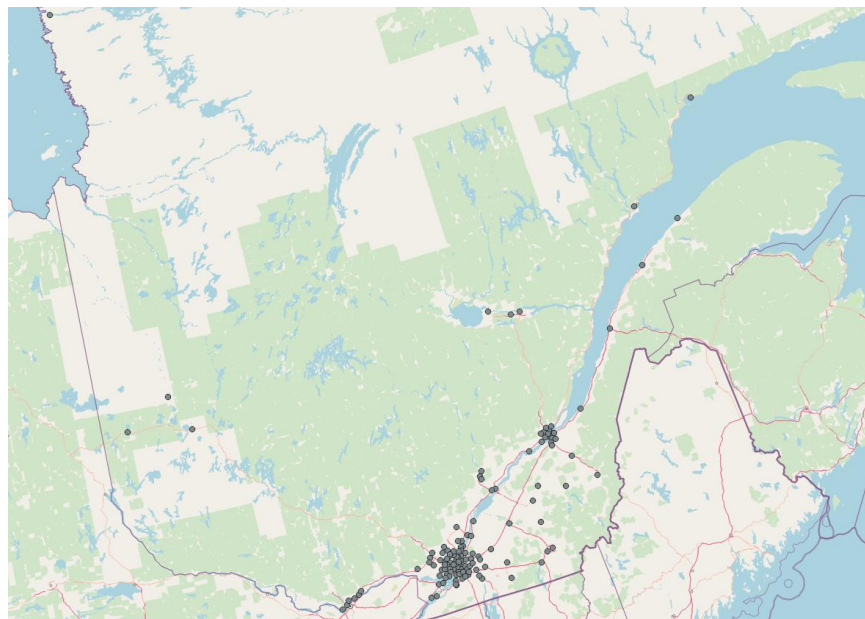


Figure 4.72 : Carte des stations de la septième et de la dernière itération

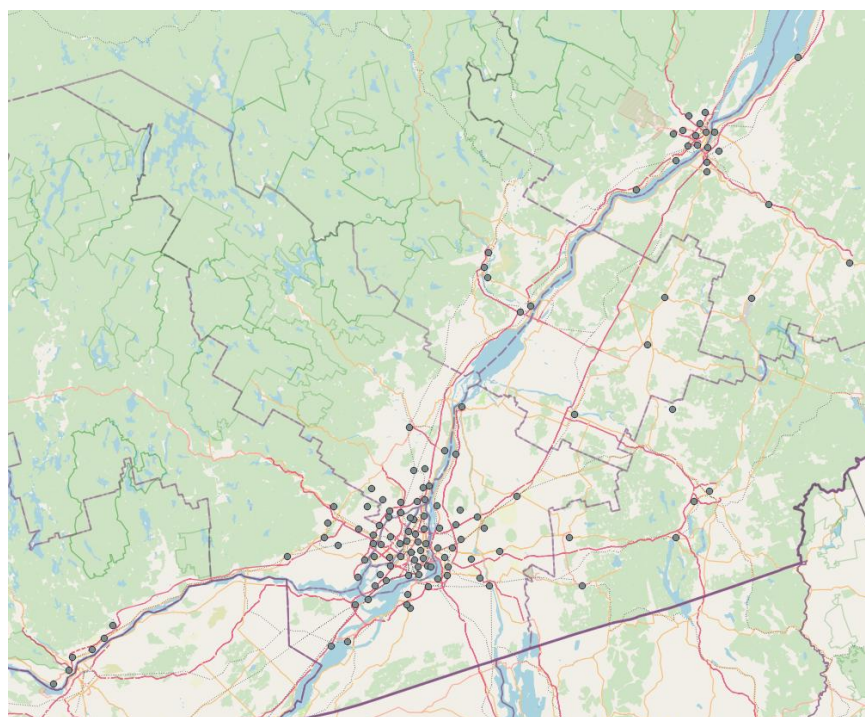


Figure 4.73 : Carte des stations du sud du Québec dans la septième et la dernière itération

On peut voir sur la Figure 4.72 et la Figure 4.73 que la distribution géographique des stations est plus équilibrée entre les régions. Quelques stations sont ajoutées dans des régions qui en n'avaient qu'une, par exemple au Saguenay—Lac-Saint-Jean ou en Mauricie. De plus, la Côte-

Nord, le Bas-Saint-Laurent, le Nord-du-Québec et l'Abitibi-Témiscamingue sont enfin desservies. Le seul bémol est que l'on se retrouve avec encore plus de stations dans la RMR de Montréal, particulièrement sur l'île. 22 des 134 stations prévues sont sur le territoire de la ville de Montréal ou sur l'île et Québec reçoit neuf stations.

Cette solution dessert toutes les villes principales ainsi que les villes moyennes du Québec décrites par Ali Zadeh (2022). De plus, 13 des 16 petites villes reçoivent une station de transport en commun interrégional avec la méthodologie finale. Il faut mentionner que les trois petites villes n'ayant pas de station sont les trois moins peuplées de cette catégorie. Cependant, il pourrait être intéressant de les ajouter, car certaines plus petites villes, comme Gaspé, ont une forte demande touristique durant l'été.

La population atteinte par cette dernière itération est de presque 6,2 millions de personnes, ce qui correspond à environ 73% de la population québécoise. L'augmentation de la population ralentit au fur et à mesure que l'on ajoute des stations, comme le montrent la Figure 4.74 et la Figure 4.75. Certaines stations ajoutent étonnamment très peu de personnes à la population atteinte en raison de la compétition entre les gares, telle que décrite à la section précédente. Toutefois, cela n'est pas nécessairement une mauvaise chose, puisque cela fournit plusieurs options aux habitants des zones qui sont dans la zone d'attraction de deux stations ou plus. Ici, ces stations sont situées à Montréal, dans les mêmes quartiers qu'à l'itération précédente.

Au contraire, certaines stations semblent dépasser les attentes par rapport aux stations placées tout juste avant ou après. Ces stations sont notamment situées dans Pierrefonds, Trois-Rivières, Rock Forest et Chicoutimi. Dans ces quatre cas, les stations sont les premières placées dans leur région. Ainsi, elles n'ont pas de compétition pour l'attraction de la population, ce qui explique leur population marginale plus élevée.

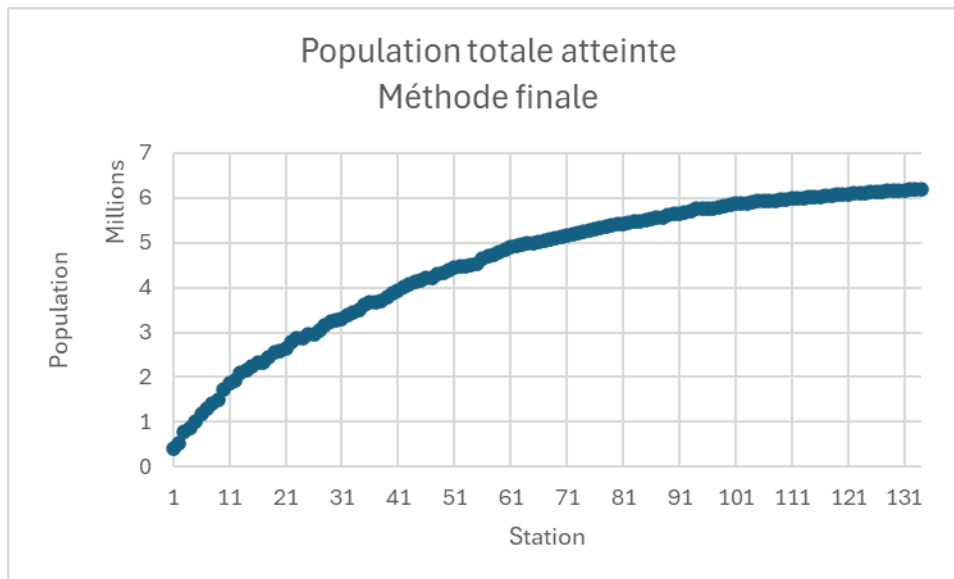


Figure 4.74 : Population totale atteinte après chaque nouvelle station à la septième et la dernière itération

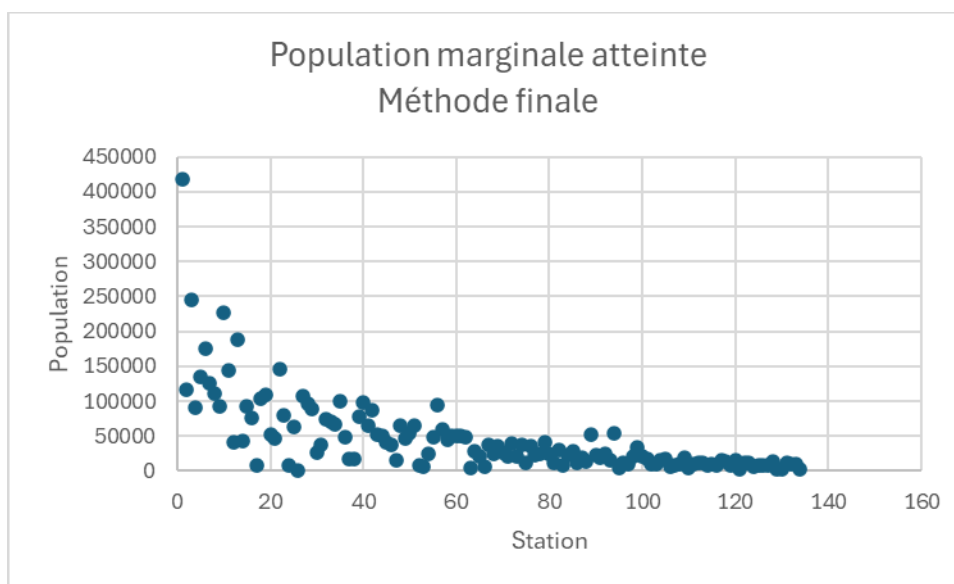


Figure 4.75 : Population marginale atteinte après chaque nouvelle station à la septième et la dernière itération

La Figure 4.76 montre la distribution des scores pondérés par la distance. Alors que les scores non-pondérés pouvaient théoriquement aller de 0 à 13, les scores pondérés ont une étendue entre 0 et 49 en raison de l'ajout des coefficients multipliant les différents éléments de la somme formant le score. Ici, puisqu'on choisit seulement les aires de diffusion ayant un score pondéré plus

haut que 10% du maximum, la distribution se situe environ entre 34 et 3,4. La plupart des aires de diffusion ont toutefois un score pondéré se situant entre 4 et 10. Seules 15 des 134 stations choisies ont un score pondéré au-dessus de 16.

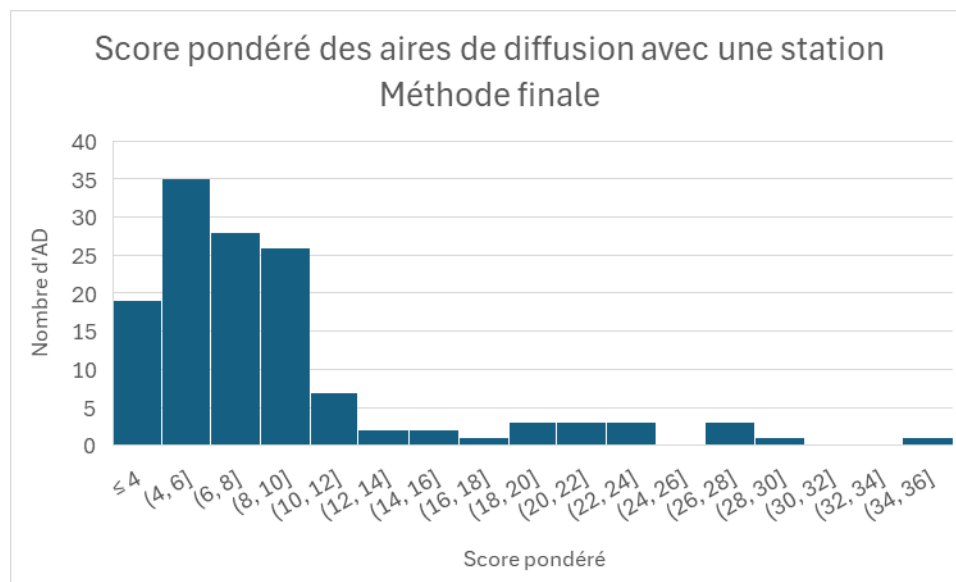


Figure 4.76 : Distribution des scores pondérés par la distance à la septième et la dernière itération

4.3.7.1 Ajustements manuels à ScorePondéréAD—30vélo—75pop10score

Bien qu'il s'agisse de la méthodologie finale, certains éléments problématiques pour un réseau de transport en commun semble compliqués à résoudre et nécessitent des ajustements manuels. Par exemple, certaines stations sont situées dans des aires de diffusion ayant plusieurs regroupements d'habitations. Cela fait en sorte que leur centre de population se retrouve éloigné du réseau routier. Ainsi, bien que ces stations soient probablement à moins de 30 minutes à vélo d'une station précédemment placée, un bogue des calculs d'itinéraires de Transition fait en sorte qu'elles ne sont pas atteignables du tout à vélo, et sont donc placées malgré qu'elles ne répondent pas réellement aux critères de la méthodologie. Deux exemples de telles stations sont donnés par la Figure 4.77 et la Figure 4.78. La première montre une station en plein milieu d'un terrain de golf, donc inatteignable par la population puisqu'il s'agit d'un terrain privé. Cette station n'est donc pas pertinente, mais pourrait devenir le point central d'un quartier TOD si le terrain de golf devait un jour être redéveloppé. La deuxième montre une station dans un champ qui n'est pas non plus accessible.

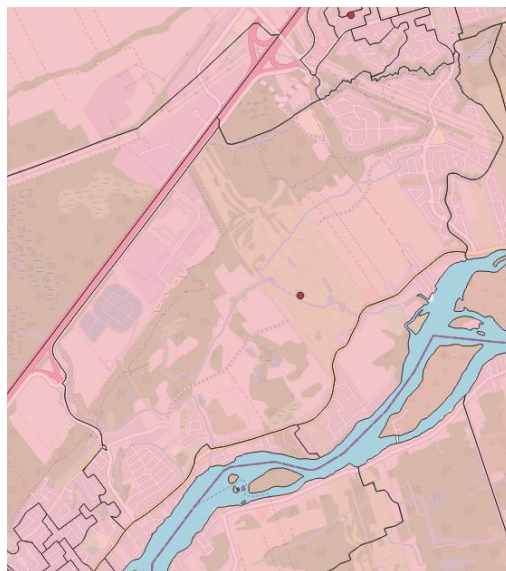


Figure 4.77 : Station assignée à une aire de diffusion de Terrbonne

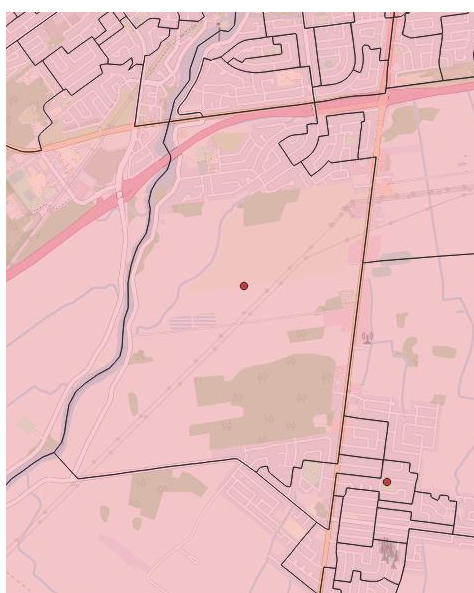


Figure 4.78 : Station assignée à une aire de diffusion de Mercier

4.3.7.2 Consolidation et complémentarité des stations

Un autre problème est la quantité de stations au sein des régions métropolitaines. Il pourrait être pertinent d'envisager un réseau avec plusieurs stations dans les métropoles, comme cela se fait avec les stations terminales des grandes villes européennes. Dans plusieurs villes, il y a quelques gares agissant comme terminus pour une partie des destinations de longue distance qui sont reliées

entre elles par le réseau local de transport en commun. Dans le cas de Montréal, cela reviendrait à avoir par exemple une station dans le Sud-Ouest ou Dorval pour aller à Ottawa, à Gatineau et en Abitibi, une station dans Saint-Michel pour les trajets vers le Bas-Saint-Laurent, une station dans Saint-Laurent pour rejoindre les Laurentides ainsi qu'une station au centre-ville pour aller à Québec ou Sherbrooke. Toutefois, il faut aussi considérer que le service ne doit pas nécessairement passer par toutes les stations à chaque fois. Ainsi, il serait possible d'avoir un service express se rendant directement à la station terminale associée sur l'île de Montréal, par exemple la station à Saint-Michel pour les trajets provenant de l'est du Québec, ainsi qu'un service local qui pourrait arrêter aux stations situées dans Saint-Léonard, Tétéreaultville et Pointe-aux-Trembles avant de rejoindre son terminus.

Cette consolidation pourrait se baser sur les réseaux de transport en commun locaux, d'autant plus que ceux-ci n'ont pas pu être inclus dans le calcul du score d'accessibilité des aires de diffusion pour des raisons de temps de calcul. La carte à la Figure 4.79 montre toutes les stations de la RMR de Montréal étant situées à proximité du réseau local en jaune. Certaines sont à un seul coin de rue d'une station de métro, d'autres à côté du REM ou du train de banlieue.

Au total, six stations sont à moins d'un kilomètre à vol d'oiseau du métro ou du REM. Ce chiffre monte à dix stations lorsqu'on prend en compte le réseau ferroviaire opéré par exo. Pour un rayon de deux kilomètres, on passe à dix stations autour des réseaux du métro et du REM, et 26 stations avec le réseau d'exo.

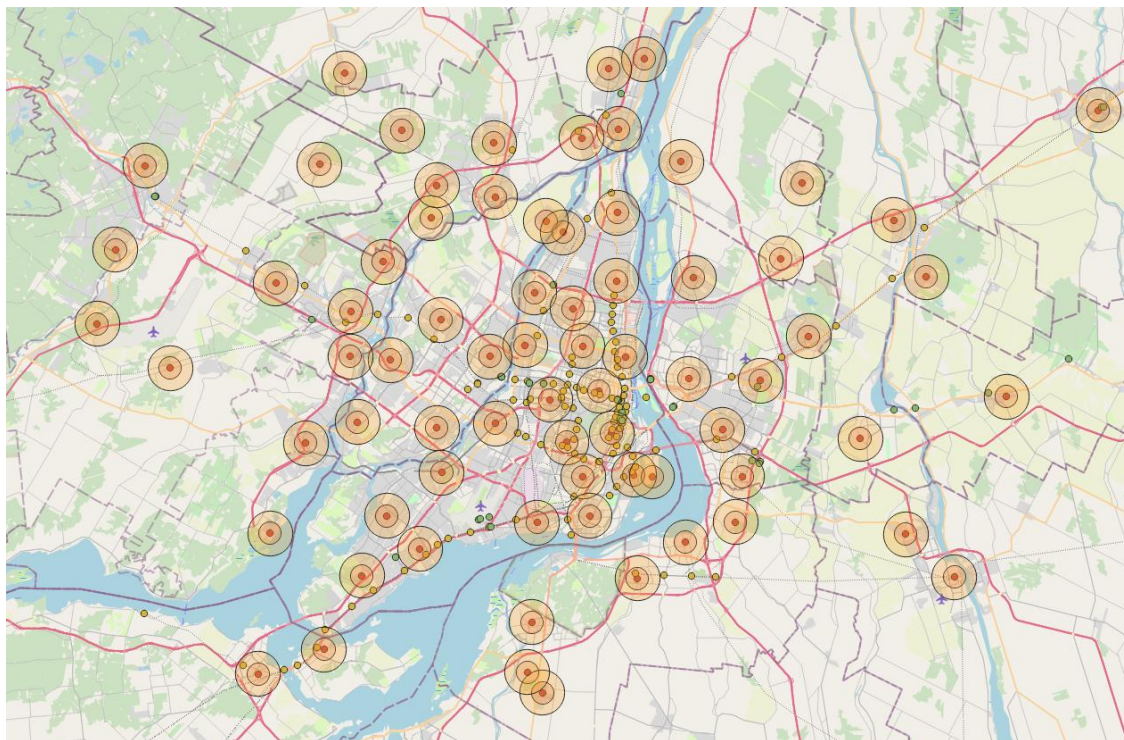


Figure 4.79 : Stations à proximité du réseau local de transport en commun dans la RMR de Montréal

D'autres stations sur cette carte sont moins proches du réseau existant, mais pourraient le devenir. Dans l'est de Montréal, une station pourrait s'arrimer à un futur projet structurant de l'est. À l'île des Sœurs, la station placée au sud de l'île pourrait être déplacée vers la station du REM, étant donné que le REM est situé à l'entrée de l'île.

La consolidation peut se faire à l'aide du réseau existant, et devrait être plus évidente si le score d'accessibilité des aires de diffusion finit par prendre en compte la population ayant accès à chaque AD en moins de 30 minutes de transport en commun. Un exemple concerne plusieurs stations de la Rive-Nord de Montréal. Les stations situées à Blainville, Sainte-Thérèse, Repentigny et Terrebonne sont toutes relativement proches d'un chemin de fer déjà existant et utilisé par exo ou VIA Rail.

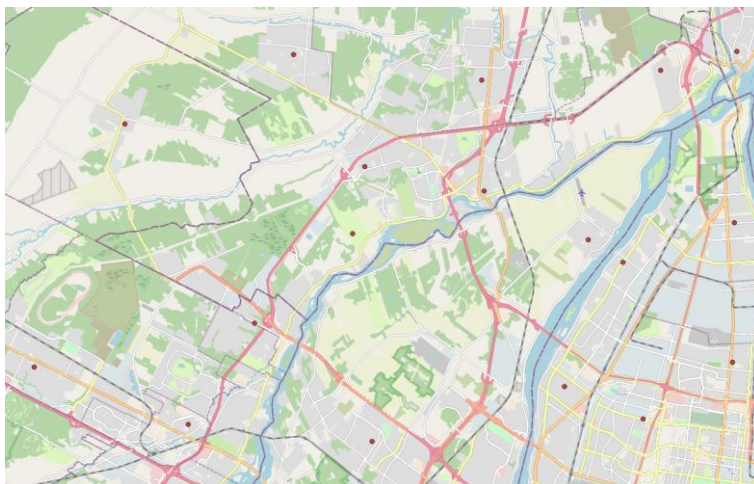


Figure 4.80 : Stations à proximité des chemins de fer d'exo et de VIA Rail sur la Rive-Nord de Montréal

De plus, ce projet pourrait servir de catalyseur dans la planification de réseaux de transport locaux. Si une ville se voit attribuer plusieurs stations interrégionales par la méthodologie proposée, il serait intéressant d'en sélectionner quelques-unes, mais de relier les autres par un mode de transport en commun structurant. Un exemple intéressant est la ville de Gatineau, tel que présenté à la Figure 4.81. Celle-ci a un projet de tramway dans ses plans. Or, la méthodologie proposée lui attribue six stations interrégionales. Une option à envisager serait par exemple d'utiliser les stations proposées à Buckingham et au centre-ville comme deux stations de transport interrégional, mais de relier ces deux stations ainsi que les quatre autres proposées avec le projet de tramway.



Figure 4.81 : Stations de transport en commun interrégional attribuées à Gatineau

Au niveau interrégional, on trouve que 18 stations proposées par la méthodologie décrite plus haut sont à moins d'un kilomètre à vol d'oiseau d'un arrêt de transport en commun interrégional desservi par un opérateur de bus interrégional ou VIA Rail. Pour un rayon de deux kilomètres, la méthodologie propose 35 stations à moins d'une telle distance d'un arrêt de transport en commun interrégional.

4.4 Analyse de sensibilité et comparaison des étapes de la méthodologie

Les deux paramètres principaux de la méthodologie étaient le score minimal requis pour qu'une aire de diffusion soit considérée comme candidate pour une station, ainsi qu'une limite supérieure de population desservie. Ces deux paramètres visaient à restreindre les stations proposées à un nombre réaliste en évitant de desservir toutes les aires de diffusion, peu importe leur population, densité, voisinage ou accessibilité. Ces paramètres ont évolué tout au long du développement de la méthodologie.

4.4.1 Analyse de sensibilité des paramètres

Le premier paramètre utilisé pour limiter le nombre de stations attribuées était la population desservie, car le score n'est apparu qu'après quelques tentatives de développement de la méthodologie. Le problème que venait régler cette limite sur le service était que toutes les aires de diffusion étaient à moins d'une certaine distance ou d'un certain temps de parcours d'une station. Cela faisait en sorte que des aires de diffusion très isolées et avec une faible population se voyaient attribuer une station. Limiter la population desservie permettait d'éviter ces situations. On peut le voir sur les Figure 4.82 et Figure 4.83. La première montre que le nombre de stations augmente de plus en plus vite au fur et à mesure que l'on veut desservir une plus grande proportion de la population. Cela s'explique par le fait que les premières stations sont souvent situées dans des zones très denses, ce qui augmente le bassin de population pouvant les atteindre en moins de 30 minutes à vélo. Ainsi, s'il faut dix stations pour couvrir 20% de la population québécoise, le nombre de stations est plus que triplé pour desservir le double de la population, soit 33 stations pour 40% de la population. De même, pour couvrir 60% de la population, on tombe à 69 stations, ce qui est presque sept fois plus que pour une couverture trois fois moindre.

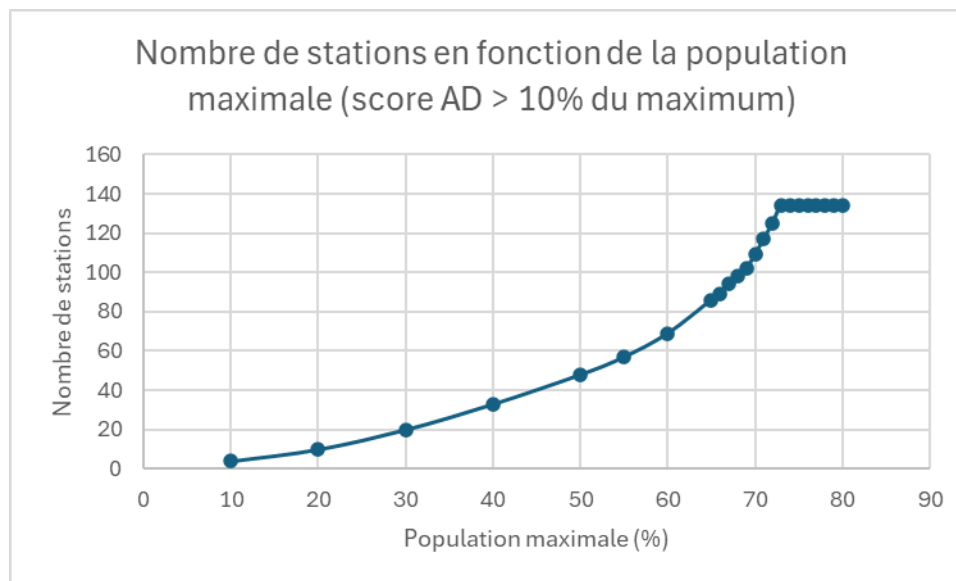


Figure 4.82 : Nombre de stations placées selon la limite de population desservie

Ensuite, on voit que la Figure 4.83 est presque linéaire, ce qui est attendu. En effet, l'ajout de la station faisant basculer la population desservie au-dessus du seuil voulu n'a pas un effet remarquable sur la population desservie à cette échelle. Par exemple, 10% de la population représente 850183 personnes, mais pour couvrir 10% de la population, la dernière station placée fait passer la population desservie à 870784 personnes. Il y a donc toujours une légère différence entre le pourcentage de couverture de la population voulu et la population réellement atteinte, mais celle-ci est trop minime pour être vue sur la Figure 4.83. Cependant, ce qui peut être vu plus facilement sur cette figure est que l'on atteint un plateau éventuellement, ce qui est le résultat voulu afin de limiter l'attribution des stations. Ainsi, lorsqu'on limite les aires de diffusion candidates à celle ayant un score pondéré supérieur à 10% du maximum, on ne peut plus attribuer de gares à partir de 73% de la population québécoise, même si le critère de population indique de continuer jusqu'à l'atteinte du 80%. Ainsi, avec un paramètre de score minimal requis de 10% du score maximal, la population maximale à couvrir est le critère limitant lorsqu'elle est en-dessous de 73%.

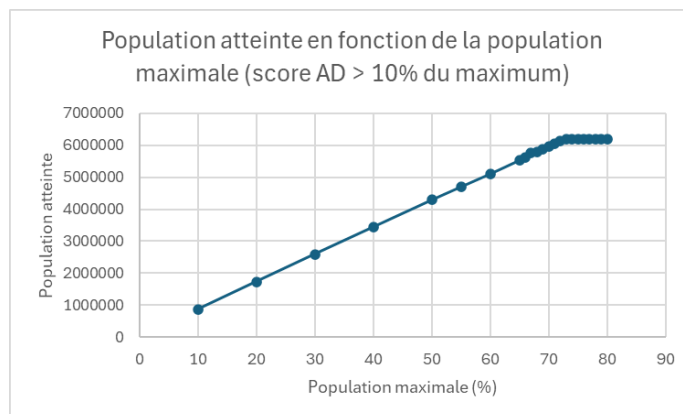


Figure 4.83 : Population desservie par les stations selon la limite de population desservie

À l'inverse, on peut aussi étudier l'effet de l'autre paramètre de la méthodologie, soit le score minimal requis. Chaque aire de diffusion reçoit un score. On peut donc limiter les aires de diffusion pouvant recevoir une station à celles ayant un score qui est au-dessus d'un seuil par rapport au score maximal. C'est ce qu'illustrent les Figure 4.84 et Figure 4.85. Sur cette première, on voit que le nombre de stations diminue drastiquement avec l'augmentation du score minimal requis pour qu'une aire de diffusion soit candidate à l'accueil d'une station. À 5% du maximum, on peut placer 252 stations, alors qu'on ne peut en placer que 134 à 10% du maximum et 67 à 20% du maximum. Le nombre de stations diminue de plus en plus lentement lorsqu'on augmente le score minimal requis. Cela est causé par le score très haut de seulement quelques stations. Ainsi, lorsque l'on limite les aires de diffusion candidates à un score supérieur à 80% du maximum, seules quelques-unes sont encore éligibles. On ne peut donc en placer que trois.

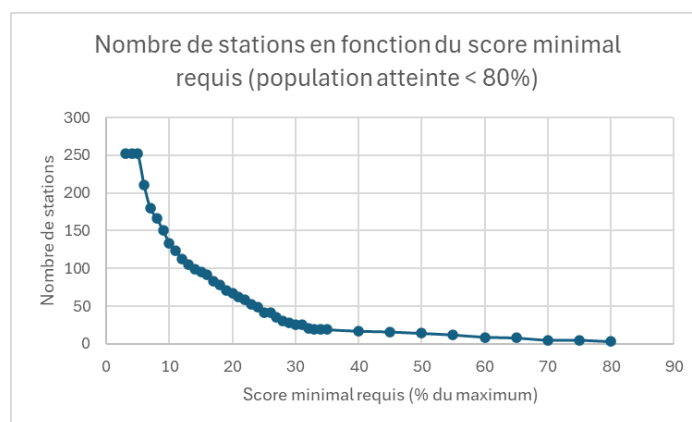


Figure 4.84 : Nombre de stations placées selon le score minimal requis pour qu'une AD soit candidate

La population atteinte par les stations proposées diminue plus rapidement lorsque le score minimal requis est plus bas. La différence entre le nombre d'aires de diffusion candidates est plus grande lorsque les scores requis sont plus petits, ce qui limite les possibilités de positionnement de stations, et en conséquent, la population pouvant être desservie.

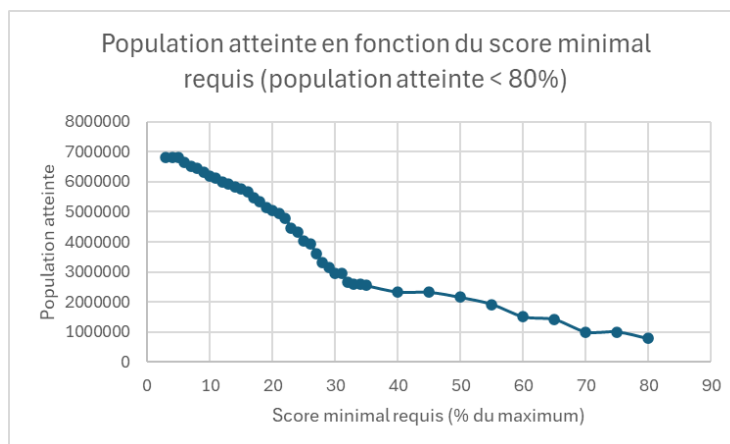


Figure 4.85 : Population atteinte selon le score minimal requis pour qu'une AD soit candidate

Dans les deux figures ci-dessus, on peut voir qu'un plateau est atteint lorsque le score minimal requis est sous 5%. Cela signifie que le score requis est le critère limitant lorsqu'il est au-dessus de 5% du maximum et que l'on veut couvrir 80% de la population québécoise. Ainsi, dans les cas où le score requis est inférieur ou égal à 5% du maximum, la méthodologie aura comme résultat un ensemble de 252 stations couvrant 6,8 millions de personnes, peu importe le seuil de score spécifié.

4.4.2 Comparaison des étapes de la méthodologie

Le Tableau 4 permet d'avoir en un clin d'œil l'évolution de la méthodologie avec toutes ses combinaisons de paramètres. Chaque ligne du tableau indique la méthode de tri des aires de diffusion candidates dans l'attribution séquentielle des stations, le critère d'élimination des stations à proximité lors du choix de chaque nouvelle station, les deux principaux paramètres, ainsi que les résultats, soit le nombre de stations placées et la population desservie.

Tableau 4 : Comparaison des résultats des étapes de la méthodologie

Séquence	Tri	Élimination	Couverture de la population	Score minimal requis	Nombre de stations	Population desservie
1	Densité des SR/SDR	10 km à vol d'oiseau	100%	N/A	666	15365975 (180,7%)
2	Densité des AD	10 km à vol d'oiseau	75%	N/A	50	6398686 (75,3%)
3	Densité des AD	20 minutes de marche	75%	N/A	1247	6377160 (75,0%)
4	Score des AD	30 minutes à vélo	100%	N/A	1478	8501833 (100%)
5	Score des AD	30 minutes à vélo	N/A	30%	12	1945038 (22,9%)
6	Score des AD	30 minutes à vélo	N/A	10%	60	4885047 (57,5%)
7	Score pondéré des AD	30 minutes à vélo	N/A	10%	134	6195138 (72,9%)
Finale	Score pondéré des AD	30 minutes à vélo	75%	10%	134	6195138 (72,9%)

On peut donc voir le raffinement de la méthodologie au-travers des différentes étapes et des changements des paramètres. Ainsi, on finit par obtenir une vaste couverture de la population québécoise avec un nombre raisonnable de stations grâce à un critère d'élimination réaliste. Certes, le réseau obtenu compte beaucoup de stations en zone urbaine, mais il couvre cependant la quasi-totalité des moyennes et petites villes du Québec aussi.

CHAPITRE 5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Plusieurs limitations sont à noter dans le cadre de ce projet. Ces limitations peuvent autant provenir des outils utilisés que des données trouvées. De plus, certaines estimations et approximations faites mériteraient d'être approfondies. Ces prochaines étapes devront toutefois être une part d'un projet futur, car la plupart d'entre elles sont causées par un manque de données ou de temps.

5.1 Synthèse

L'objectif principal de ce projet était d'offrir des pistes de solutions pour accompagner la volonté gouvernementale d'augmenter l'utilisation des transports en commun pour contribuer à la lutte aux changements climatiques, tel qu'énoncé dans la Politique de mobilité durable. Ici, les déplacements de longue distance étaient le point focal de ce projet, puisque les transports sont le secteur avec la plus grande contribution aux émissions totales de GES au Québec.

Pour ce faire, il fallait donc faire le diagnostic du transport en commun interrégional, puis créer une méthodologie de choix de localisation des nouvelles stations de transport en commun interrégional. Les données utilisées pour remplir ces deux objectifs étaient principalement des flux GTFS ainsi que les données géographiques et démographiques du recensement canadien.

Dans le cadre des travaux sur le premier objectif, soit le diagnostic de l'offre de transport interrégional, il a été trouvé que seulement 6% des trajets en transport en commun vers l'arrêt interrégional le plus proche étaient faisables, peu importe leur durée, alors que c'est le cas pour 71% des trajets dont l'origine est dans une RMR. De plus, les temps de parcours pour ces trajets sont beaucoup plus longs en dehors des zones urbaines.

Concernant le second objectif, une méthodologie basée sur un score d'accessibilité en fonction de la population des aires de diffusion a permis d'établir un ensemble de lieux où établir une station de transport en commun. Les résultats de cette méthodologie impliquent de placer 134 stations à la grandeur du Québec, rendant ainsi le transport en commun accessible à 73% de la population en moins de 30 minutes de vélo. Ces 30 minutes de vélo sont utilisées comme proxy pour un temps de parcours de 15 minutes en voiture ou taxi, ou légèrement plus en transport en commun. Toutes les villes de plus de 20000 habitants ainsi que l'ensemble des régions administratives sont couvertes, à l'exception de la Gaspésie—Îles-de-la-Madeleine, qui pourraient

toutefois se faire attribuer une station par un ajustement manuel. Ces ajustements pourraient servir de base pour la planification de services de transport en commun structurants dans plusieurs villes du Québec.

5.2 Limitations

Ce projet a vu plusieurs limitations restreindre sa portée ou même l'exactitude de ses résultats. Cela a été causé par quelques enjeux dans les outils utilisés, des limitations au niveau de l'accessibilité aux données, mais surtout au niveau du temps, que ce soit pour faire des calculs plus poussés mais plus chronophages, ou pour rédiger des flux GTFS supplémentaires, même si plus compliqués.

Au niveau des outils, Transition s'est révélé être fort pratique au quotidien pour toutes de sortes de raisons, mais particulièrement les calculs multiples d'itinéraires. Cependant, comme n'importe quel outil logiciel en développement actif, celui-ci contient quelques bogues. Ceux-ci ont pu causer quelques difficultés au courant du projet, mais rien de majeur.

Le premier est dans le fonctionnement de Transition. Le calculateur de chemin donne comme solution idéale le chemin qui arrive le plus tôt, et non pas le chemin le plus court. Cela veut dire que lorsqu'on demande un départ à 7h00, un itinéraire dont l'heure de départ est à 7h01 et l'heure d'arrivée est 7h58 sera choisi plutôt qu'un trajet partant à 7h29 et arrivant à 7h59. Ainsi, cela a peut-être pu influencer quelques résultats dans l'analyse comparative d'accessibilité au réseau de transport en commun de longue distance.

Les calculs d'itinéraires ont un problème en ce qui concerne la distance et le temps de parcours. Comme les origines et destinations étaient pour la plupart des centres de population des aires de diffusion, ceux-ci n'étaient toujours exactement sur le réseau routier. Or, le moteur utilisé par Transition a un problème en deux temps avec ce genre de situation. D'un côté, si le point est légèrement trop éloigné du réseau routier, un itinéraire en voiture est trouvé par Transition, mais aucun en transport en commun. De plus, comme aucun itinéraire n'est trouvé, Transition retourne des valeurs de -1 mètre pour la distance parcourue et de -1 seconde pour le temps de parcours.

De l'autre côté, si le point était encore plus éloigné du réseau, Transition estime qu'aucun itinéraire ne peut être trouvé. Il aurait été intéressant d'avoir une option pour résoudre ces cas. Une solution pourrait être de trouver le tronçon du réseau routier le plus proche, et d'estimer que la

personne demandant cet itinéraire va marcher en ligne droite vers ce tronçon. Ainsi, il serait possible d'avoir des distances et des temps de parcours même lorsque l'origine ou la destination sont éloignées du réseau routier. Google Maps utilise une approche similaire en déplaçant le point problématique vers le réseau routier, mais n'ajoute pas le temps ou la distance pour se rendre au réseau routier au calcul de l'itinéraire.

Toujours concernant la distance, certains itinéraires valides en transport en commun affichaient des informations erronées sur la distance parcourue. Cette erreur n'est toutefois pas liée à Transition, mais plutôt aux données qui lui sont fournies. Lorsqu'un flux GTFS n'a pas l'information sur l'attribut *shape_distance_traveled*, Transition n'ajoute pas de distance liée à ce tronçon du trajet au total. Il aurait été pertinent d'avoir une estimation de la distance en utilisant le chemin le plus court sur le réseau routier, un peu comme le ferait une voiture. Bien qu'imparfaite, cette solution aurait été plus proche de la réalité.

Ensuite, un autre obstacle posé par Transition est la reconnaissance des horaires de nuit. Dans un GTFS, les horaires de nuit dépassent les 24 heures. Ainsi, un passage à une heure du matin est représenté par 25:00:00. Transition reconnaît cela, car c'est la situation la plus courante dans le cadre du transport en commun urbain. Cependant, lorsqu'il est temps de tester des départs au milieu de la nuit, Transition n'interprète pas 25:00:00 comme un départ à une heure du matin sur un trajet débuté la veille. Cela explique le creux de trajets faisables entre une et trois heures du matin en transport en commun.

Concernant les données, il y a un bémol à mentionner par rapport aux calculs d'accessibilité au transport interrégional par le biais du transport en commun local. Malgré plusieurs recherches, certains flux GTFS étaient introuvables, comme celui de la Régie intermunicipale de transport Gaspésie—Îles-de-la-Madeleine. Ces services étaient tout simplement trop vastes pour que leur GTFS soient rédigés dans le cadre de ce projet. Par exemple, la ligne 22 de la RÉGÎM compte 68 arrêts, soit plus que toute ligne de transport en commun interrégional. Cette société de transport compte 20 lignes du même genre, ce qui aurait représenté un travail colossal. Ce faisant, certaines régions ont donc des calculs d'itinéraires sans transport en commun viable, alors que c'est le cas en réalité. Les résultats de la section 4.2 peuvent donc être faussés négativement par cette omission.

Finalement, la plus importante limitation de ce travail concerne le positionnement des stations de transport en commun interrégional. Seuls les temps de parcours à pied et à vélo ont été

utilisés. Il aurait été très pertinent de pouvoir utiliser les temps de parcours en transport en commun dans la formule du score ou bien dans le processus d'élimination des aires de diffusion lors du positionnement d'une station. Sans temps de parcours en transport en commun, les aires de diffusion situées à proximité de lignes de bus fréquentes ou de modes de transport lourds ont un score plus bas qu'il ne devrait l'être en réalité, puisqu'une plus grande population peut accéder à une aire de diffusion en bus ou en métro en un même laps de temps que seulement à pied et à vélo. Cela n'a pas pu être fait pour des raisons de temps de calcul sur Transition. Il aurait fallu calculer une matrice de temps de parcours pour les 13605 aires de diffusion, ce qui représente plus de 92 millions de calculs d'itinéraires. Aussi, seules certaines caractéristiques démographiques ont été utilisées pour faire le tri des aires de diffusion, soit la densité de population et la population ayant accès à chaque aire de diffusion en un certain temps. Afin de mieux brosser le portrait de la demande en transport, il aurait été pertinent d'ajouter des données sur les générateurs de déplacement dans la méthodologie, par exemple le nombre d'emplois dans chaque aire de diffusion, ou bien ajouter un facteur au score selon la présence d'infrastructures importantes (hôpitaux, aéroports, musées, etc.) dans l'aire de diffusion.

Ainsi, plusieurs enjeux ont incité à restreindre certains aspects du projet ou à les simplifier, mais ceux-ci pourraient être résolus prochainement. L'amélioration continue des outils utilisés dans le cadre de ce projet, principalement Transition, viendra améliorer la précision de la méthodologie employée.

5.3 Perspectives

Plusieurs améliorations pourront être apportées à ce projet s'il devait être poursuivi éventuellement. La poursuite du développement de Transition peut régler plusieurs problèmes rencontrés lors du développement de la méthodologie décrite, en plus de peut-être amener de nouvelles fonctionnalités qui pourraient faciliter les calculs ou apporter une nouvelle façon de faire.

Une amélioration intéressante pour la méthodologie tout en prenant en compte les limites actuelles des moteurs de calcul d'itinéraires serait de segmenter l'attribution des stations aux aires de diffusion en fonction des régions administratives. Cela aurait été particulièrement intéressant dans les itérations utilisant une zone-tampon autour des stations. Cela pouvait faire qu'une station à Laval empêchait plusieurs endroits très peuplés de Montréal d'avoir une station. Pareillement, la station au centre-ville de Montréal privait Longueuil de toute station, alors que beaucoup de trajets

réels en transport en commun interrégional s'arrêtent à la fois à Montréal et à Longueuil. Il faudrait toutefois déterminer comment la distribution entre les régions administratives se ferait. Cela pourrait être un ratio en fonction de la population de chaque région administrative par exemple. Il serait aussi possible de limiter le nombre de stations par chaque tranche d'un certain nombre d'habitants.

Différentes améliorations pourraient être apportées au niveau des analyses. Par exemple, alors que seul le temps d'accès à l'arrêt de transport en commun interrégional le plus proche a été mesuré, il serait intéressant d'évaluer le ratio entre ce temps d'accès et le temps de parcours vers les destinations disponibles à partir de cet arrêt le plus proche. Ainsi, il serait possible d'étudier à quel point les options accessibles sont des options réellement envisageables. En effet, même si l'on peut se rendre à un arrêt en une heure, cela ne vaut pas nécessairement la peine si la portion inter-arrêts du trajet interrégional ne prend que deux heures.

Une prochaine amélioration nécessiterait l'ajout de nouvelles données, ou bien la conception d'un autre modèle avant l'attribution des stations. La méthodologie actuelle utilise les données de population actuelles afin de donner un score à chaque aire de diffusion. Or, il serait intéressant d'intégrer les projections démographiques dans la formule de score afin d'aussi construire pour le futur du territoire, et pas seulement la situation actuelle. La construction précoce de stations de transport en commun peut servir à attirer une nouvelle population et développer le territoire. Il faut toutefois s'assurer d'offrir un service adéquat à la population actuelle avant de planifier le futur, ce qui n'est pas le cas actuellement.

Il serait possible d'utiliser les données de projections de populations par municipalité de l'Institut de la statistique du Québec (Institut de la statistique du Québec, 2025). Un modèle pourrait aussi être développé afin d'utiliser ces projections à l'échelle des aires de diffusion. Ce modèle pourrait utiliser différentes données déjà disponibles par le biais du recensement ou des enquêtes Origine-Destination, par exemple les naissances et les décès, l'âge moyen, le taux de chômage, la quantité d'emplois ou bien le nombre d'écoles, par exemple.

D'autres données pourraient être ajoutées pour mieux refléter les autres générateurs de déplacements dans les aires de diffusion. Cela peut autant être les emplois dans une aire de diffusion que des infrastructures de loisirs ou de tourisme, par exemple. Ainsi, le nombre d'emplois disponibles dans une aire de diffusion pourrait être ajouté à la formule du score, et le score pourrait

être bonifié en fonction de la présence ou non d'hôpitaux, stades, musées, aéroports et autres infrastructures générant des déplacements.

De plus, il serait possible d'ajouter un paramètre à l'algorithme de positionnement des stations pour faire en sorte que la population ait accès à plus d'une option de transport en commun. Il pourrait être possible de spécifier qu'une certaine proportion de la population soit desservie par au moins deux stations de transport en commun interrégional par exemple.

Toujours au niveau des données, la poursuite de ce projet devrait impliquer de compléter les GTFS à l'échelle de la province, ou au moins de fortement encourager les différents opérateurs à construire eux-mêmes leurs flux GTFS et les rendre publics. Cela pourrait rendre tout le monde gagnant, puisque cela fournirait de précieuses données pour la recherche en transport tout en fournissant une meilleure visibilité des services de transport en commun à l'échelle du Québec, encourageant ainsi à utiliser et donc financer le transport en commun. Ce serait toute la société québécoise qui en sortirait gagnante, puisqu'une augmentation de l'utilisation des transports en commun revient à une diminution des émissions de GES.

Ces fichiers GTFS devraient aussi implémenter l'attribut *shape_distance_traveled* pour rendre disponibles des informations sur les distances parcourues lors du calcul d'itinéraires. Cela pourrait aussi être implémenté dans la méthodologie de choix d'emplacement des stations de transport en commun interrégional et analysé lors d'une nouvelle comparaison de l'accès au transport interrégional en voiture et en transport en commun.

Toutes ces améliorations aux fichiers GTFS ainsi que la compilation et la création de flux GTFS jusqu'ici inexistantes ou inaccessibles permettra probablement l'amélioration la plus influente sur la méthodologie, soit la prise en compte du réseau actuel. Cela permettrait d'ajouter plus de paramètres dans la formule calculant le score d'accessibilité des aires de diffusion et donc d'avoir une méthode de positionnement des gares plus précise. Les aires de diffusion situées à proximité de modes lourds de transport en commun ne seraient plus désavantagées, puisque leur score prendrait en compte l'accessibilité supplémentaire apportée par le transport en commun par rapport au vélo et à la marche. De plus, cela ferait potentiellement en sorte de diminuer le nombre de stations dans les zones urbaines, qui est trop élevé avec la méthodologie actuelle, et de rapprocher les stations proposées du réseau existant, ce qui rendrait le réseau proposé plus réaliste

et pourrait donc servir de base pour la construction d'un réseau de transport en commun interrégional à l'échelle du Québec.

RÉFÉRENCES

- Ali Zadeh, H. (2022). *Intercity travel in Québec: corridor analysis and demand modelling* [Mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/10521/>
- Alto. (mars 2025). Propulser notre avenir : Façonner le Canada de demain grâce à un train à grande vitesse. Alto. <https://altotrain.ca/fr/wp-content/uploads/2025/03/Alto-Document-explicatif.pdf>
- Alto. (s. d.). *Alto : Réseau de train à grande vitesse Québec - Toronto*.
- Alumur, S. A., Campbell, J. F., Contreras, I., Kara, B. Y., Marianov, V., & O’Kelly, M. E. (2021). Perspectives on modeling hub location problems. *European Journal of Operational Research*, 291(1), 1-17. 10.1016/j.ejor.2020.09.039
- Association des propriétaires d’autobus du Québec. (s. d.). *Le transport interurbain au Québec*.
- Autorité régionale de transport métropolitain. (s. d.-a). *Enquête métropolitaine 2023 Perspectives mobilité*. Autorité régionale de transport métropolitain | ARTM. <https://www.artm.quebec/planification/enquete-metropolitaine-perspectives-mobilite/>
- Autorité régionale de transport métropolitain. (s. d.-b). *Enquête Origine-Destination 2018*. Autorité régionale de transport métropolitain | ARTM. <https://www.artm.quebec/planification/enqueteod/>
- Barbier, C. (2016). *Caractérisation de l’offre de transport interurbain par autocar au Québec* [Mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/2240/>
- Bertolini, L. (1999). Spatial development patterns and public transport: The application of an analytical model in the Netherlands. *Planning Practice and Research*, 14(2), 199-210. 10.1080/02697459915724
- Boisclair, V. (21 novembre 2023). Mobilité durable : une politique à 10 milliards \$ qui va « dans la mauvaise direction ». *ICI Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2027635/mobilite-durable-suivi-cibles-quebec-ges>
- Bourgault-Côté, G. (juillet 2024). Il y a beaucoup de tendances à inverser. *L’Actualité*, 49(6), 30-35.
- Braun, L. M., Barajas, J. M., Lee, B., & Martin, R. (2022). Walking the last mile: barriers and solutions to suburban transit access. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2676(12), 456-467. 10.1177/03611981221095748
- Cabana-Degani, S., & Champalbert, A. (22 octobre 2024). Un tournant important vers une économie verte et au service de tous. *La Presse*. <https://www.lapresse.ca/dialogue/opinions/2024-10-22/politique-de-mobilite-durable-2030/un-tournant-important-vers-une-economie-verte-et-au-service-de-tous.php>
- Campbell, J. F., & O’Kelly, M. E. (2012). Twenty-Five Years of Hub Location Research. *Transportation Science*, 46(2), 153-169. 10.1287/trsc.1120.0410

- Cao, Z., Asakura, Y., & Tan, Z. (2020). Coordination between node, place, and ridership: Comparing three transit operators in Tokyo. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 87, 102518. 10.1016/j.trd.2020.102518
- Chan, S., & Miranda-Moreno, L. (2013). A station-level ridership model for the metro network in Montreal, Quebec. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 40(3), 254-262. 10.1139/cjce-2011-0432
- Chouinard, É. (25 avril 2024). La ministre Guilbault n'a « aucune vision » en mobilité durable, dit Marchand. *Radio-Canada ICI Québec*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2067742/transport-collectif-mission-etat-ministere>
- Commission des transports du Québec. (2025). *Permis et autorisations de transport*. <https://www.ctq.gouv.qc.ca/permis-et-autorisations-de-transport/autobus/permis/>
- Dargay, J. M., & Clark, S. (2012). The determinants of long distance travel in Great Britain. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(3), 576-587. 10.1016/j.tra.2011.11.016
- Division de la géomatique. (septembre 2015). *Principaux parcours interurbains par autocar au Québec*. Ministère des Transports. https://www.federationautobus.com/uploads/documents/files/Carte_principaux_parcours_interurbains.pdf
- Données Québec. (s. d.). *Jeu de données*. Données Québec. <https://donneesquebec.ca/recherche/dataset/?organization=&q=gtfs>
- Du, Q., Zhou, Y., Huang, Y., Wang, Y., & Bai, L. (2022). Spatiotemporal exploration of the non-linear impacts of accessibility on metro ridership. *Journal of Transport Geography*, 102, 103380. 10.1016/j.jtrangeo.2022.103380
- exo. (s. d.). *Données ouvertes*. <https://exo.quebec/fr/a-propos/donnees-ouvertes>
- Gan, Z., Yang, M., Feng, T., & Timmermans, H. J. P. (2020). Examining the relationship between built environment and metro ridership at station-to-station level. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 82, 102332. 10.1016/j.trd.2020.102332
- Gelareh, S., & Nickel, S. (2011). Hub location problems in transportation networks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(6), 1092-1111. 10.1016/j.tre.2011.04.009
- Gerike, R., & Schulz, A. (2018). Workshop Synthesis: Surveys on long-distance travel and other rare events. *Transportation Research Procedia*, 32, 535-541. 10.1016/j.trpro.2018.10.032
- Gouvernement du Canada, S. C. (17 novembre 2021a). *Dictionnaire, Recensement de la population, 2021 - Index complet de A à Z*. <https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2021/ref/dict/az/index-fra.cfm>
- Gouvernement du Canada, S. C. (17 novembre 2021b). *Recensement de 2021 - Fichiers des limites*. <https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2021/geo/sip-pis/boundary-limités/index2021-fra.cfm?year=2>

- Guerra, E., Cervero, R., & Tischler, D. (2012). Half-Mile Circle: Does It Best Represent Transit Station Catchments? *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2276(1), 101-109. 10.3141/2276-12
- Guillemette, Y. (2015). *Mieux comprendre l'offre et la demande de déplacements interurbains au Québec* [Mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/1829/>
- Gutiérrez, J., Cardozo, O. D., & García-Palomares, J. C. (2011). Transit ridership forecasting at station level: an approach based on distance-decay weighted regression. *Journal of Transport Geography*, 19(6), 1081-1092. 10.1016/j.jtrangeo.2011.05.004
- Institut de la statistique du Québec. (8 octobre 2025). Projections de population – Municipalités. <https://statistique.quebec.ca/fr/document/projections-de-population-municipalites>
- Interline Technologies LLC. (s. d.). *Browse places: Québec, Canada*. Transitland. <https://www.transit.land/places/Canada/Qu%C3%A9bec>
- Khaleghi, A., & Eydi, A. (2022). Multi-period hub location problem: a review. *RAIRO - Operations Research*, 56(4), 2751-2765. 10.1051/ro/2022134
- Lančinskas, A., Žilinskis, J., Fernández, P., & Pelegrín, B. (2025). Population-based algorithm for discrete facility location with ranking of candidate locations. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 457, 116304. 10.1016/j.cam.2024.116304
- Lawson, C. T., Krans, E., Rentz, E. (Green), & Lynch, J. (2023). Emerging trends in household travel survey programs. *Social Sciences & Humanities Open*, 7(1), 100466. 10.1016/j.ssaho.2023.100466
- Litman, T. (2024). *A business case for improving interregional bus services*. Victoria Transport Policy Institute. <https://vtpi.org/bcit.pdf>
- Litman, T. (2025). *Rural mobility planning*. Victoria Transport Policy Institute. <https://www.vtpi.org/rmp.pdf>
- Ma, X., He, H., Liu, M., & Jin, A. (2025). A framework for urban railway transit system planning with demographic distribution and travel efficiency. *Transportation Planning and Technology*, 1-50. 10.1080/03081060.2025.2484615
- Mahmutogullari, A. I., & Kara, B. Y. (2016). Hub location under competition. *European Journal of Operational Research*, 250(1), 214-225. 10.1016/j.ejor.2015.09.008
- MarcPhi. (10 novembre 2024). *GTFIS Viewer* [JavaScript]. <https://github.com/MarcPhi/gtfs-viewer>
- Masson, M. (23 février 2023). *Fin des autocars entre Saint-Georges et Québec*. Radio-Canada. Radio-Canada.ca. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1958583/trajets-autobus-beauce-quebec-couts>
- Mekuria, M. C., Furth, P. G., & Melachrinoudis, E. (2012). Optimization of spacing of transit stops on a realistic street network. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2277(1), 29-37. 10.3141/2277-04
- Mercure, P. (30 octobre 2023). La politique de mobilité durable est un échec. *La Presse*. <https://www.lapresse.ca/dialogue/chroniques/2023-10-30/un-graphique-qui-dit-tout/la-politique-de-mobilite-durable-est-un-echec.php>

- Ministère de l'Environnement, de la Lutte aux changements climatiques, de la Faune et des Parcs. (2023). *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2021 et leur évolution depuis 1990*. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/2021/inventaire-ges-1990-2021.pdf>
- Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports. (2018a). *Plan d'action 2018-2023*. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/transports/ministere-des-transports/publications-amd/Plan_de_mobilite_durable/PL_PMD-plan-action_MTMDDET.pdf
- Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports. (2018b). *Politique de mobilité durable - 2030*. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/transports/ministere-des-transports/publications-amd/Plan_de_mobilite_durable/PO_politique-mobilite-durable_MTMDDET.pdf
- Mobility Data Interoperability Principles. (21 février 2024). *Glossary*. <https://www.interoperablemobility.org/definitions/>
- MobilityData. (21 février 2025a). *Reference*. General Transit Feed Specification. <https://gtfs.org/documentation/schedule/reference/>
- MobilityData. (10 juillet 2025b). *Canonical GTFS Schedule Validator* (Version 7.1.0) [Java]. MobilityData IO. <https://github.com/MobilityData/gtfs-validator>
- MobilityData. (s. d.-a). *Create*. General Transit Feed Specification. <https://gtfs.org/getting-started/create/>
- MobilityData. (s. d.-b). *[Features] Overview*. General Transit Feed Specification. <https://gtfs.org/getting-started/features/overview/>
- MobilityData. (s. d.-c). *Feeds*. Mobility Database. <https://mobilitydatabase.org/feeds?q=qu%C3%A9bec>fs=true>
- MobilityData. (s. d.-d). *Overview*. General Transit Feed Specification. <https://gtfs.org/documentation/overview/>
- MobilityData. (s. d.-e). *Rules*. <https://gtfs-validator.mobilitydata.org/rules.html>
- MobilityData. (s. d.-f). *Why use GTFS?* General Transit Feed Specification. <https://gtfs.org/getting-started/why-use-GTFS/>
- Morency, C. (10 octobre 2024). *Comment transformer la mobilité à travers le Québec* [PowerPoint].
- Munroe, R. (1 juillet 2019). *Coordinate precision*. xkcd. <https://xkcd.com/2170/>
- O'Kelly, M., Sun, X., & Wandelt, S. (2025). Hub location problems: A meta review and ten disruptive research challenges. *Journal of the Air Transport Research Society*, 4, 100073. 10.1016/j.jatrs.2025.100073
- Pallarès, B., Badia, H., & Estrada, M. (2025). Coupled design of urban and interurban transit networks with a park-and-ride system: Analytical formulation and case study in Barcelona. *Travel Behaviour and Society*, 39, 100963. 10.1016/j.tbs.2024.100963

- Réseau de transport de la Capitale. (s. d.). *Données ouvertes*. <https://www.rtcquebec.ca/donnees-ouvertes>
- Réseau de transport de Longueuil. (s. d.). *Données ouvertes*. <https://www.rtl-longueuil.qc.ca/donnees-ouvertes>
- Schulz, A., Magdolen, M., Chlond, B., Kuhnimhof, T., & Köhler, K. (2024). Identifying and understanding long-distance travel demand by combining official transport statistics and survey data. *Transportation Research Procedia*, 76, 458-469. 10.1016/j.trpro.2023.12.068
- Sharma, A., Jakhar, S. K., Vlachos, I., & Kumar, S. (2025). Advances in hub location problems: a literature review and research agenda. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 74(1), 24-55. 10.1108/IJPPM-09-2023-0514
- Société de transport de Laval. (s. d.). *Données ouvertes*. <https://stlaval.ca/a-propos/diffusion/donnees-ouvertes>
- Société de transport de Lévis. (s. d.). *Données ouvertes*. Société de transport de Lévis. <https://www.stlevis.ca/stlevis/donnees-ouvertes>
- Société de transport de l'Outaouais. (s. d.). *Espace développeurs – Données ouvertes*. <https://www.sto.ca/affaires/espace-developpeurs-donnees-ouvertes/>
- Société de transport de Montréal. (s. d.). *Développeurs*. Société de transport de Montréal. <https://www.stm.info/fr/a-propos/developpeurs>
- Statistique Canada. (9 février 2022). Fichier des attributs géographiques. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/fr/catalogue/92-151-X>
- Thériault, J.-F. (25 avril 2024). « L'État n'a pas à gérer le transport collectif » : Guilbault sous un feu de critiques. *ICI Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2067755/genevieve-guilbault-transport-collectif-villes>
- von Behren, S., Puhe, M., & Magdolen, M. (2024). Social aspects of long-distance travel - a study of two survey designs. *Transportation Research Procedia*, 76, 361-372. 10.1016/j.trpro.2023.12.061
- Wu, H., Lee, J. (Brian), & Levinson, D. (2023). The node-place model, accessibility, and station level transit ridership. *Journal of Transport Geography*, 113, 103739. 10.1016/j.jtrangeo.2023.103739
- Yang, L., & Song, X. (2021). TOD typology based on urban renewal: A classification of metro stations for Ningbo City. *Urban Rail Transit*, 7(3), 240-255. 10.1007/s40864-021-00153-8
- Yoon, G., & Chow, J. Y. J. (2024). A sequential transit network design algorithm with optimal learning under correlated beliefs. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 191, 103707. 10.1016/j.tre.2024.103707
- Zaheer Khan, M., Asif Khan, M., Muzzamil Hussain Khattak, M., Faisal Habib, M., & Shah Zeb, M. (2025). The effect of locating public transit stations on their walking accessibility using an actual street network. *Public Transport*, 17(1), 247-266. 10.1007/s12469-024-00352-z
- Zhang, T. (2017). *Characterisation of intercity bus travel demand in Quebec* [Mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/2599/>

Zhao, F., Chow, L.-F., Li, M.-T., Ubaka, I., & Gan, A. (2003). Forecasting Transit Walk Accessibility: Regression Model Alternative to Buffer Method. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1835(1), 34-41. 10.3141/1835-05

ANNEXE A DISPONIBILITÉ DES GTFS AU QUÉBEC

Tableau A.1 : État de la disponibilité des données GTFS au Québec

Opérateur	Région	Statut	Type
Autobus A1	Chaudière-Appalaches	Créé	Privé
Accès Transport	Saguenay–Lac-Saint-Jean	Manquant	Public
Argenteuil	Laurentides	Disponible	Public
Baie-Comeau	Côte-Nord	Manquant	Public
Bécancour	Centre-du-Québec	Manquant	Public
Bellechasse	Chaudière-Appalaches	Disponible	Public
Bili	Centre-du-Québec	Disponible	Public
Charlevoix	Capitale-Nationale	Manquant	Public
Coaticook	Estrie	Manquant	Public
De l'Érable	Centre-du-Québec	Manquant	Public
Drummondville	Centre-du-Québec	Corrigé	Public
exo	Montréal, Laval, Lanaudière	Disponible	Public
Galland	Montréal, Laurentides	Créé	Privé
Granby	Estrie	Manquant / Inaccessible	Public
Haut-Saint-François	Estrie	Manquant	Public
Haut-Saint-Laurent	Montérégie	Disponible	Public

Tableau A.1 : État de la disponibilité des données GTFS au Québec (suite)

Haut-Saint-Maurice	Mauricie	Créé	Public
Interbus	Côte-Nord	Manquant	Public
Intercar	Saguenay–Lac-Saint-Jean, Capitale-Nationale, Montréal, Côte-Nord	Créé	Privé
Inter Laurentides	Laurentides	Disponible	Public
Jacques-Cartier	Capitale-Nationale	Disponible	Public
Joliette	Lanaudière	Disponible	Public
Kativik	Nord-du-Québec	Manquant	Public
L'Islet	Chaudière-Appalaches	Manquant	Public
La Québécoise	Capitale-Nationale, Estrie	Créé	Privé
Les Chenaux	Mauricie	Manquant	Public
Limocar	Estrie, Montréal, Montérégie	Créé / Inaccessible	Privé
Lotbinière	Chaudière-Appalaches	Disponible	Public
Magog	Estrie	Manquant	Public
Maheux	Montréal, Outaouais, Abitibi-Témiscamingue, Nord-du-Québec, Laval	Créé	Privé
Maria Express	Saguenay–Lac-Saint-Jean	Manquant	Public
Matanie	Bas-Saint-Laurent	Manquant	Public

Tableau A.1 : État de la disponibilité des données GTFS au Québec (suite)

Mitis	Bas-Saint-Laurent	Manquant	Public
Montcalm	Lanaudière	Disponible	Public
Montmagny	Chaudière-Appalaches	Manquant	Public
Orléans Express	Bas-Saint-Laurent, Capitale-Nationale, Mauricie, Montréal, Outaouais, Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, Laval, Lanaudière, Montérégie	Disponible	Privé
Pierre-de-Saurel	Montérégie	Disponible	Public
PLUmoble	Capitale-Nationale	Disponible	Public
Portneuf	Capitale-Nationale	Disponible	Public
RÉGÎM	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	Manquant	Public
REM	Montréal, Laval, Laurentides, Montérégie	Corrigé	Public
Rimouski	Bas-Saint-Laurent	Disponible	Public
Rivière-du-Nord	Laurentides	Manquant	Public
Rouyn-Noranda	Abitibi-Témiscamingue	Disponible	Public
RTC	Capitale-Nationale	Corrigé	Public
RTCShawinigan	Mauricie	Disponible	Public
RTL	Montérégie	Disponible	Public
Saint-Georges	Chaudière-Appalaches	Manquant	Public

Tableau A.1 : État de la disponibilité des données GTFS au Québec (suite)

Saint-Hyacinthe	Montérégie	Disponible	Public
Saint-Jérôme	Laurentides	Disponible	Public
Saint-Jean-sur-Richelieu	Montérégie	Disponible	Public
STL	Laval	Corrigé	Public
STLévis	Chaudière-Appalaches	Corrigé	Public
STM	Montréal	Corrigé	Public
STO	Outaouais	Disponible	Public
STS	Estrie	Disponible	Public
STSalaberry	Montérégie	Disponible	Public
STTR	Mauricie	Disponible	Public
Transcollines	Outaouais	Disponible	Public
Traversier Québec	Capitale-Nationale, Chaudière-Appalaches	Disponible	Public
Tremblant	Laurentides	Disponible	Public
VIA Rail	Bas-Saint-Laurent, Saguenay–Lac-Saint-Jean, Capitale-Nationale, Mauricie, Montréal, Abitibi-Témiscamingue, Chaudière-Appalaches, Lanaudière, Montérégie, Centre-du-Québec	Disponible	Public
Victoriaville	Centre-du-Québec	Manquant	Public