

LES IMPACTS DU TÉLÉTRAVAIL SUR LA DEMANDE EN TRANSPORT

JEAN DUBÉ
FRANCESCO CIARI
SARA GHARAVI
RAKIBUL HASSAN
HAMED NASERI



Les rapports de projet sont destinés plus spécifiquement aux partenaires et à un public informé. Ils ne sont ni écrits à des fins de publication dans des revues scientifiques ni destinés à un public spécialisé, mais constituent un médium d'échange entre le monde de la recherche et le monde de la pratique.

Project Reports are specifically targeted to our partners and an informed readership. They are not intended for publication in academic journals nor aimed at a specialized readership, but are rather conceived as a medium of exchange between the research and practice worlds.

Le CIRANO est un organisme sans but lucratif constitué en vertu de la Loi des compagnies du Québec. Le financement de son infrastructure et de ses activités de recherche provient des cotisations de ses organisations membres, d'une subvention d'infrastructure du gouvernement du Québec, de même que des subventions et mandats obtenus par ses équipes de recherche.

CIRANO is a private non-profit organization incorporated under the Quebec Companies Act. Its infrastructure and research activities are funded through fees paid by member organizations, an infrastructure grant from the government of Quebec, and grants and research mandates obtained by its research teams.

Les partenaires du CIRANO – CIRANO Partners

Entreprises partenaires – Corporate Partners

Autorité des marchés financiers
Banque de développement du Canada
Banque du Canada
Banque Nationale du Canada
Bell Canada
BMO Groupe financier
La Caisse
Énergir
Hydro-Québec
Intact Corporation Financière
Mouvement Desjardins
Power Corporation du Canada
Pratt & Whitney Canada
VIA Rail Canada

Partenaires gouvernementaux – Governmental partners

Ministère des Finances du Québec
Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie
Innovation, Sciences et Développement économique Canada
Ville de Montréal

Partenaires universitaires – University Partners

École de technologie supérieure
École nationale d'administration publique
HEC Montréal
Institut national de la recherche scientifique
Polytechnique Montréal
Université Concordia
Université de Montréal
Université de Sherbrooke
Université du Québec
Université du Québec à Montréal
Université Laval
Université McGill

Le CIRANO collabore avec de nombreux centres et chaires de recherche universitaires dont on peut consulter la liste sur son site web. *CIRANO collaborates with many centres and university research chairs; list available on its website.*

© Juillet 2026. Jean Dubé, Francesco Ciari, Sara Gharavi, Rakibul Hassan, Hamed Naseri. Tous droits réservés. *All rights reserved.* Reproduction partielle permise avec citation du document source, incluant la mention de copyright (©). *Short sections may be quoted without explicit permission, if full credit, including © notice, is given to the source.*

Les idées et les opinions émises dans cette publication sont sous l'unique responsabilité des auteurs et ne représentent pas les positions du CIRANO ou de ses partenaires. *The observations and viewpoints expressed in this publication are the sole responsibility of the authors; they do not represent the positions of CIRANO or its partners.*

ISSN 1499-8629 (version en ligne)

Les impacts du télétravail sur la demande en transport

*Jean Dubé[†], Francesco Ciari[‡], Sara Gharavi[§], Rakibul Hassan^{**},
Hamed Naseri^{††}*

Résumé

La COVID-19 a contribué à l'augmentation du recours au télétravail, maintenant bien implanté dans un grand nombre d'entreprises, de ministères et d'organismes. En théorie, le travail à domicile devrait entraîner une diminution de l'utilisation des infrastructures de transport et, par conséquent, une réduction des émissions polluantes. Or, la littérature a montré que des habitudes de déplacements changent lorsque les travailleurs optent pour le travail à domicile ou à distance. Ainsi, la réduction du nombre de déplacements domicile-travail peut avoir pour effet d'ajouter d'autres trajets à la nouvelle routine quotidienne. Cette substitution, désignée par le terme « effet-rebond », a des incidences potentielles sur la demande en transport et ses conséquences environnementales. Cette étude tente de cerner certaines réponses quant aux effets possibles du recours au télétravail sur la demande en transport et les émissions de gaz à effet de serre (GES) en utilisant la région métropolitaine de Québec comme cas d'étude. Les analyses sont effectuées à partir d'un modèle de simulation par agents afin de comparer l'effet de différents scénarios au scénario de référence. Les résultats donnent à penser que le recours au télétravail n'est probablement pas la solution aux problèmes environnementaux générés par les choix de déplacements des agents.

Abstract

COVID-19 has contributed to an increase in the use of telework, which is now well established in many companies, government departments, and organizations. In theory, working from home should lead to a decrease in the use of transportation infrastructure and, consequently, a reduction in pollutant emissions. However, research has shown that travel patterns change when workers choose to work from home or remotely. Thus, while the number of commutes may decrease, other trips may be added to the new daily routine. This substitution, known as the “rebound effect,” has potential implications for transportation demand and its environmental consequences. This study seeks to identify some answers regarding the possible effects of teleworking on transportation demand and greenhouse gas (GHG)

[†] Ph.D., professeur titulaire, École supérieure d'aménagement du territoire et de développement régional, Université Laval, chercheur CIRANO

[‡] Ph.D., professeur agrégé, Département des génies civil, géologique et des mines, Polytechnique Montréal

[§] Candidate au Ph.D., École supérieure d'aménagement du territoire et de développement régional, Université Laval

^{**} Candidat au Ph.D., Département des génies civil, géologique et des mines, Polytechnique Montréal

^{††} Ph.D., postdoctorant, Département des génies civil, géologique et des mines, Polytechnique Montréal

emissions, using the Québec City metropolitan area as a case study. The analyses are conducted using an agent-based simulation model to compare the effects of various scenarios with the baseline scenario. The results suggest that teleworking is likely not the solution to the environmental problems caused by agents' travel choices.

Mots-clés/Keywords : télétravail, modèle de simulation par agents, trafic, effet rebond, émissions polluantes / telework, agent-based simulation model, traffic, rebound effect, pollutant emissions

Pour citer ce document / to quote this document :

Dubé, J., Ciari, F., Gharavi, S., Hassan, R. et Naseri, H. Les impacts du télétravail sur la demande en transport : Évaluation basée sur un modèle de simulation par agents appliqué à Québec (2026) (2026RP-15, Rapport de projet, CIRANO)

<https://doi.org/10.54932/ECXL1835>

Table des matières

Introduction	1
1. Revue de littérature	2
2. Modèle de simulation par agents	4
3. Données et génération d'un scénario de base	7
3.1 Population et habitudes de déplacement	7
3.2 Localisation des ménages et des activités	11
3.3 Infrastructures de transport	13
3.4 Intégration des informations	13
4. Scénarios liés au télétravail	15
5. Résultats	18
5.1 Nombre de déplacements	19
5.2 Parts modales	20
5.3 Nombre de kilomètres parcourus	21
5.4 Émissions polluantes	22
6. Discussion	24
7. Conclusion	25
Références	28
Annexe	32

Liste des figures

Figure 1 : Attribution des choix de déplacements pour les agents	6
Figure 2 : Attribution des choix de déplacement en utilisant le module Eqasim	7
Figure 3 : Construction et calibration du modèle par étape	8
Figure 4 : Comparaison de la population totale par aire de diffusion (AD), données de Statistique Canada 2016 et population synthétique générée par PopGen	9
Figure 5 : Qualité d'ajustement selon certaines caractéristiques de la population	10
Figure 6 : Exemple de chaînes d'activités complètes (liant le domicile)	12
Figure 7 : Comparaison des chaînes d'activités.....	14
Figure 8 : Comparaison des distributions de distances parcourues par activité	15
Figure 9 : Nombre de déplacements effectués selon les scénarios retenus.....	20
Figure 10 : Part modale calculée selon les scénarios retenus	21
Figure 11 : Kilomètres parcourus selon les scénarios retenus	22
Figure 12 : Variation des émissions polluantes (CO ₂) journalières selon les scénarios ...	24

Liste des tableaux

Tableau 1: Distribution du télétravail par secteur d'activité, Ville de Québec (2022)	16
Tableau A-1: Distribution de l'échantillonnage mobilisé pour estimer le MCD.....	32
Tableau A-2: Noms des variables et statistiques descriptives des variables mobilisées. .	33
Tableau A-3: Résultats de l'estimation.	35

Liste des abréviations et sigles

CUBF : Code d'utilisation du bien-fonds
GTFS : General Transit Feed Specification
XML : eXtensible Markup Language
API : Application Programming Interface
RMR : Région métropolitaine de recensement
AD : Aire de diffusion
TC : Transports en commun
MATSim : Multi-Agent Transport Simulation
Eqasim : Equilibrium-based Agent-based Simulation
FABILUT : Flexible Agent Based Integrated Land Use/Transport model
TRANSIMS : Transportation Analysis and Simulation System
MBA : Modélisation basée sur les agents
SMA : Système multiagents
MCD : Modèle de choix discret
OD : Origine-destination
GES : Gaz à effet de serre

Introduction

Bien que l'exercice d'activités professionnelles à domicile existe depuis longtemps, c'est la démocratisation des ordinateurs personnels et de l'accès à Internet au cours des dernières décennies qui a permis la généralisation de cette pratique. La récente pandémie de coronavirus SARS-V2 (COVID-19) a fait augmenter sensiblement le recours au télétravail. Le confinement et la fermeture de l'économie en mars 2020 ont eu des impacts notables sur les modalités de travail. Lors des périodes d'arrêts forcés, le recours au télétravail a augmenté de manière exponentielle, ce qui a entraîné une très nette diminution du trafic routier¹. Pour certains, cette réduction des déplacements laissait entrevoir un important changement structurel qui aurait des incidences notables sur la demande future en transport et pourrait entraîner une baisse, voire une élimination du trafic et des émissions polluantes². Pour d'autres, la remontée progressive du trafic, mais également sa persistance dans le temps³, marque plutôt un changement conjoncturel ou encore une modification des habitudes de déplacements, sans pour autant pointer vers une réduction de la mobilité ni de l'utilisation de la voiture.

Le cas de la région métropolitaine de Québec a suivi le même schéma que la plupart des régions du monde pendant le confinement, avec une réduction forcée et substantielle de la mobilité, tous modes de transport confondus. Le « retour à la normale » s'est effectué graduellement après la réouverture. Bien que l'utilisation du transport collectif ait rapidement repris après la pandémie⁴, le retour à la fréquentation d'avant la pandémie s'est opéré qu'en 2024⁵. En contrepartie, le niveau d'utilisation des routes a repris de manière importante bien plus vite qu'ailleurs⁶, signe que les changements d'habitudes de déplacement liées au télétravail ont favorisé une utilisation accrue de la voiture. L'importante offre autoroutière de la région, qui facilite le recours à l'automobile⁷, n'est probablement pas étrangère à cette situation.

Le télétravail n'impacte pas de manière uniforme les résidents d'une agglomération urbaine. Il est susceptible de concerner plus fortement certains corps de métiers, alors qu'il est tout simplement impossible à appliquer à d'autres. Par conséquent, les déplacements ne sont pas modifiés de la même manière sur le territoire. De récentes données de comptage du ministère des Transports du Québec (MTQ) montrent une diminution du trafic sur certains axes autoroutiers entre 2019 et 2022, alors que l'on note une forte augmentation des débits de circulation sur d'autres axes⁸.

¹ [Le télétravail, une arme contre la congestion routière | La Presse](#).

² [Le pont Pierre-Laporte moins achalandé qu'avant la pandémie | 3e lien | Radio-Canada.ca](#).

³ [La congestion routière, de retour et parfois pire qu'avant la pandémie | OHdio | Radio-Canada](#)

⁴ [La reprise de l'achalandage s'accélère au RTC | Radio-Canada](#)

⁵ [Le RTC a presque retrouvé son achalandage d'avant la pandémie | JDQ](#)

⁶ [Le trafic dans les rues de Québec est pire que celui d'avant la pandémie | JDQ](#)

⁷ [Y a-t-il vraiment plus de kilomètres d'autoroute à Québec qu'ailleurs? | Radio-Canada](#)

⁸ [Les autoroutes Laurentienne et Capitale plus achalandées qu'avant la pandémie | JDQ](#)

Ainsi, malgré la possibilité de travailler plus fréquemment de chez soi, il n'est pas clair que ce changement apporte des modifications notables sur le plan du trafic, de la longueur des déplacements, ainsi que des externalités négatives liées au volume du trafic routier. Ce rapport tente d'évaluer l'impact du télétravail en simulant les changements de comportement des télétravailleurs à partir d'un modèle de simulation par agents. Ce dernier s'appuie sur des hypothèses issues d'une revue de littérature. Les résultats indiquent globalement que, malgré un fort recours au télétravail, les retombées positives attendues sur la diminution du trafic et des émissions polluantes ne sont pas aussi importantes qu'on l'avait prévu au départ. L'ajout de trajets et d'activités dans le cadre d'une journée de travail contribue largement à remplacer les déplacements domicile-travail supprimés et à faire remonter les déplacements à l'échelle métropolitaine.

La suite du rapport est divisée en sept sections. La section 1 présente une synthèse des conclusions liées au changement de comportement à la suite du recours au télétravail. La section 2 décrit le cadre méthodologique lié aux modèles de simulation par agents. La section 3 examine les données mobilisées pour mettre en œuvre un type spécifique de modèle de simulation par agents (MATSim). La section 4 présente les scénarios retenus pour simuler les déplacements à l'échelle métropolitaine. La section 5 analyse l'essentiel des variations notées sur certains indicateurs clés. La section 6 propose une courte discussion sur les implications des résultats et la section 7 conclut le rapport.

1. Revue de littérature

Le télétravail n'est pas un phénomène nouveau (Nilles, 1975). Il était déjà bien implanté avant l'arrivée de la pandémie en 2020. En revanche, son utilisation s'est accrue de manière exponentielle à partir de ce moment et sa pratique est, depuis, largement acceptée et utilisée (Canada, 2024). Le télétravail est pratiquement devenu une norme et un critère dans la sélection des emplois même si, plus récemment, certains contestent la pertinence d'y recourir de manière intensive, soit à raison de plus de trois jours par semaine (Béjaoui et al., 2023a, 2023b; St-Onge et Bachini, 2023; St-Onge et Sauvé-Plante, 2021)⁹.

Théoriquement, on peut s'attendre à ce que le recours au télétravail diminue de manière importante le nombre de déplacements effectués puisque ceux liés au motif « travail » (déplacements domicile-travail) constituent une part importante du nombre total. Ce point de vue est appuyé par une étude sur le cas de la Suisse qui démontre une diminution significative du nombre de déplacements, en particulier pendant les heures de pointe (Heimgartner et al., 2024). Les auteurs notent que les parts modales demeurent similaires, ce qui tend à indiquer un impact proportionnel par rapport aux habitudes modales. Il est également soutenu par les chiffres de la plus récente enquête origine-destination dans la région métropolitaine de Qu  bec¹⁰.

⁹ Voir aussi : [Le télétravail, un lamentable échec dont ne veulent plus les PDG? - Les Affaires](#); [Travail d'équipe | Les lacunes du télétravail à temps plein | La Presse](#); [Flexibilité, productivité ou contrôle? Pourquoi le débat sur le télétravail reste si controversé | Le Devoir](#); [Are bosses right to insist that workers return to the office?](#)

¹⁰ Voir : [Enquêtes origine-destination 2023 de la région de Québec | Gouvernement du Québec](#)

Or, des travaux d'avant la pandémie font ressortir un cadre plus nuancé. Handy et Mokhtarian (1996) ont montré que si le télétravail élimine les trajets domicile-travail, il n'entraîne pas pour autant une réduction des déplacements. L'ajout de déplacements pour des motifs non professionnels provoque un « effet rebond », c'est-à-dire une substitution de trajets éliminés par d'autres liés à différentes motivations. En mobilisant des données d'un journal de bord pour les employés du North Seattle Telework Center dans l'État de Washington (É.-U.), Henderson et Mokhtarian (1996) montrent que le nombre de déplacements est demeuré relativement stable même si, en parallèle, le nombre de kilomètres parcourus diminue de 53,7 %.

La diminution de la longueur des déplacements n'est pas pour autant garantie. À partir de données de l'enquête nationale sur les déplacements au Royaume-Uni (2015-2019), Caldarola et Sorrell (2022) ont montré que les télétravailleurs parcourent en moyenne chaque semaine des distances plus longues que les personnes qui ne pratiquent pas le télétravail. Selon eux, cette situation s'explique par le fait que les télétravailleurs ont tendance à s'installer plus loin du lieu de travail en plus d'augmenter le nombre de déplacements pour d'autres motifs. Cette conclusion est également appuyée par des travaux postpandémie. Motte-Baumvol et al. (2024) montrent que malgré une réduction des trajets domicile-travail de 20 % le vendredi, le nombre de déplacements pour d'autres motifs en après-midi ou en soirée augmente de manière considérable. Ainsi, une réduction des embouteillages aux heures de pointe peut néanmoins coïncider avec une augmentation des déplacements locaux et de leur variabilité.

Une étude de Saha et al. (2024), qui mobilise les données de l'enquête sur les déplacements dans l'Okanagan (OTS) menée auprès de 8 632 personnes en 2018, donne à penser que le télétravail et l'apprentissage en ligne contribuent à générer de nouveaux types de déplacements. Les trajets domicile-travail ou domicile-école sont substitués par des déplacements liés à des motifs personnels, récréatifs ou commerciaux. En utilisant les mêmes données, Rahman Fatmi et al. (2022) montrent qu'une adoption du télétravail de 10 % réduit de 9 % les déplacements liés au travail. En contrepartie, les résultats indiquent une augmentation de 4,19 % des déplacements pour d'autres motifs.

S'il est possible de comparer des situations avant/après dans les habitudes de déplacements à partir de données secondaires, il n'est pas aussi facile de procéder à une analyse prédictive. Une comparaison complète doit tenir compte des ajustements de comportements possibles de la part des personnes qui se déplacent sur le réseau étant donné que certains l'utilisent de manière moins importante. Le fait de rendre un réseau routier relativement plus performant, en retirant un certain nombre de déplacements, est susceptible de modifier les choix modaux. Ces changements de comportement sont d'ailleurs soulignés par la loi fondamentale de la congestion routière (Downs, 1962; Duranton et al., 2014; Duranton et Turner, 2011; Jain et al., 2017; Tennøy et al., 2019) ou, en contre-exemple, par la théorie d'évaporation du trafic (Cairns et al., 2002; Nello-Deakin, 2022). Une comparaison efficace doit donc tenir compte de ces possibles ajustements dynamiques.

Afin d'intégrer ces complexités et de saisir les effets nuancés du télétravail sur la mobilité, des modèles de simulation par agents offrent des représentations détaillées des interactions et comportements individuels. Shabanpour et al. (2018) recourent à ce type de modèle dans le but de simuler des scénarios de télétravail à Chicago, aux États-Unis. Leurs résultats indiquent qu'une adoption du télétravail par 50 % des agents engendre une diminution quotidienne de 0,69 % des distances parcourues, une baisse du temps quotidien de déplacement de 2,09 % et une réduction de 0,71 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) aux heures de pointe.

Malgré des recherches approfondies sur l'impact du télétravail sur les habitudes de mobilité, la plupart des études ne disposent pas i) de méthodes d'affectation réalistes pour identifier les télétravailleurs potentiels en fonction des capacités de télétravail propres à chaque emploi plutôt que d'une répartition aléatoire dans les simulations basées sur des agents; et ii) d'une compréhension globale de la manière dont les changements de comportement liés au télétravail pourraient entraîner des effets de rebond. En s'appuyant sur des données réelles et des hypothèses concernant les effets de rebond du télétravail, cette recherche vise à simuler avec précision des scénarios de télétravail et à mesurer leurs résultats.

2. Modèle de simulation par agents

La modélisation basée sur la simulation par agents (MSA) permet de reproduire les comportements des voyageurs individuels au sein d'un système donné en tenant compte des interactions possibles. Les MSA utilisent des agents synthétiques autonomes dotés de caractéristiques et des comportements divers et spécifiques permettant une analyse dynamique des interactions au sein des environnements bâtis (Huang et al., 2022). Les agents peuvent modifier leur itinéraire pour éviter le trafic ou choisir des modes de transport plus rapides (Russell et al., 1995).

L'utilisation de MSA afin d'évaluer l'impact de différents scénarios s'avère un moyen efficace de modéliser le comportement des individus dans différentes situations (Zhang et Levinson, 2004). Les agents cherchent à maximiser l'utilité liée aux activités qui se déroulent à des lieux différents pendant la journée, en réduisant en même temps l'utilité négative liée aux déplacements pour les rejoindre. Une façon d'atteindre ce but consiste, par exemple, à opter pour le moyen le plus rapide d'atteindre leurs destinations.

Le grand avantage des modèles de simulation par agents réside dans la capacité de gérer des scénarios complexes incluant une multitude d'agents. Cette approche est largement mobilisée dans le domaine des transports et permet de s'attacher à des problèmes auxquels il est difficile, voire impossible, de répondre avec les méthodes agrégées traditionnelles. Les MSA représentent une manière dynamique de simuler les choix de transports et les temps de déplacements à partir d'une multitude d'agents individuels.

Les modèles de simulation par agents sont devenus une méthode efficace pour comprendre l'utilisation des infrastructures de transport et des réseaux routiers, en particulier pour traiter les complexités du transport moderne. Plusieurs MSA ont été conçus au fil des

années. On peut citer SimMobility (Adnan et al., 2015), TRANSIMS (Smith et al., 1995) et AnyLogic (The World Bank et al., 2015). En outre, des plateformes libres d'accès, comme MATSim (Axhausen et al., 2016), permettent aux utilisateurs d'adapter ou remplacer des modules pour explorer des aspects précis de leurs projets de transport.

La plateforme MATSim (*Multi-Agent Transport Simulation*) est certainement la plus connue et la plus utilisée. Développée à partir du début des années 2000, cette boîte à outils offre diverses méthodes pour modéliser la demande de déplacement et le flux de trafic (Balmer et al., 2008). MATSim est devenu un outil de choix dans de nombreuses études de planification des transports.

MATSim est connu pour sa robustesse, sa flexibilité et sa modularité. La conception modulaire (Bösch et Ciari, 2015) permet une extension facile avec des fonctionnalités personnalisées et l'intégration d'autres outils. Mise au point pour soutenir les planificateurs dans la prise de décisions éclairées, la plateforme offre la capacité de gérer et comparer divers scénarios concernant des millions de voyageurs (Meister et al., 2010). Il s'avère un des modèles les plus mobilisés dans la littérature (Huang et al., 2022) même si la gestion de scénarios à grande échelle peut nécessiter un temps de calcul considérable (Waraich et al., 2015).

L'attribution des modes de déplacement et des routes empruntées par les agents dans MATSim repose essentiellement sur un algorithme génétique (figure 1). A priori, toutes les options sont considérées : le modèle propose donc plusieurs scénarios issus de calculs liés à différentes options de mode et aux possibilités offertes. MATSim procède à une série de calculs pour différentes options et possibilités. Les calculs des temps de déplacement sont issus de données récoltées, et l'ensemble des scénarios simulés sont comparés. Pour un individu synthétique donné, les points de départ et d'arrivée sont d'abord fixés. Un premier scénario procure le détail sur le mode utilisé et le temps de déplacement (exécution). Ce parcours permet d'obtenir une note générale (notation) que l'on peut comparer à d'autres scénarios élaborés dans des phases subséquentes (replanification). Ce processus d'itération permet ainsi de déterminer la meilleure option possible pour l'agent. Le même processus s'applique à l'ensemble des agents. Une convergence du processus est atteinte lorsque l'option qui procure l'utilité (score) la plus élevée est retenue pour chacun des agents. Le processus demande un certain nombre d'itérations. Une convergence du processus est atteinte lorsqu'aucun des agents ne peut améliorer unilatéralement sa propre utilité (score). Le processus demande un certain nombre d'itérations.

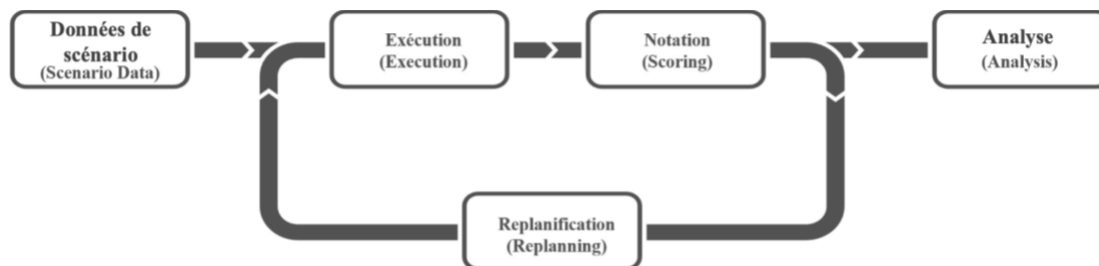


Figure 1 : Attribution des choix de déplacements pour les agents

Source : Adaptation de Axhausen et al. (2016)

Plus récemment, une méthode de rechange à l'algorithme génétique a été proposée afin de déterminer le choix modal. Le module qui applique cette idée, appelé Eqasim (Hörl et Balac, 2021), permet de recourir à un modèle de choix discret (MCD) en première étape afin de désigner, selon le profil de l'agent et les caractéristiques du déplacement, le mode de transport le plus susceptible d'être mobilisé (figure 2). L'avantage de ce module est double. Il permet, d'une part, d'utiliser les données réelles sur les choix de déplacements afin de calibrer les habitudes des agents pour le mode de transport et, d'autre part, de diminuer le nombre d'itérations nécessaires pour identifier l'équilibre.

Les modèles de choix discrets sont des outils statistiques qui attribuent des probabilités à des options données dans le cadre de processus décisionnels sur la base d'observations pertinentes (par exemple les enquêtes origine-destination). Ces modèles reflètent une approche décisionnelle révélée dans laquelle les individus évaluent les avantages et les inconvénients de diverses options, et optent pour celle qui maximise leur bien-être sur la base d'une probabilité.

En transport, le principe de maximisation de l'utilité aléatoire (RUM, pour *Random Utility Maximization*) est couramment mobilisé. Différents modes de transport sont proposés, chacun étant associé à divers critères tels que le temps de déplacement et le coût. Ce modèle d'utilité permet de calculer les probabilités de choix en fonction des caractéristiques liées au choix, mais aussi des caractéristiques des individus (Manski, 1977).

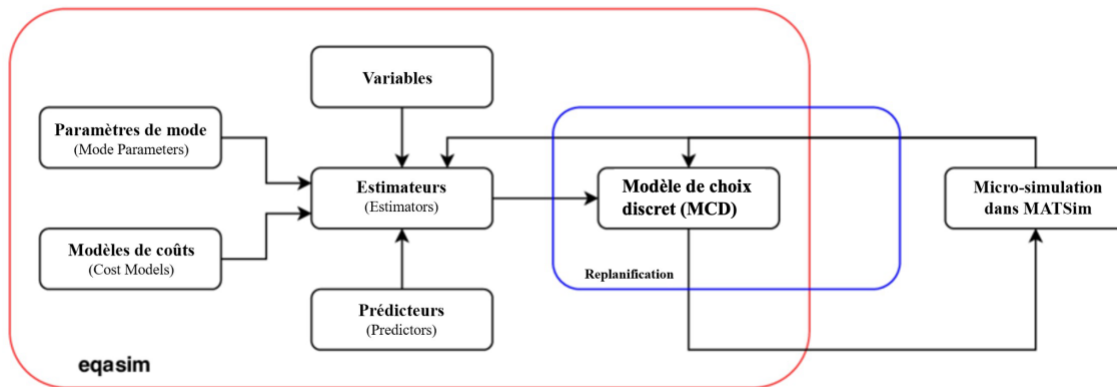


Figure 2 : Attribution des choix de déplacement en utilisant le module Eqasim

Source : Adaptation de Hörl et Balac, 2021

3. Données et génération d'un scénario de base

Afin de pouvoir adapter MATSim pour un territoire précis, ce que l'on appelle dans le jargon de la communauté d'utilisateurs la « génération d'un scénario de base », des données propres au lieu sont nécessaires. L'utilisation de MATSim repose sur quelques intrants majeurs, prenant la forme de fichiers XML (*eXtensible Markup Language*), un format textuel standardisé permettant d'organiser et de stocker les données. Ces fichiers représentent les informations fondamentales au montage du modèle de simulation, soit : i) la population et sa distribution spatiale; ii) les activités quotidiennes pratiquées par les agents (individus); iii) la distribution spatiale des ménages et des activités économiques; et iv) l'offre de transport, incluant les infrastructures routières et de transports collectifs. La génération du modèle est décomposée en quelques étapes permettant de reproduire le plus fidèlement possible la situation à l'étude (figure 3).

3.1 Population et habitudes de déplacement

En première étape, une population synthétique, c'est-à-dire une réplique de la population du secteur à l'étude, permet de représenter adéquatement la distribution spatiale des agents à l'étude. Elle permet ultimement de reproduire les comportements de mobilité connus. Ici, deux sources de données sont mobilisées. Les données liées au recensement canadien permettent de connaître avec précision la distribution spatiale des individus, ainsi que leurs caractéristiques respectives. La disponibilité des données à l'échelle des aires de diffusion (AD), la plus petite unité géographique normalisée au Canada, permet une reconstitution assez précise du portrait de la population à l'échelle d'une région métropolitaine¹¹. Dans le cas présent, les données du recensement canadien de 2016 sont mobilisées.

La population synthétique est générée à l'aide de l'outil PopGen (McNally et al., 2014), fondé sur deux méthodes : l'ajustement proportionnel itératif (Beckman et al., 1996) et la mise à jour proportionnelle itérative (Ye et al., 2009). Les algorithmes permettent d'adapter les caractéristiques d'une base de microdonnées aux contraintes des données agrégées

¹¹ [Dictionnaire, Recensement de la population, 2021](#)

locales (comme l'âge, le sexe, le revenu, la taille des ménages, etc.). Le module permet ainsi de créer une distribution de population la plus fidèle aux conditions observées sur le terrain, tout en respectant les contraintes liées aux distributions statistiques marginales à l'échelle des AD¹².

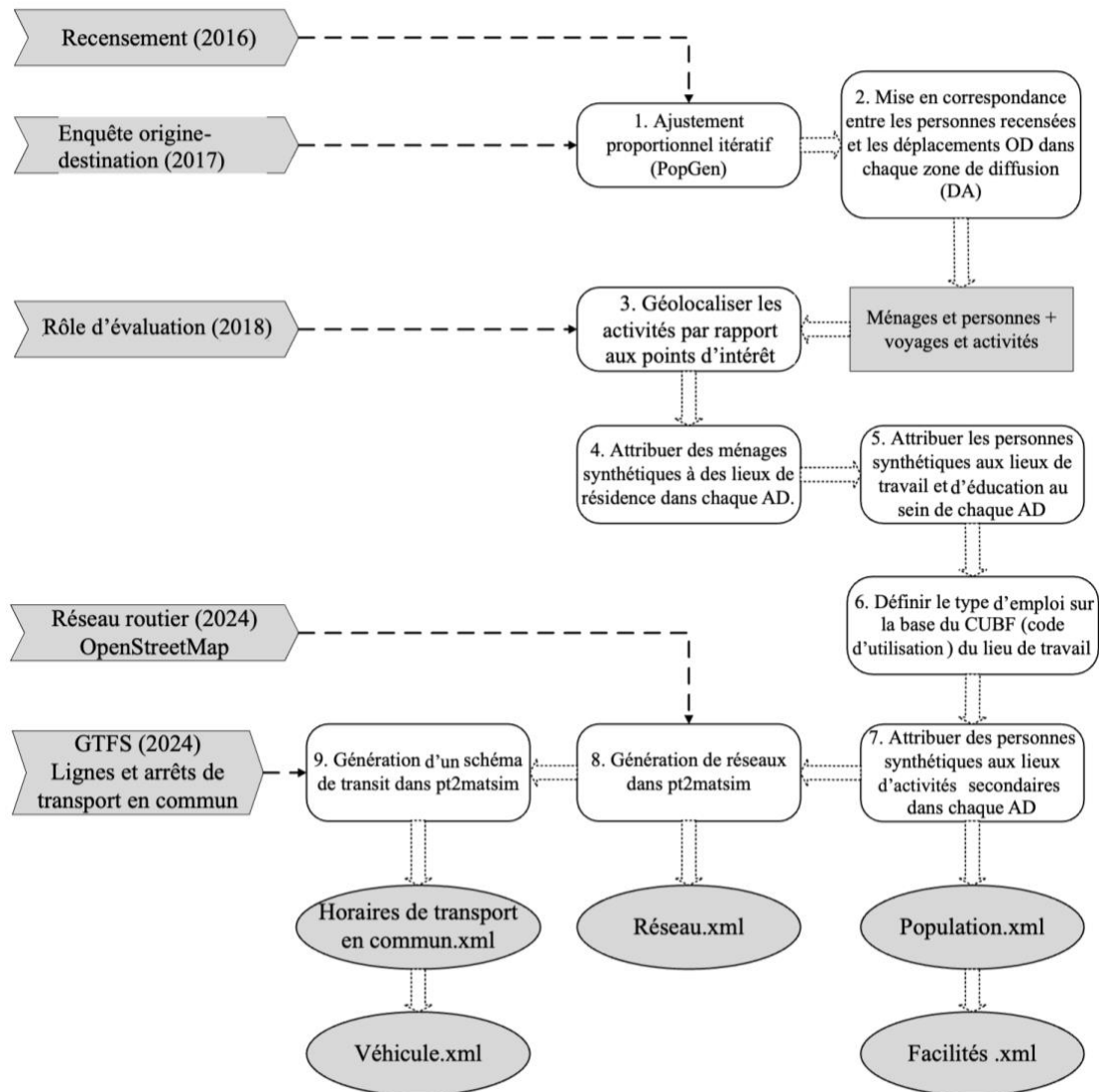


Figure 3 : Construction et calibration du modèle par étape

L'application du module permet d'obtenir un portrait réaliste et près de la réalité pour chacune des AD (figure 4). La forte correspondance entre le fichier de données originales (recensement) et celui généré par l'algorithme (population synthétique) est soulignée à la

¹² Voir aussi : [Une méthode de réconciliation des données d'enquête... – L'Actualité économique – Érudit](#)

fois par le fort pouvoir explicatif ($R^2 = 0,997$), mais également par le fait que le coefficient de pente est très près de la droite à 45 degrés ($\beta = 0,969$).

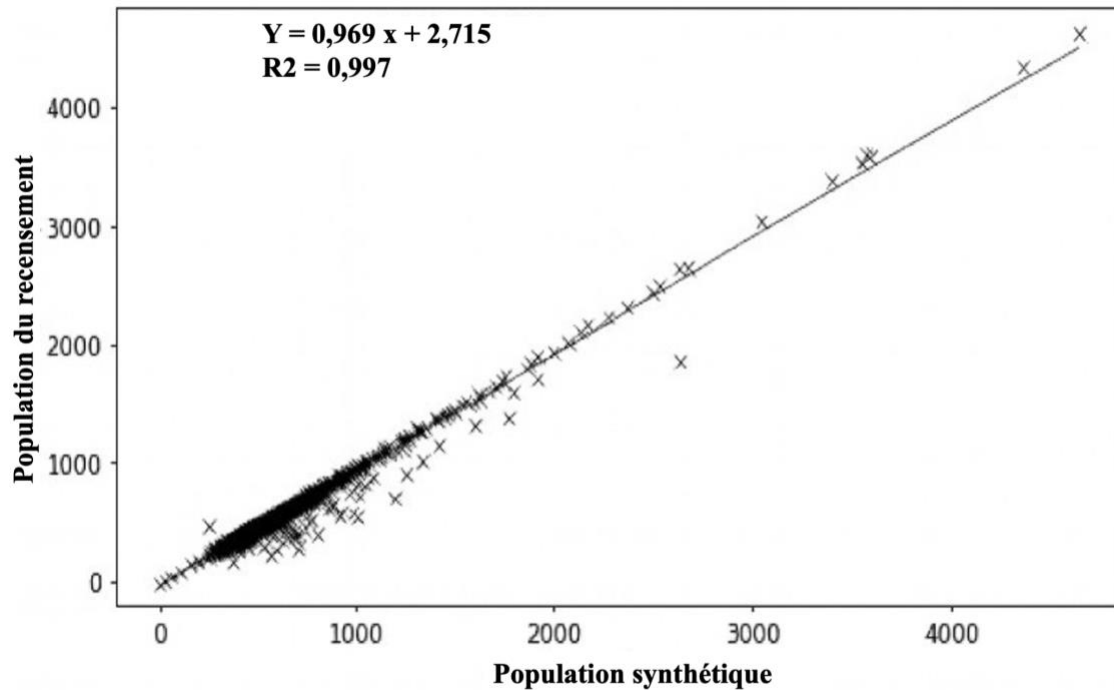


Figure 4 : Comparaison de la population totale par aire de diffusion (AD),

Source : Données de Statistique Canada 2016 et population synthétique générée par PopGen

L'algorithme PopGen permet également d'avoir une bonne représentativité globale de la population lorsque celle-ci est décomposée sur la base des caractéristiques des individus (figure 5). Les distributions de la population sur la base de la taille des ménages et des revenus sont largement similaires (figures 5.1 et 5.2). L'algorithme surestime légèrement la population masculine au détriment de la population féminine (figure 5.3)

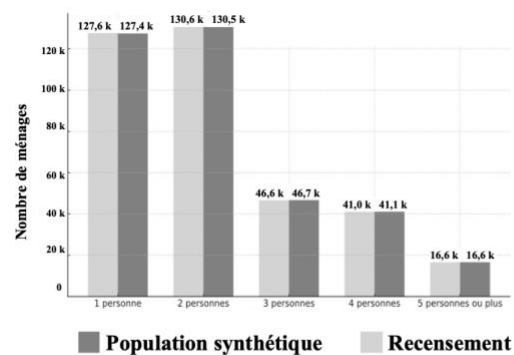


Figure 5.1 : Taille des ménages

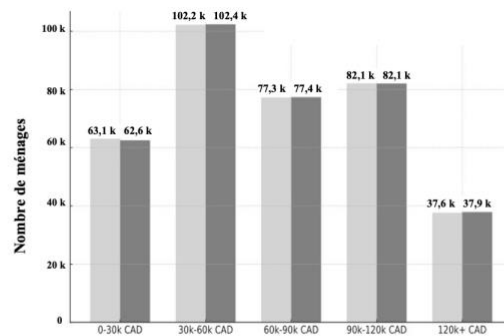


Figure 5.2 : Revenus

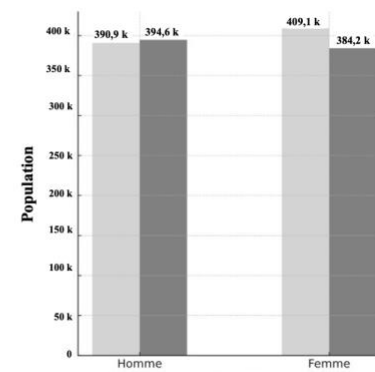


Figure 5.3 : Sexe

Figure 5 : Qualité d'ajustement selon certaines caractéristiques de la population

Une fois la population générée, l'étape suivante est d'affecter des plans d'activité aux agents. Pour ce faire, les données de l'enquête origine-destination (OD) servent d'intrant majeur. Les enquêtes OD procurent le meilleur portrait disponible quant aux déplacements effectués par les individus et membres de ménages au cours d'une semaine représentative d'automne. Elles reflètent les caractéristiques démographiques et les habitudes de déplacement des résidents d'une région métropolitaine de recensement (RMR).

Dans le cas présent, les données de l'enquête OD de 2017 pour la RMR de Québec sont mobilisées¹⁸. Le fichier des déplacements contient des informations pour 54 753 individus et 182 263 déplacements effectués dans le cadre d'activités débutant et se terminant au domicile.

Les individus synthétiques issus du recensement sont ensuite appariés à des répondants de l'enquête OD présentant des caractéristiques sociodémographiques similaires. L'appariement ne repose pas sur l'utilisation de valeurs moyennes par aire de diffusion, mais sur une correspondance individuelle. Cependant on ne peut pas parler d'une correspondance de type un-pour-un, car l'enquête OD, n'est qu'un échantillon de la population. Néanmoins, en tenant compte des facteurs de pondération des individus de l'échantillon, chaque individu synthétique est associé à un répondant de l'enquête OD réel partageant un profil comparable selon l'âge, le sexe, la structure et la taille du ménage ainsi que la catégorie de revenu. Cette dernière est disponible à la fois dans les données détaillées de Statistique Canada et dans l'enquête OD, ce qui assure une cohérence directe entre les deux sources, même lorsque certains répondants de l'enquête OD ne déclarent pas leur revenu.

Une fois l'appariement réalisé, les comportements du répondant de l'enquête OD – le nombre de déplacements, les motifs, les horaires de départ, la durée des activités et la structure des chaînes de déplacements – sont transférés à l'individu synthétique. Ce processus permet d'attribuer des plans d'activité réalistes à la population synthétique tout en respectant les distributions démographiques propres à chaque aire de diffusion. Un processus automatisé de traitement des données, développé en Python, permet de transformer les informations sources en fichiers compatibles avec MATSim (Gharavi et al., 2025).

3.2 Localisation des ménages et des activités

Pour les besoins de cette étude, une étape supplémentaire – qui n'est pas systématiquement intégrée dans les modèles MATSim standards – consiste à géolocaliser de manière précise les lieux de résidence et d'emploi. Pour ce faire, les informations provenant des rôles d'évaluations portant sur les différentes unités d'évaluation sont mobilisées. Les données sont disponibles gratuitement en ligne¹⁹ et permettent, par le biais du code d'utilisation du bien-fonds (CUBF), de recouvrer la principale vocation des différentes unités. Elles

¹⁸ <https://www.quebec.ca/transports/recherches-statistiques/planification/enquetes-origine-destination/quebec/2017>

¹⁹ [Rôles d'évaluation foncière du Québec - Jeu de données - Données Québec](#)

permettent aussi, via les informations sur le nombre de logements et le nombre de locaux commerciaux par unité, de retracer les possibles lieux de consommation ou production. Dans la présente approche, les lieux de résidence, d'emploi et les chaînes d'activités observées dans l'enquête OD sont attribués directement aux individus de la population synthétique, tandis que les informations issues du rôle d'évaluation servent uniquement à ancrer spatialement ces lieux dans des bâtiments dont la vocation est connue via le code d'utilisation du bien fond (CUBF). Ainsi, le CUBF n'est pas utilisé pour déterminer le motif de déplacement : celui-ci provient exclusivement de l'enquête OD, ce qui évite toute confusion entre, par exemple, un travailleur d'un centre commercial et un individu s'y rendant pour magasiner.

Le rôle d'évaluation permet d'identifier les bâtiments résidentiels, commerciaux ou institutionnels et de les utiliser comme emplacements plausibles pour les activités rapportées dans l'enquête OD, tandis que la nature de l'activité (travail, magasinage, loisir, etc.) provient strictement du motif déclaré dans l'enquête. Cette combinaison garantit à la fois une localisation géographique réaliste des lieux d'activité et une cohérence sémantique complète avec les chaînes de déplacements observées dans l'enquête OD. Cette étape veille à ce que les ménages synthétiques soient ancrés spatialement dans les zones résidentielles observables.

Les agents synthétiques sont affectés aux lieux de travail et d'enseignement, alors que les types d'emploi sont classés en fonction du CUBF. Les activités secondaires, comme le magasinage ou les loisirs, sont également attribuées afin de compléter une chaîne d'activités par individu (figure 6). L'ensemble des chaînes d'activités sont ainsi recomposées et géolocalisées avec précision.

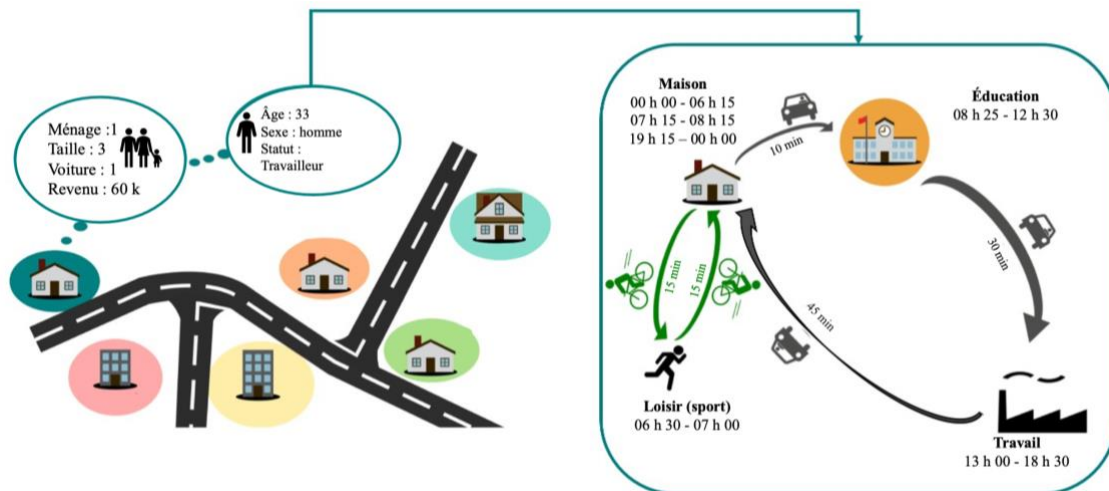


Figure 6 : Exemple de chaînes d'activités complètes (liant le domicile)

Source : Gharavi et al. (2025)

3.3 Infrastructures de transport

Les informations portant sur le réseau routier et l'offre de transport en commun sont ensuite mobilisées pour relier les différents lieux et permettre aux individus de se déplacer dans l'espace. D'une part, le réseau routier de 2024 est extrait d'OpenStreetMap²⁰. Il fournit un portrait exhaustif des nœuds et des lignes et polylignes (ou tronçons) reliant les nœuds. Les limites de vitesse praticables par tronçon sont également précisées. D'autre part, les données sur les itinéraires de transport collectif sont importées de l'ensemble de données GTFS^{21,22} de 2024. Ces fichiers permettent de détailler les parcours disponibles, mais aussi leurs horaires.

Le fichier Vehicle.xml est également généré afin de spécifier les catégories de véhicules. Il définit notamment les types de véhicules propres au système de transport en commun de la zone visée, leur consommation énergétique et les paramètres nécessaires au module d'émissions, lesquels sont basés sur les facteurs de conversion établis par le modèle HBEFA²³ (*Handbook of Emission Factors for Road Transport*). Ces paramètres incluent entre autres les taux d'émission par classe de véhicule et par condition de circulation.

Le fichier Vehicle.xml est construit automatiquement par l'outil pt2matsim²⁴, et donc les types de véhicules sont inférés à partir du GTFS, puis ajustés pour intégrer les types appropriés. Cette étape assure la compatibilité du réseau de transport et des véhicules simulés avec l'estimation subséquente des émissions de polluants.

Les données d'infrastructures de transport sont intégrées à l'aide de l'outil pt2matsim (Poletti, 2017) qui permet de générer des fichiers compatibles avec MATSim. Les réseaux routiers et de transport en commun sont convertis en Network.xml.

3.4 Intégration des informations

La mise en commun des différentes sources de données et étapes (figure 3) fournit un ensemble complet de fichiers de scénarios MATSim : i) Population.xml, qui comprend la population synthétique ainsi que ses horaires d'activités quotidiennes (figure 6); ii) Facilities.xml, qui comprend tous les lieux d'activité; iii) Network.xml, qui synthétise les informations sur les infrastructures de transport; iv) Transit_schedule.xml, qui décrit les trajets de transport en commun et leur horaire; et v) Vehicle.xml, qui précise les types et la disponibilité des véhicules utilisés dans la simulation. Les fichiers permettent de constituer un modèle de transport urbain certes synthétique, mais assez précis sur le plan comportemental.

²⁰ <https://www.openstreetmap.org/>

²¹ <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/rtc-gtfs-arrets-et-les-parcours>

²² Bien que les données de l'enquête OD datent de 2017, nous n'avons pas eu accès aux archives de 2017 pour les données du GTFS et du réseau. Nous utilisons donc des données réseau réelles avec des informations de 2017. Entre 2017 et 2021, la population de Québec a augmenté de 17 557 personnes, à un taux de croissance annuel de 0,65 %.

²³ <https://www.hbefa.net/>

²⁴ <https://github.com/matsim-org/pt2matsim>

La population cadre globalement avec les observations et permet d'obtenir un portrait des chaînes d'activités à l'échelle métropolitaine assez similaire au portrait réel (figure 7). En partant des différentes chaînes possibles, la comparaison porte à croire que le modèle est largement en mesure de représenter les déplacements des agents. L'importance relative des chaînes d'activités est cohérente et dans le bon ordre. Les différences observées entre les données réelles et la population synthétique sont toujours inférieures à deux points de pourcentage.

Bien que la procédure de génération de la population synthétique implique que certains individus puissent partager des caractéristiques identiques, le modèle MATSim ne les traite jamais comme des agents interchangeables. Chaque agent est simulé de manière indépendante, avec sa propre trajectoire, ses propres conditions de déplacement et ses propres interactions avec la congestion du réseau. Même lorsque deux individus possèdent un plan d'activité similaire, issu de l'enquête OD, leurs expériences de déplacement divergent aussitôt qu'ils empruntent des liens distincts du réseau, rencontrent des niveaux de densité différents ou se déplacent à des moments légèrement décalés. Cette granularité temporelle et spatiale intégrée à MATSim évite que des agents « identiques » se comportent réellement de façon identique et permet au modèle de produire des résultats différenciés et réalistes à l'échelle individuelle, malgré l'utilisation de profils sociodémographiques semblables.

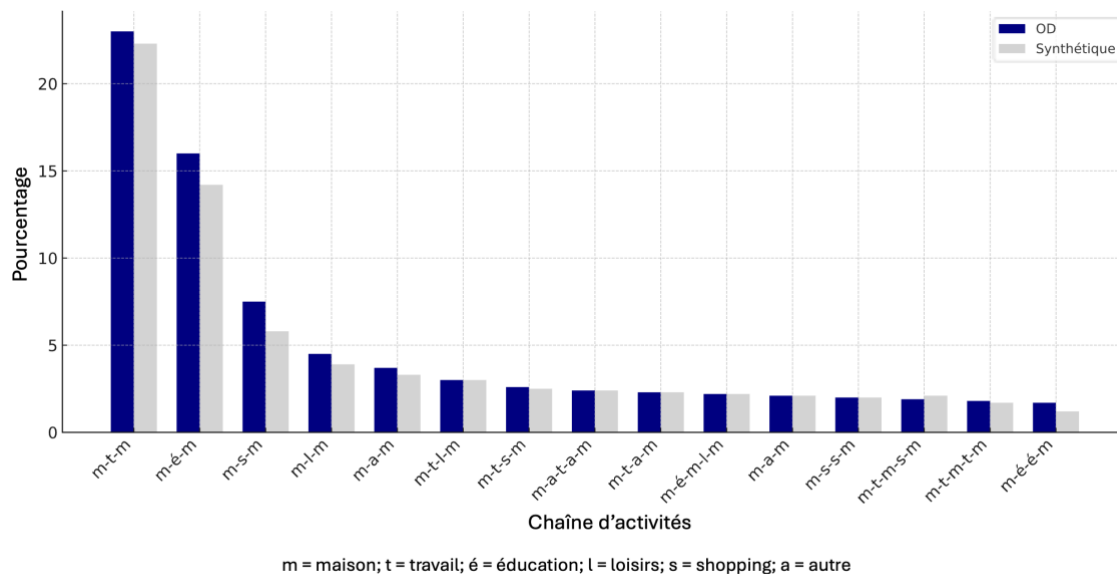


Figure 7 : Comparaison des chaînes d'activités

La comparaison des distances entre activités va généralement dans le sens des informations contenues dans l'enquête OD (figure 8). Les distributions montrent que la majorité des déplacements se font sur de courtes distances, particulièrement pour les activités d'éducation et de consommation (achats), ce qui cadre pour l'essentiel avec les

comportements déclarés dans l'enquête OD. Globalement, les données issues de la population synthétique permettent de reproduire adéquatement les tendances observées, bien que des divergences ressortent, notamment pour des distances plus longues en lien avec certaines activités (ex. : travail et loisir).

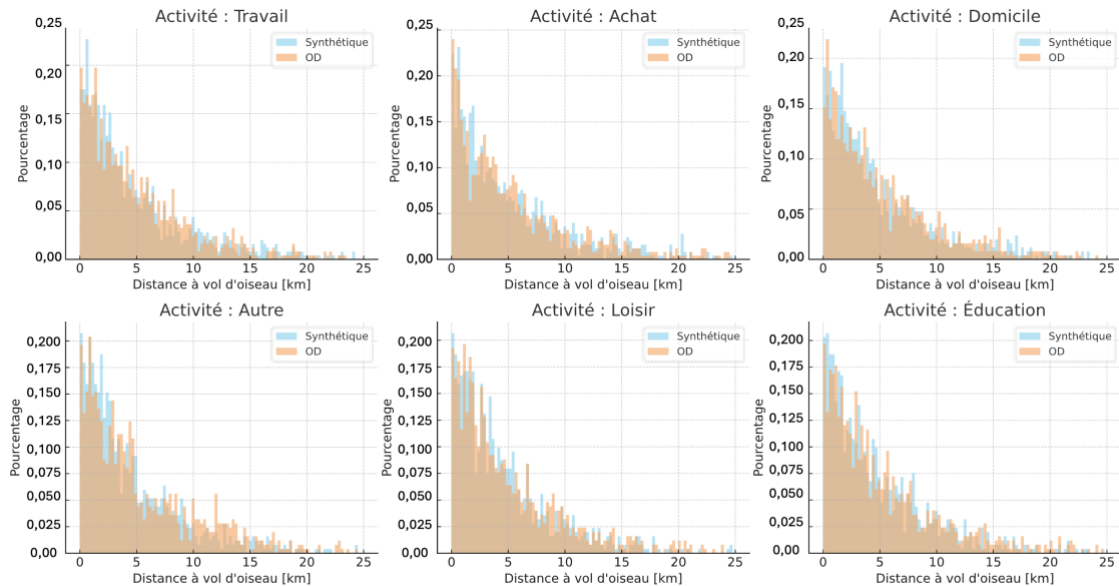


Figure 8 : Comparaison des distributions de distances parcourues par activité

Une fois le scénario de base complet et validé, on peut générer des scénarios reflétant différents choix concernant le télétravail ainsi que les lieux et horaires des autres activités.

4. Scénarios liés au télétravail

Des changements de comportement sont introduits par rapport au scénario de base, qui représente les comportements de l'enquête origine-destination, afin de pouvoir effectuer une comparaison des modes mobilisés, mais aussi des changements dans certains indicateurs sélectionnés.

La première étape consiste à construire les scénarios qui seront mobilisés pour la suite de l'analyse. Les travailleurs susceptibles d'effectuer du télétravail sont d'abord ciblés à partir de leur emploi. La probabilité de télétravail est fixée selon le réalisme de recourir à ce mode de travail et inspirée de la liste récente publiée par l'Institut de la statistique du Québec (ISQ)²⁵. La proportion du télétravail dans les différents secteurs d'activité varie considérablement, par exemple, 75,4 % dans la finance et l'assurance contre 8,1 % dans l'hébergement et la restauration (tableau 1). Ce portrait factuel constitue la base empirique permettant de déterminer l'admissibilité au télétravail pour la main-d'œuvre synthétique. Le code principal lié à la vocation du lieu de destination (issu du CUBF) est associé à une

²⁵ <https://statistique.quebec.ca/fr/communiqu%C3%A9/portrait-teletravail-quebec>

Voir aussi : ciqss.org/wp-content/uploads/2024/09/MW_CIQSS_5novembre.pdf

catégorie industrielle, qui permet ensuite d'associer une probabilité de télétravail en fonction du secteur d'activité.

Trois scénarios de télétravail sont analysés : i) une situation où 10 % des travailleurs recourent au télétravail; ii) une situation où 20 % des travailleurs recourent au télétravail; et iii) une situation où 40 % des travailleurs recourent au télétravail. La probabilité de télétravail est appliquée à partir d'un échantillonnage aléatoire pondéré. Les pondérations correspondent à la probabilité de télétravail propre à chaque secteur d'activité. Cette approche garantit que les personnes travaillant dans des secteurs associés à des taux de télétravail plus élevés sont les plus susceptibles d'être affectées au mode télétravail afin de refléter la segmentation réelle du marché du travail.

Pour chacun des trois scénarios, deux options sont ensuite développées. Une première où les télétravailleurs n'ajoutent aucun autre déplacement à la liste des déplacements effectués. Ils conservent néanmoins les déplacements qui ne sont pas liés au travail. Dans ce cas, on suppose que les déplacements domicile-travail sont simplement retirés de la liste des déplacements totaux.

Tableau 1 : Distribution du télétravail par secteur d'activité, ville de Québec (2022)

Secteurs économiques	Télétravail (toutes catégories)	Télétravail exclusif†	Travail en présentiel
Tous les secteurs	34,6 %	13,5 %	65,4 %
Industrie primaire	30,0 %	18,0 %	70,0 %
Services publics	49,8 %	15,3 %	50,2 %
Construction	15,5 %	3,4 %	84,5 %
Fabrication	21,3 %	2,6 %	78,7 %
Commerce	18,9 %	2,4 %	81,1 %
Transport et entreposage	18,3 %	2,5 %	81,7 %
Finance, assurance et immobilier	75,4 %	35,7 %	24,6 %
Services professionnels, scientifiques et techniques	72,8 %	33,9 %	27,2 %
Gestion d'entreprises, services de soutien et autres services	30,1 %	7,0 %	69,9 %
Services d'enseignement	39,5 %	6,6 %	60,5 %
Santé et services sociaux	24,9 %	6,4 %	75,1 %
Information et culture	56,2 %	17,1 %	43,8 %
Alimentation et hébergement	8,1 %	1,3 %	91,9 %
Autres services	29,6 %	8,2 %	70,4 %
Administration publique	64,7 %	23,5 %	35,3 %

Source : *Portrait du télétravail au Québec en 2022* (Cloutier-Villeneuve, 2024)²⁶.

Note : Moyenne de mai à décembre

† : La différence entre Télétravail (toutes catégories) et Télétravail exclusif représente la proportion de télétravailleurs en mode hybride.

²⁶ Source : statistique.quebec.ca/fr/fichier/teletravail-quebec-2022.pdf

Selon la seconde option, les télétravailleurs, en plus de leurs déplacements non reliés au travail, ajoutent des activités à leur chaîne de déplacements de base. L'ajout de déplacements s'inspire des conclusions tirées de la littérature. Ainsi, pour cette seconde approche, les télétravailleurs sont soumis à de nouvelles habitudes de déplacements. Celles-ci supposent que :

- i) Certains parents télétravailleurs (6 %) ajouteront deux nouveaux déplacements (aller et retour) afin d'accompagner les enfants à l'école ou à la garderie;
- ii) Certains télétravailleurs qui n'effectuent pas de déplacements autres que domicile-travail dans la journée (45 %) ajoutent un déplacement;
- iii) Certains télétravailleurs (30 %) choisissent des tiers-lieux pour travailler plutôt que leur domicile.

Ces hypothèses reposent sur le fait que des télétravailleurs assumant des responsabilités familiales pourraient être incités à changer leurs comportements de raccompagnement des enfants à l'école. Ce scénario est conforme aux conclusions des travaux de Wöhner (2023) et Elldér (2020), alors que les travaux de Wray (2024) laissent croire que les parents en télétravail ont tendance à augmenter d'environ 35 minutes par jour le temps consacré au transport des enfants. Asmussen et al. (2024); Speroni et Taylor (2023) ainsi que Wöhner (2022) présentent des conclusions similaires dans leurs travaux.

L'enquête OD révèle que 7 428 travailleurs sont identifiés comme ayant des enfants de moins de 12 ans se rendant à l'école. Parmi les parents qui travaillent, 3 772 (50,8 %) ont déclaré avoir effectué au moins un trajet pour conduire une personne à l'école ou à la garderie.

Pour clarifier ultérieurement le raisonnement derrière le choix des scénarios, il est utile de donner quelques détails additionnels. Tout d'abord, rappelons que l'élimination de certains déplacements domicile-travail ne signifie pas pour autant une réduction équivalente du nombre de déplacements. Une possible substitution (effet rebond) peut s'opérer entre les lieux fréquentés. Les études de Mokhtarian et Salomon (1997) et Choo et al. (2005) ont mis en lumière comment le télétravail génère des déplacements supplémentaires liés à des activités d'achat, de divertissement ou à d'autres activités liées à des personnes dépendantes. En ce sens, et sur la base d'études récentes (voir notamment Khaddar, 2024; Motte-Baumvol et al., 2024; Victoriano-Habit et El-Geneidy, 2023), les télétravailleurs qui ne pratiquaient auparavant aucune activité de magasinage ou de loisirs se sont vu attribuer une nouvelle activité discrétionnaire en fin de journée et en soirée.

Gorný (2024) constate que les télétravailleurs conservent souvent les destinations originales pour le motif de loisirs alors que le moment du déplacement est en dehors des heures de pointe (de 7 h à 9 h et de 16 h à 18 h). Selon Wöhner (2023), le recours au télétravail encourage les déplacements locaux et actifs, alors qu'Elldér (2020) laisse entendre qu'une partie de ces déplacements sont effectués localement, le midi ou hors des périodes de pointe.

Afin de formaliser ces possibilités, la moitié des télétravailleurs n'ayant pas d'activités autres que celle liée au déplacement domicile-travail (70 %) se voient attribués de

nouvelles activités. Le lieu de la nouvelle activité est choisi en fonction d'une coordination avec les lieux fréquentés par d'autres membres du ménage pour le même type d'activité (30 % des cas). Si aucun lieu n'est déclaré ou attribuable, une activité est attribuée de manière aléatoire en utilisant la distribution réelle des distances parcourues pour effectuer les activités déclarées dans l'enquête. Afin de conserver la structure observée, l'activité additionnelle est attribuée de manière probabiliste : 63,9 % des déplacements sont liés aux achats, alors que 36,1 % des déplacements sont associés au motif de loisirs. Une distribution gaussienne est utilisée afin de simuler des horaires réalistes.

Finalement, le concept de travail dans un tiers-lieu est pris en compte puisqu'un bon nombre de télétravailleurs substituent le bureau par un autre espace de travail. Selon Stiles et Smart (2021), environ 30 % des télétravailleurs américains utilisent régulièrement ces espaces, souvent pendant les périodes hors pointe, motivés par un désir d'interaction sociale et de changement d'environnement. Ainsi, 30 % des télétravailleurs sont sélectionnés au hasard et se voient attribuer une période de travail dans un tiers lieu. Ces périodes de travail, opérées dans des cafés ou des centres de cotravail, sont localisées à partir d'*OpenStreetMap*, bien que la fréquentation demeure liée à une distance raisonnable du domicile.

Les simulations effectuées sur la base d'un retrait pur et simple des déplacements domicile-travail sans ajout d'activités reflètent en quelque sorte la borne maximale de l'effet du télétravail sur les habitudes de déplacements. En contrepartie, les scénarios simulés sur la base d'ajouts de déplacements constituent fort probablement un ensemble de possibilités plus réalistes.

5. Résultats

La comparaison des résultats se fait à partir du scénario de base calibré, et non sur les données réelles. Le processus de calibration, qui serait trop long à expliquer ici, se fait sur la base de comptages routiers. En extrême synthèse, il s'agit de modifier les paramètres de comportement des agents selon un processus d'essais et erreurs jusqu'à ce que les comptages soient adéquatement reproduits par le modèle. Le concept d'adéquation est qualitatif, et soumis aux données disponibles et aux besoins propres au cas d'étude, mais en général on vise un écart maximal de 10 %. À cause de cet écart entre le scénario de base et les données réelles, une comparaison sur la base de cette dernière source ne permettrait pas de distinguer les effets liés aux erreurs de calibration par rapport aux effets liés aux changements dans les comportements des agents (synthétiques).

À noter que le modèle de choix discret, qui sert de référence pour le choix modal dans le scénario de base et les différentes simulations, est présenté en détail en annexe.

Pour la présentation des résultats, quelques indicateurs clés sont retenus pour fins de comparaisons : i) le nombre de déplacements; ii) le nombre de kilomètres parcourus; iii) les parts modales; et iv) les émissions polluantes. Chacun des indicateurs est présenté et comparé globalement, mais aussi selon une certaine stratification, notamment en ce qui concerne les motifs de déplacement et les heures de la journée.

5.1 Nombre de déplacements

Le nombre de déplacements effectués diminue lorsqu'il est possible de recourir au télétravail (figure 9). Le nombre de déplacements total diminue d'un peu plus de 10 % (11,15 %) dans le scénario plus incisif, soit lorsque le taux de télétravail est de 40 % et lorsque les télétravailleurs n'ajoutent pas d'activités à leur horaire. La réduction du nombre de déplacements est donc moins que proportionnelle au taux de télétravail adopté. Ce constat est logique si on pense que le travail n'est pas le seul motif de déplacement observé. Pour un taux de télétravail de 10 %, la réduction du nombre de déplacements est de 51 790, soit environ 3 % des déplacements totaux, alors que la réduction est d'un peu plus de 5 %, soit 100 730 déplacements, pour un taux de télétravailleurs de 20 %, et que 40 % de télétravail engendre une réduction d'environ 10 % des trajets.

Lorsqu'on considère une possible substitution des déplacements domicile-travail par d'autres motifs, le portrait est plus tempéré (colonnes 5 à 7). D'une part, la réduction du nombre de déplacements par jour varie entre 8 890 et 30 720, selon le pourcentage de télétravailleurs concernés. Dans le cas où 40 % des travailleurs recourent au télétravail, la diminution relative du nombre de déplacements correspond à un peu moins de 2 % des déplacements totaux. Dans certains scénarios, les déplacements associés au motif « travail » proviennent principalement des télétravailleurs assignés à un tiers-lieu ($\approx 30\%$), ce qui explique que les colonnes ne reproduisent pas les valeurs des scénarios sans substitution.

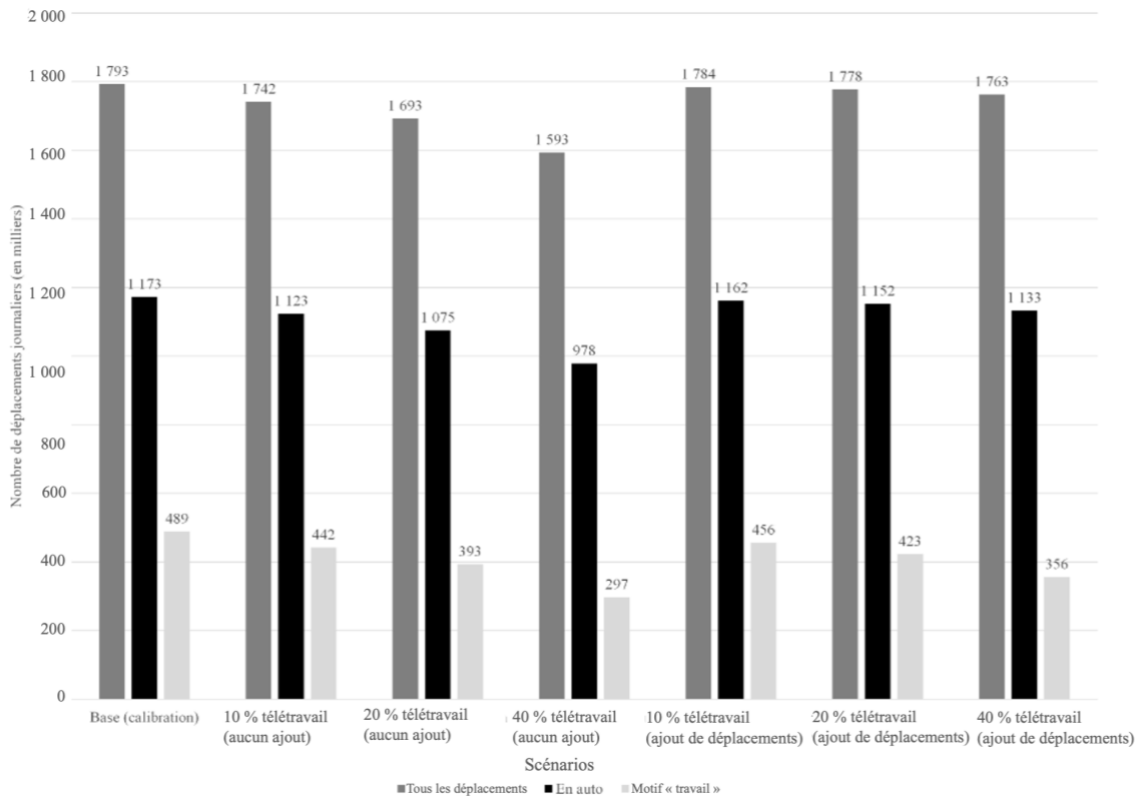


Figure 9 : Nombre de déplacements effectués selon les scénarios retenus

Ainsi, le nombre de déplacements journaliers à l'échelle de la région métropolitaine de Québec où l'on effectue du télétravail diminue de façon moins que proportionnelle. Ce constat n'a rien d'étonnant, puisqu'il découle directement des hypothèses, mais l'analyse permet de saisir l'ampleur du phénomène contextualisé dans la mobilité de la ville de Québec en général. En comparaison, selon la récente enquête OD, près de la moitié de la réduction totale des déplacements entre 2017 et 2023, soit 6,8 %, est attribuable au télétravail. On note aussi que la réduction est plus forte pour les trajets en transport en commun qu'en voiture. Si on considère le potentiel effet rebond, la réduction du nombre de déplacements est minime.

5.2 Parts modales

Puisque la grande part des déplacements dans la région métropolitaine de Québec s'effectue en automobile, et comme la variation du nombre de déplacements est fortement liée au changement dans le nombre total de déplacements, les parts modales varient très faiblement selon les scénarios élaborés (figure 10). La part modale du transport collectif est assez stable, variant entre 11 % et 13 %, tout comme celle du transport actif, intégrant la marche, qui varie entre 10 et 11 %. Dans tous les cas, la part du transport automobile est plus faible lorsque la proportion d'emplois en télétravail est plus importante. La plus forte réduction relative de la place de la voiture survient lorsque les déplacements domicile-travail sont éliminés et non pas substitués. Or, dans tous les cas, la proportion de déplacements effectués en voiture représente plus des trois quarts du total.

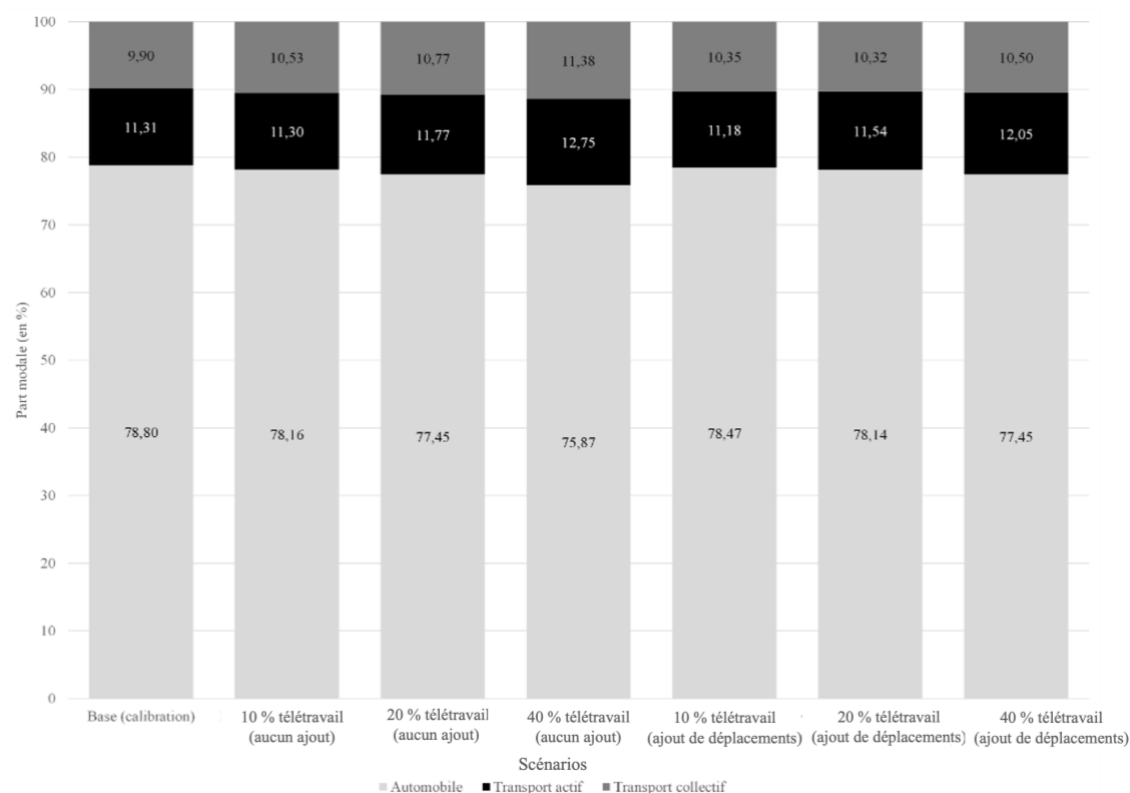


Figure 10 : Part modale calculée selon les scénarios retenus

Globalement, et malgré certaines légères variations, la part modale demeure relativement inchangée dans l'ensemble des scénarios envisagés et favorise le recours à la voiture.

5.3 Nombre de kilomètres parcourus

Les distances parcourues s'avèrent un meilleur indicateur pour chiffrer l'impact potentiel des émissions polluantes. En comparant avec le scénario le plus optimiste, soit celui où les déplacements domicile-travail sont simplement annulés, les résultats montrent une diminution relativement importante du nombre de kilomètres parcourus par jour (figure 11). En supposant un taux d'adoption du télétravail de 10 %, 647 500 km en moins sont parcourus sur les routes de la région métropolitaine de Québec. Ce nombre grimpe à 1 232 200 pour une adoption du télétravail par 20 % des travailleurs, et à plus de 2 404 300 km pour un taux d'adoption de 40 %.

En revanche, cette diminution est moins marquée lorsque des activités sont substituées. Le nombre de kilomètres parcourus lorsque 40 % des travailleurs peuvent recourir au télétravail est moins élevé que le nombre de kilomètres retranchés en absence de substitution, soit environ 957 400 km de moins que le scénario de référence. Même dans le cas où 20 % des travailleurs peuvent recourir au travail à distance, lorsqu'ils effectuent des déplacements supplémentaires, le nombre de kilomètres parcourus en moins dans la journée est inférieur à la réduction des kilomètres parcourus dans le scénario où 10 % des travailleurs demeurent à la maison sans ajouter de déplacement.

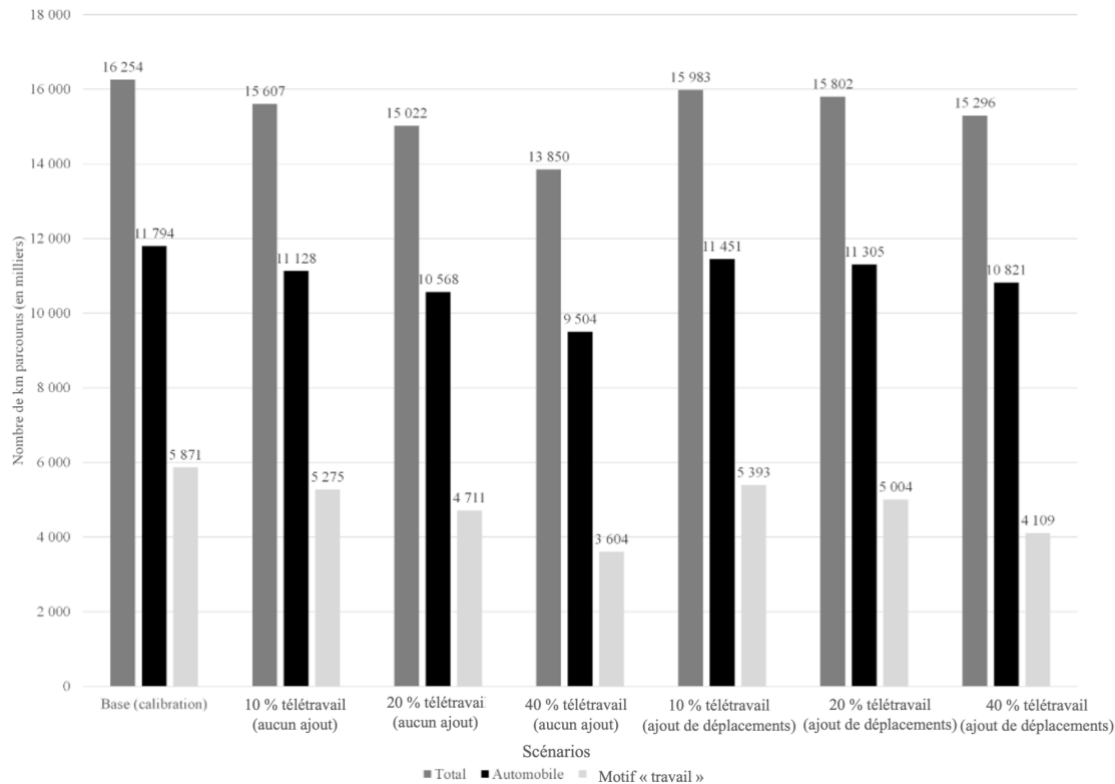


Figure 11 : Kilomètres parcourus selon les scénarios retenus

La réduction plus modérée du nombre de kilomètres parcourus résulte directement de l'effet rebond lié à la substitution des déplacements. Ces scénarios, qui cadrent avec les conclusions tirées de la littérature, permettent, d'une part, de mieux interpréter les observations relatives au niveau agrégé de trafic postpandémie – avec une adoption importante du télétravail – et, d'autre part, d'anticiper les effets d'une adoption du télétravail encore plus grande sur la distance parcourue, et en définitive sur les émissions.

Dans le scénario de référence, un déplacement type se fait sur une longueur d'environ 10 km. En comparaison, le nombre de kilomètres parcourus diminue au maximum de 0,34 km lorsque 40 % des individus télétravaillent sans remplacer le déplacement domicile-travail. En intégrant cette substitution, le trajet type passe à 9,55 km, affichant ainsi une baisse plus importante. Ce recul plus marqué s'explique par l'hypothèse de déplacements additionnels effectués à proximité du domicile. Cependant, cette réduction de la distance par trajet occulte le fait que le nombre de déplacements, lui, augmente. Dans tous les cas, le gain moyen par déplacement est somme toute assez marginal, soit moins d'un demi-kilomètre.

5.4 Émissions polluantes

Les émissions sont calculées en post-traitement à partir des sorties de la simulation MATSim, en utilisant le module d'émissions officiel. Concrètement, nous rechargeons le scénario final (réseau, plans et événements), associons à chaque lien une catégorie HBEFA (*Handbook of Emission Factors for Road Transport*) représentative de la situation de trafic

(urbain/rural, type de voie, vitesse, niveau de service) et appuyons le calcul sur des facteurs d'émission « à chaud » et « à froid » par catégorie de véhicule. Les véhicules non couverts (p. ex. transport collectif) sont explicitement exclus des estimations routières. Le module lit ensuite la chronologie des événements de circulation (entrées/sorties de liens, vitesses implicites, mises en mouvement après arrêt) et agrège les émissions par polluant, par pas de temps et par entité spatiale (lien, trajet, zone).

La somme des kilomètres parcourus est mobilisée afin d'obtenir une évaluation de l'impact vraisemblable du recours au télétravail sur les émissions polluantes. Globalement, les émissions polluantes peuvent être réduites de manière considérable dans le scénario où 40 % des travailleurs peuvent effectuer du télétravail sans ajouter de déplacements à leur journée. Une réduction d'environ 20 % des émissions est alors enregistrée. En revanche, lorsque des activités sont ajoutées à la journée de travail à la maison, le gain global est alors de moins de 10 %, soit 91,75 % des émissions du scénario de base.

La variation des émissions possède également une forte dimension temporelle. Les scénarios de substitution des déplacements domicile-travail par d'autres motifs montrent notamment une hausse des émissions polluantes en après-midi et en soirée (figure 12).

Des gains environnementaux sont possibles lorsque le recours au télétravail se fait en éliminant les déplacements domicile-travail. En revanche, ce gain est moins évident lorsque les déplacements sont substitués. Dans la totalité des cas, les émissions polluantes dépassent momentanément le scénario de référence à la fin de la période de pointe du matin et durant l'après-midi. Lorsque le taux de télétravail est important, à 40 %, et qu'une substitution dans les habitudes de déplacement s'effectue, les émissions dépassent celles du scénario de référence entre 14 h et 22 h.

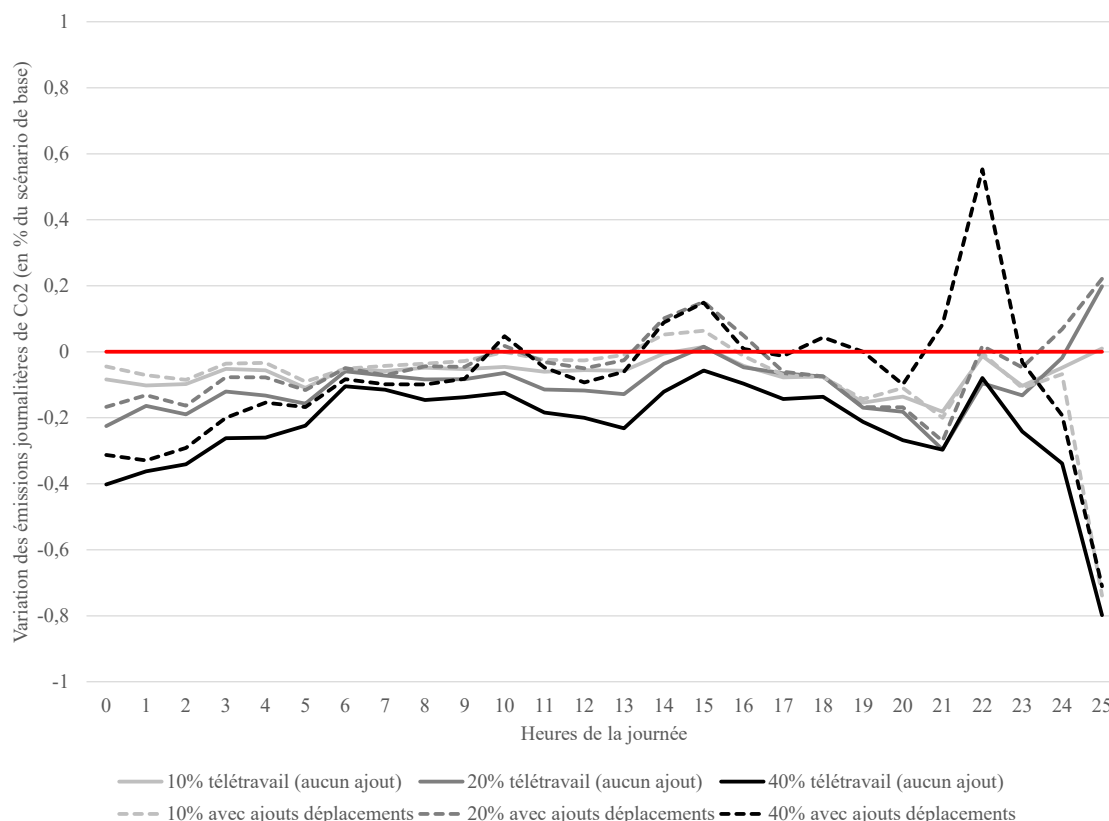


Figure 12 : Variation des émissions polluantes (CO₂) journalières selon les scénarios

Les résultats tendent à indiquer que le recours au télétravail peut engendrer une réduction des émissions polluantes, mais que celle-ci est loin d'être équivalente. Qui plus est, la substitution de certains déplacements entraîne des périodes d'achalandage qui surpassent le niveau du scénario de référence.

6. Discussion

Globalement, le recours au télétravail est susceptible de faire diminuer le nombre de déplacements et leur longueur ainsi que les émissions polluantes. Dans le plus optimiste des scénarios, c'est-à-dire dans le cas où les déplacements domicile-travail sont simplement supprimés, les résultats montrent que le recours au télétravail par $x\%$ des travailleurs entraîne une diminution de la moitié de $x\%$ (ou $0,5x\%$) des indicateurs retenus. Avec un scénario plus réaliste, soit la substitution du déplacement domicile-travail par d'autres déplacements pour certains télétravailleurs, le gain pour un recours à $x\%$ de télétravail se matérialise plutôt par le quart de $x\%$ (ou $0,25x\%$) pour les indicateurs retenus. Ainsi, l'ajout de déplacements peut diminuer de moitié les gains potentiels liés à la réduction des déplacements domicile-travail. Ce résultat correspond pour l'essentiel aux conclusions de Rahman Fatmi et al. (2022).

Même en reposant sur un scénario optimiste, les réductions engendrées par le recours au télétravail s'avèrent loin d'être équivalentes à l'intensité du taux de travailleurs

susceptibles de recourir au travail à distance. Ce constat s'explique notamment par le fait que les déplacements pour le travail représentent une part importante des déplacements sans représenter le seul motif de déplacement des citoyens pendant la journée. Ainsi, même dans le cas où les trajets domicile-travail sont supprimés et ne sont pas remplacés, les trajets pour d'autres motifs ne sont pas affectés. Or, les déplacements pour des motifs autre que pour le travail représentent environ 50 % des trajets totaux. Il est alors simple de comprendre pourquoi l'impact sur les indicateurs sélectionnés est moins que proportionnel. Cette première observation est simple mais importante : le fait que les résultats en ce qui a trait aux indicateurs sont moins qu'équivalents est souvent occulté lors des discussions.

La question devient plus complexe si on réfléchit à la « demande induite », un principe bien étudié dans le transport qui stipule qu'une réduction de l'utilisation de la route par certains peut marquer une opportunité pour d'autres, qui modifient ainsi leur choix modal et, par conséquent, contribuent à la densification du trafic sans pour autant modifier la structure métropolitaine. Ce phénomène explique la légère augmentation de l'utilisation de la voiture, en pourcentage, dans les scénarios optimistes. L'étude permet de montrer explicitement les mécanismes qui influencent le nombre, le type et la longueur des déplacements dans un contexte de télétravail.

L'ajout de certains types de déplacements pour les télétravailleurs, en soi une autre forme de demande induite, peut aussi avoir pour effet de déplacer l'utilisation des routes et, en définitive, augmenter à la fois le nombre de déplacements et les émissions polluantes au cours de certaines périodes dans la journée. Ainsi, l'ajout de déplacements au trajet domicile-travail est fortement susceptible de réduire les gains anticipés de l'introduction du télétravail. En ce sens, nos conclusions reflètent assez bien les changements enregistrés dans les déplacements entre les enquêtes origine-destination de 2017 et de 2023 dans la région métropolitaine de Québec.

Bref, malgré les possibles retombées positives du télétravail, les résultats tendent à indiquer que ce mode de travail n'est probablement pas la réponse miracle pour réduire les déplacements et les émissions polluantes. Soulignons de plus que l'exercice est effectué en supposant que les télétravailleurs conservent leur lieu de résidence original : une relocalisation vers la banlieue ou des régions plus rurales, comportement observé au Québec pendant la pandémie et le confinement conséquent, pourrait avoir pour effet de diminuer les avantages obtenus dans les simulations de cette étude.

7. Conclusion

Le télétravail a largement contribué à modifier les habitudes de déplacement pour une partie importante de la population active. Le fait de pouvoir travailler à domicile ou à partir d'un tiers-lieu a contribué à changer les comportements de mobilité des travailleurs. Ce rapport de recherche tente de chiffrer l'impact vraisemblable du recours au télétravail sur les habitudes de déplacement. Un modèle de simulation par agents (MSA) est retenu afin de simuler l'impact du retrait et de la substitution de certains déplacements domicile-travail

à partir des données de l'enquête origine-destination (OD) de 2017 pour la région métropolitaine de Québec. Le modèle est calibré en recourant aux données du recensement de 2016, tandis que les lieux d'origine et de destination sont fixés en fonction des informations provenant du rôle d'évaluation.

L'exercice de comparaison prend appui sur trois scénarios quant à l'adoption du télétravail (10 %, 20 % et 40 %). Les simulations reposent également sur deux options pour chacun des scénarios. D'une part, un scénario selon lequel les déplacements domicile-travail sont simplement retirés de la liste des déplacements de la population de la région métropolitaine. Cette situation, bien que simple, est probablement trop optimiste et constitue vraisemblablement la borne supérieure des potentiels impacts positifs liés à l'adoption du télétravail. Un second scénario suppose, conformément à la littérature empirique, que certains déplacements domicile-travail sont remplacés par des déplacements pour d'autres motifs. Ce dernier est plus susceptible de représenter l'impact du télétravail par rapport au scénario de référence puisqu'il se fonde sur les comportements et conclusions observées dans la littérature.

L'analyse, par le biais de la plateforme MATSim, souligne que le télétravail peut réduire le nombre de déplacements et la longueur moyenne. Cependant, de manière agrégée, ces changements ont relativement peu d'impacts sur les parts modales et les émissions polluantes, notamment lorsqu'on intègre la possibilité d'effet rebond. Dans ce cas, et malgré une réduction du kilométrage global, il existe certaines pointes où les émissions polluantes dépassent celles du scénario de référence. Une redistribution, spatiale et temporelle des conséquences liées aux déplacements de substitution ont des incidences sur les émissions polluantes.

Bien que plus vraisemblables, les résultats liés aux scénarios de télétravail combinant une substitution des motifs de déplacement sont probablement sous-estimés. D'une part, les lieux de résidence des agents, principalement les travailleurs, sont considérés comme fixes dans le temps. Ainsi, une migration de certains télétravailleurs vers la banlieue aurait vraisemblablement pour effet de réduire les bénéfices évalués si les nouveaux déplacements sont plus longs. D'autre part, l'analyse met en lumière les effets globaux. Il est plausible que le recours au télétravail ait pour effet de générer de nouvelles formes de disparités ou d'iniquités. Le recours au télétravail possède une distribution spatiale qui n'est pas indépendante des choix de localisation résidentielle : il est plus susceptible d'être présent dans certains quartiers que d'autres. Il est donc possible que le télétravail, au-delà de ses impacts sur l'utilisation des routes, entraîne des conséquences négatives pour certains secteurs ou voisinages de la région métropolitaine. La réduction globale des émissions polluantes peut cacher des situations d'iniquités environnementales, où certains quartiers et leurs résidents se retrouvent plus exposés aux émissions polluantes.

Une extension naturelle de ce projet serait d'effectuer les mêmes simulations pour la région métropolitaine de Montréal afin de vérifier si les proportions obtenues pour la région métropolitaine de Québec semblent généralisables à une plus grande métropole dotée de meilleurs moyens de transports collectifs et d'une meilleure infrastructure de mobilité

douce. Les résultats obtenus ne sont probablement pas transférables d'une région urbaine à l'autre. Il serait donc hasardeux de les appliquer afin de tirer des conclusions pour d'autres régions métropolitaines.

Références

- Adnan, M., Pereira, F. C., Miguel, C., Azevedo, L., Basak, K., Lovric, M., Feliu, S. R., Zhu, Y., Ferreira, J., Zegras, C. et Ben-Akiva, M. E. (2015). SimMobility: A Multi-Scale Integrated Agent-based Simulation Platform. *Transportation Research Board (TRB) 95th Annual Meeting*.
- Amouroux, E., Chu, T. Q., Boucher, A. et Drogoul, A. (2009). GAMA: An environment for implementing and running spatially explicit multi-agent simulations. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 5044 LNAI. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01639-4_32
- Asmussen, K. E., Haddad, A. J. et Bhat, C. R. (2024). *Telework-to-Play or Play-to-Telework? Investigating the Directional Relationship Between Telework and Nonwork Travel*. Working paper, August.
- Axhausen, K., Horni, A. et Nagel, K. (2016). *The multi-agent transport simulation MATSim*. Ubiquity Press.
- Balmer, M., Meister, K., Rieser, M., Nagel, K. et Axhausen, K. W. (2008). Agent-based simulation of travel demand: Structure and computational performance of MATSim-T. *Arbeitsberichte Verkehrs-Und Raumplanung*, 504.
- Beckman, R. J., Baggerly, K. A. et McKay, M. D. (1996). Creating synthetic baseline populations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 30(6), 415–429.
- Béjaoui, A., St-Onge, S., Peignier, I. et Leiva, F. B. (2023a). *Les diverses facettes du travail hybride : Premiers résultats d’une enquête longitudinale sur la performance et la satisfaction au travail*. CIRANO.
- Béjaoui, A., St-Onge, S., Peignier, I. et Leiva, F. B. (2023b). *Les facettes du travail en mode hybride : Résultats d’un deuxième questionnaire distribué auprès d’employés dans le cadre d’un projet longitudinal de recherche*. CIRANO.
- Bösch, P. M. et Ciari, F. (2015). A Multi-Modal Network for MATSim. *15th Swiss Transport Research Conference*.
- Cairns, S., Atkins, S. et Goodwin, P. (2002). Disappearing traffic? The story so far. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer*, 151(1), 13–22. <https://doi.org/10.1680/muen.2002.151.1.13>
- Caldarola, B. et Sorrell, S. (2022). Do teleworkers travel less? Evidence from the English National Travel Survey. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 159, 282–303. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.03.026>
- Choo, S., Mokhtarian, P. L. et Salomon, I. (2005). *Does telecommuting reduce vehicle-miles traveled? An aggregate time series analysis for the US Transportation* 32 (1), 37–64.
- Cloutier-Villeneuve, L. (2024). *Portrait du télétravail au Québec en 2022 : un phénomène à géométrie variable*. <https://doi.org/Numéro 36>

- Downs, A. (1962). The law of peak-hour expressway congestion. *Traffic Quarterly*, 16(3).
- Duranton, G., Morrow, P. M. et Turner, M. A. (2014). Roads and Trade: Evidence from the US. *The Review of Economic Studies*, 81(2), 681–724. <https://doi.org/10.1093/restud/rdt039>
- Duranton, G. et Turner, M. A. (2011). The Fundamental Law of Road Congestion: Evidence from US Cities. *American Economic Review*, 101(6), 2616–2652. <https://doi.org/10.1257/aer.101.6.2616>
- Elldér, E. (2020). Telework and daily travel: New evidence from Sweden. *Journal of Transport Geography*, 86, 102777.
- Gharavi, S., Dubé, J. et Ciari, F. (2025). Le 3^e lien à Québec : vers une nouvelle ère de mobilité? Analyse des impacts potentiels à partir d’une simulation multi-agent. *Revue canadienne des sciences régionales*, 48(2): 16-29.
- Greene, W. (2012). Econometric analysis. *Journal of Boston: Pearson Education*, 803–806.
- Handy, S. L. et Mokhtarian, P. L. (1996). The future of telecommuting. *Futures*, 28(3), 227–240.
- Heimgartner, D., Sallard, A., Balac, M. et Axhausen, K. W. (2024). *Multimodality in the Swiss New Normal (SNN): Future Mobility Research Program*. ETH Zurich.
- Henderson, D. K. et Mokhtarian, P. L. (1996). Impacts of center-based telecommuting on travel and emissions: Analysis of the Puget Sound Demonstration Project. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 1(1), 29–45.
- Hörl, S. et Balac, M. (2021). Introducing the eqasim pipeline: From raw data to agent-based transport simulation. *Procedia Computer Science*, 184, 712–719.
- Huang, J., Cui, Y., Zhang, L., Tong, W., Shi, Y. et Liu, Z. (2022). An Overview of Agent-Based Models for Transport Simulation and Analysis. In *Journal of Advanced Transportation* (Vol. 2022). <https://doi.org/10.1155/2022/1252534>
- Jain, S., Ronald, N., Thompson, R. et Winter, S. (2017). Predicting susceptibility to use demand responsive transport using demographic and trip characteristics of the population. *Travel Behaviour and Society*, 6, 44–56. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2016.06.001>
- Khaddar, S. (2024). *Modelling activity generation and scheduling decisions, and exploring the interplay with telecommuting*. University of British Columbia.
- Manski, C. F. (1977). The structure of random utility models. *Theory and Decision*, 8(3), 229.
- McNally, K., Cotton, R., Hogg, A. et Loizou, G. (2014). PopGen: a virtual human population generator. *Toxicology*, 315, 70–85.
- Meister, K., Balmer, M., Ciari, F., Homi, A., Reiser, M., Waraich, R. et Axhausen, K. W. (2010). Large-Scale Agent-Based Travel Demand Optimization Applied to Switzerland, Including Mode Choice. *12th World Conference on Transportation Research, 11–15 juillet 2010, Lisbonne, Portugal*.
- Mokhtarian, P. L. et Salomon, I. (1997). Modeling the desire to telecommute: The importance of

- attitudinal factors in behavioral models. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 31(1), 35–50.
- Motte-Baumvol, B., Schwanen, T. et Bonin, O. (2024). Telework and the day-to-day variability of travel behaviour: The specificities of Fridays. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 132, 104245.
- Nello-Deakin, S. (2022). Exploring traffic evaporation: Findings from tactical urbanism interventions in Barcelona. *Case Studies on Transport Policy*, 10(4), 2430–2442. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.11.003>
- Nilles, J. M. (1975). Telecommunications and Organizational Decentralization. *IEEE Transactions on Communications*, 23(10). <https://doi.org/10.1109/TCOM.1975.1092687>
- Poletti, F. (2017). Public Transit Mapping on Multi-Modal Networks in MATSim. *Strasse Und Verkehr*, 7–8.
- Rahman Fatmi, M., Mehadil Orvin, M. et Elizabeth Thirkell, C. (2022). The future of telecommuting post COVID-19 pandemic. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100685>
- Russell, S. et Norvig, P. (1995). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 25(27), 79–80.
- Saha, B., Fatmi, M. R. et Khan, N. A. (2024). Investigating the impacts of telecommuting on the spatial, temporal, and modal distribution of travel using an agent-based transport simulation model. *Journal of Transport and Land Use*, 17(1), 903–922.
- Shabanpour, R., Golshani, N., Tayarani, M., Auld, J. et Mohammadian, A. (Kouros). (2018). Analysis of telecommuting behavior and impacts on travel demand and the environment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.04.003>
- Smith, L., Beckman, R. et Baggerly, K. (1995). *TRANSIMS: Transportation analysis and simulation system*. Los Alamos National Lab.(LANL), Los Alamos, NM (United States).
- Speroni, S. et Taylor, B. D. (2023). *The Future of Working Away from Work and Daily Travel: A Research Synthesis*.
- Statistique Canada (2024). *De la recherche aux connaissances : le travail à domicile au Canada*.
- St-Onge, S. et Bachini, E. (2023). La virtualisation des communications en contexte de travail hybride : un effet d’entraînement ou de réduction des comportements hostiles? *Relations Industrielles/Industrial Relations*, 78(2).
- St-Onge, S. et Sauvé-Plante, C. (2021). *Une réflexion sur les grands défis liés à la transformation des milieux de travail*. CIRANO.
- Stiles, J. et Smart, M. J. (2021). Working at home and elsewhere: daily work location, telework, and travel among United States knowledge workers. *Transportation*, 48(5), 2461–2491.

- Tennøy, A., Tønnesen, A. et Gundersen, F. (2019). Effects of urban road capacity expansion – Experiences from two Norwegian cases. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 69. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.01.024>
- The World Bank, Group, M. J., Photo, A. P., Ghirda, V., Malic, C., Lam, L., Iskounen, A., Event, D., Security, H., Ivanov, D., Disasters, N., Resilience, B., Souza, R. de, Goh, M., Kumar, M., Chong, J., Lynch, A. W., Elizabeth, Q., Sea, K., ... U.S. Energy Information Administration. (2015). Anylogic 7 in three days. *The Logistics Institute – Asia Pacific*, 2014(Nov).
- Train, K. E. (2009). *Discrete choice methods with simulation*. Cambridge University Press.
- Turing, A. M. et Haugeland, J. (1950). Computing machinery and intelligence. *The Turing Test: Verbal Behavior as the Hallmark of Intelligence*, 29–56.
- Victoriano-Habit, R. et El-Geneidy, A. (2023). Studying the Interrelationship between Telecommuting during COVID-19, residential local accessibility, and active travel: a panel study in Montréal, Canada. *Transportation*. <https://doi.org/10.1007/s11116-022-10369-7>
- Waraich, R. A., Charypar, D., Balmer, M. et Axhausen, K. W. (2015). Performance improvements for large-scale traffic simulation in MATSim. In *Computational Approaches for Urban Environments*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11469-9_9
- Wilensky, U. (1999). NetLogo (and NetLogo user manual). *Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University*. [Http://Ccl.northwestern.edu/Netlogo](http://Ccl.northwestern.edu/Netlogo).
- Wöhner, F. (2022). Work flexibly, travel less? The impact of telework and flextime on mobility behavior in Switzerland. *Journal of Transport Geography*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103390>
- Wöhner, F. (2023). Work flexibly, travel more healthily? How telework and flextime affect active travel in Switzerland. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 174. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103748>
- Wray, D. (2024). *Télétravail, emploi du temps et bien-être : données probantes tirées de l'Enquête sur l'emploi du temps de 2022 – Enquête auprès des peuples autochtones de 2012*.
- Ye, X., Konduri, K., Pendyala, R. M., Sana, B. et Waddell, P. (2009). A methodology to match distributions of both household and person attributes in the generation of synthetic populations. *88th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC*, 36.
- Zhang, L. et Levinson, D. (2004). Agent-based approach to travel demand modeling: Exploratory analysis. *Transportation Research Record*, 1898(1), 28–36.

Annexe

La calibration du modèle de choix modal repose, dans le cas présent, sur le module Eqasim qui permet de lier les choix modaux des agents aux caractéristiques de ceux-ci, mais également aux caractéristiques des déplacements. Une estimation préliminaire est nécessaire afin de formaliser les relations existantes entre, d'une part, le choix de mode de l'agent et, d'autre part, ses caractéristiques individuelles et les caractéristiques du déplacement.

L'estimation du modèle de choix discret (MCD) repose sur deux sources de données principales : i) les données de l'enquête origine-destination (OD) de 2017; et ii) les temps de trajet calculés à l'aide de l'interface API (*Application Programming Interface*) du service Bing Maps. Les données de l'enquête OD permettent d'identifier les déplacements réalisés ainsi que les caractéristiques des enquêtés. Les localisations servent à évaluer, à partir du réseau sélectionné, les temps de trajet entre les lieux d'origine et de destination pour chaque déplacement. Ces temps sont simulés via des requêtes adressées à l'API de Bing Maps, qui a servi d'outil pour interroger la base de données du service. Les évaluations du temps de déplacement concernent les trajets en voiture, en transports en commun (TC) et à pied. Ils tiennent compte des heures de départ renseignées dans l'enquête OD ainsi que des données historiques de trafic utilisées par Bing Maps.

En raison des limites d'utilisation de l'API gratuite de Bing Maps, en particulier pour les utilisateurs universitaires et non commerciaux, il n'est pas possible de récupérer les données sur le temps de trajet pour l'ensemble des observations issues du sondage en un seul processus. Afin de respecter ces limites et d'assurer l'efficacité du processus de collecte de données, un sous-ensemble aléatoire des données de l'enquête est utilisé. Ce sous-ensemble comprend 3 622 répondants et couvre 11 690 déplacements liés à différents modes de transport tels que la voiture, le TC et les déplacements actifs (marche – tableau A1).

Tableau A-1 : Distribution de l'échantillonnage mobilisé pour estimer le MCD

Mode	Nombre	% échantillon	% OD
Voiture	9 610	82,16 %	79,40 %
TC	1 100	9,40 %	10,80 %
Marche (transport actif) ²⁷	987	8,44 %	9,80 %
Total	11 690	100 %	100 %

Afin de capter un effet non linéaire du temps de trajet sur le choix modal, le modèle comprend à la fois le temps de déplacement et des transformations quadratiques. Les variables portant sur le temps de déplacement sont incluses pour chaque mode, ce qui permet au modèle de tenir compte de la sensibilité variable au temps de trajet en fonction

²⁷ Le mode vélo a été supprimé, car il était très peu utilisé et variait selon les saisons.

de son ampleur (Train, 2009). Cette structure offre une plus grande souplesse dans la représentation de l'incidence du temps de déplacement sur l'utilité des différentes options de transport.

En plus des caractéristiques des déplacements, des variables sociodémographiques, telles que le groupe d'âge, la situation d'emploi et le revenu du ménage, sont intégrées pour refléter les variations des préférences entre les différents segments de la population (tableau A2).

Tableau A-2 : Noms des variables mobilisées et statistiques

Catégorie de variable	Nom de la variable	Description	Min.	Max.	Moyenne
Temps de déplacement	Durée du trajet (min)	Voiture	1,01	59,10	13,35
		TC	1,15	123,50	36,53
		Marche	1,11	135,83	92,73
Situation d'emploi	Sans emploi	Catégorie de référence	0	1	0,26
	Étudiant	1 si le répondant est étudiant; 0 sinon	0	1	0,12
	Travailleur à temps plein	1 si les répondants travaillent à temps plein; 0 sinon	0	1	0,62
Groupe d'âge	16 à 20 ans	Catégorie de référence	0	1	0,038
	21 à 34 ans	1 si les répondants appartiennent à cette tranche d'âge; 0 sinon.	0	1	0,150
	35 à 49 ans		0	1	0,325
	50 à 64 ans		0	1	0,297
	65 ans et plus		0	1	0,190
Revenu annuel	< 30 000 \$	Catégorie de référence	0	1	0,060
	[30 000 \$, 59 999 \$]	1 si les ménages appartiennent à cette catégorie de revenus; 0 sinon.	0	1	0,175
	[60 000 \$, 89 999 \$]		0	1	0,340
	[90 000 \$, 149 999 \$]		0	1	0,310
	≥ 150 000 \$		0	1	0,115

* Le nombre d'observations est de 3 622 répondants et couvre 11 690 trajets.

Afin d'éviter une multicolinéarité, les variables sont introduites en variables catégorielles pour les solutions de rechange à la voiture que sont le transport en commun et le transport actif. Le mode « voiture » est conservé en catégorie de référence (Greene, 2012). Cette spécification permet d'interpréter les coefficients liés à chaque catégorie démographique par rapport à la référence, c'est-à-dire l'utilisation de l'automobile.

Les résultats d'estimation indiquent que la durée du trajet est un facteur déterminant dans le choix du mode de transport (tableau A-3). Pour les trois modes, les coefficients négatifs associés à la durée linéaire du trajet indiquent que plus la durée du trajet est longue, moins le mode de transport est susceptible d'être choisi. La relation non linéaire affecte particulièrement le recours à l'automobile et au transport collectif. Les résultats soulignent également que les personnes qui travaillent à temps plein ou qui sont aux études sont moins susceptibles de recourir au transport collectif que les personnes sans emplois. Le même constat s'applique au transport actif. Les personnes qui ont plus de 20 ans sont également moins susceptibles d'utiliser le transport collectif ou actif par rapport aux personnes de 16 à 20 ans.

Enfin, le revenu est aussi statistiquement lié au choix modal. Les personnes qui font partie d'un ménage qui gagne plus de 30 000 \$ par an sont moins susceptibles de prendre les transports collectifs. Cette probabilité est encore plus faible pour les personnes issues de ménages qui gagnent plus de 150 000 \$ par an. En revanche, le portrait est légèrement différent en ce qui concerne le transport actif : les personnes qui font partie d'un ménage qui gagne moins de 30 000 \$ par an ou plus de 150 000 \$ par an sont plus susceptibles d'utiliser le transport actif. Généralement, plus le revenu des ménages augmente, moins les gens sont susceptibles de choisir d'autres modes de transport que la voiture. Globalement, les groupes à faibles revenus sont plus susceptibles d'être des utilisateurs captifs des transports publics et actifs, notamment parce qu'ils ont moins de moyens pour acheter une voiture.

Tableau A-3 : Résultats de l'estimation

<u>Mode</u>	<u>Variables</u>	<u>Coefficient</u>	<u>Sign.</u>
Voiture	Constante	Reference	
	Durée du trajet (min)	-0,3716	***
	Durée du trajet (min) ²	0,0054	***
TC	Constante	-0,8027	***
	Durée du trajet (min)	-0,0643	***
	Durée du trajet (min) ²	0,0001	***
	Sans emploi	Reference	
	Étudiant	-1,3894	***
	Travailleur à temps plein	-0,6323	***
	16 à 20 ans	Reference	
	21 à 34 ans	-1,5792	***
	35 à 49 ans	-2,2448	***
	50 à 64 ans	-2,1926	***
	65 ans et plus	-2,0407	***
	< 30 000 \$/an	Ref	
	[30 000 \$; 60 000 \$]/par an	-0,9128	***
	[60 000 \$; 90 000 \$]/par an	-1,0648	***
	[90 000 \$; 150 000 \$]/par an	-1,0773	***
	>150 000 \$/an	-1,2463	***
Marche	Constante	2,1249	***
	Durée du trajet (min)	-0,1716	***
	Durée du trajet (min) ²	0,0002	
	Sans emploi	Reference	
	Étudiant	-0,3599	*
	Travailleur à temps plein	-0,4254	**
	16 à 20 ans	Reference	
	21 à 34 ans	-1,4254	***
	35 à 49 ans	-1,8528	***
	50 à 64 ans	-1,5067	***
	65 ans et plus	-2,0394	***
	< 30 000 \$/an	Reference	
	[30 000 \$; 60 000 \$]/par an	-0,3177	*
	[60 000 \$; 90 000 \$]/par an	-0,4569	**
	[90 000 \$; 150 000 \$]/par an	-0,3648	*
	>150 000 \$/an	-0,1345	

Légende : Sign = Significativité; *** : p < 0,001; ** : p < 0,01; * : p < 0,05