

Titre: Caractériser et quantifier les interactions entre coûts de transport et d'habitation dans la Région Métropolitaine de Montréal
Title:

Auteur: Mathilde Zanolini
Author:

Date: 2023

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Zanolini, M. (2023). Caractériser et quantifier les interactions entre coûts de transport et d'habitation dans la Région Métropolitaine de Montréal [Mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal]. PolyPublie.
Citation: <https://publications.polymtl.ca/55706/>

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

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/55706/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Catherine Morency
Advisors:

Programme: Génie civil
Program:

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

**Caractériser et quantifier les interactions entre coûts de transport et
d'habitation dans la Région Métropolitaine de Montréal**

MATHILDE ZANOLINI

Département des génies civil, géologique et des mines

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

Génie civil

Août 2023

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé :

Caractériser et quantifier les interactions entre coûts de transport et d'habitation dans la Région Métropolitaine de Montréal

présenté par **Mathilde ZANOLINI**

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

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

Owen WAYGOOD, président

Catherine MORENCY, membre et directrice de recherche

Jean-Pierre NICOLAS, membre externe

DÉDICACE

A mamie Nenette, qui m'aurait noyée de compliments,

Al nonno Antonio, anch'io scrivo i pensierini !

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier ma directrice de maîtrise, Catherine Morency, de m'avoir permis de travailler avec elle sur un sujet si intéressant. Son dynamisme et sa motivation sont déjà légendaires mais méritent d'être soulignés encore une fois. Toutes ses connaissances et ses idées continuent de m'émerveiller même après tous ces mois passés à travailler sous sa supervision.

La réalisation de ce projet n'aurait pas été possible sans le soutien financier des partenaires de la Chaire Mobilité et du programme Mitacs. Je remercie ainsi la Ville de Montréal, la Société de transport de Montréal (STM), l'Autorité Régionale de Transport Métropolitain (ARTM), exo, le Ministère des Transports du Québec (MTQ) et l'organisme UnPointCinq. Je remercie également le Centre interuniversitaire québécois de statistiques sociales (CIQSS), membre du Réseau canadien des centres de données de recherche (RCCDR), pour m'avoir permis de réaliser une part des analyses contenues dans ce mémoire et pour le soutien financier.

Le dynamisme et la disponibilité des différents associés de recherche de la Chaire Mobilité m'ont également beaucoup aidé tout au long de cette maîtrise. Merci à Hubert Verreault et Jean-Simon Bourdeau, et particulièrement à Brigitte Bouchard-Milord pour ses nombreux conseils et enseignements en économie des transports.

Je remercie également mes amis de France et d'ici pour les encouragements et les bons moments passés à travailler ensemble. Merci à David pour son aide précieuse sur n'importe quel problème de programmation et pour ses relectures de mon anglais. Merci à Joséphine de m'avoir accompagnée dans ma passion d'étudier dans les cafés et les BU en tous genres. Merci à Émilie sans qui ces mois passés à Montréal n'auraient pas été le dixième de l'expérience incroyable qu'ils ont été.

Un grand merci à mes colocataires passés et présents, Niko, Élisabeth et Julien, sans qui la vie quotidienne aurait été bien morose.

Je remercie également mes parents, Caroline et Giovanni, d'avoir laissé partir leur seule progéniture (presque) sans râler ! Merci d'être toujours là pour moi, même à 6000 km. Je n'aurais pas pu imaginer meilleur soutien à tout ce que je décide d'entreprendre que le vôtre.

Enfin merci à Matthieu de m'avoir suivie de l'autre côté de l'Atlantique. Merci d'être là au quotidien pour me soutenir dans ce que j'entreprends et me rassurer quand j'en ai besoin.

RÉSUMÉ

Le mémoire aborde la question de l'abordabilité intégrée des localisations résidentielles et ses implications sur les choix de logement, les coûts de transport et la mobilité quotidienne. Dans le contexte actuel, l'accès à la propriété est de plus en plus difficile pour les ménages, les obligeant à faire des compromis qui les éloignent de leurs principaux lieux d'activité. Cela entraîne une dépendance accrue à l'automobile et des coûts de transport plus élevés. Ces compromis contribuent également à l'étalement urbain, avec des conséquences environnementales, économiques et sociales importantes. Cependant, les coûts de transport sont souvent négligés par les ménages lorsqu'ils choisissent leur lieu de résidence, ce qui peut entraîner des conséquences financières à long terme. Il est donc crucial d'informer les ménages sur les effets à long terme de leurs choix de localisation résidentielle et de les sensibiliser aux coûts de transport quotidiens.

La revue de la littérature s'intéresse aux méthodes et aux démarches sur la prise en compte simultanée des coûts de transport et de logement, qui est essentielle pour comprendre les choix de localisation résidentielle des ménages. La première partie de la revue de la littérature traite de l'émergence de la notion du coût résidentiel, c'est-à-dire le fait de considérer simultanément les dépenses de logement et de mobilité quotidienne, lorsque l'on étudie l'abordabilité d'une résidence. Elle met l'accent sur le fait que les coûts de transport influencent fortement le coût résidentiel, et que leur prise en compte peut inverser le classement de certains quartiers de centre-ville et de périphérie, en termes d'accessibilité et d'abordabilité. La seconde partie s'intéresse à la façon dont le phénomène de la relocalisation résidentielle s'articule autour des caractéristiques des ménages, de leurs besoins et de leurs désirs. En effet, pour faire face aux enjeux de réduction de l'empreinte des déplacements quotidiens, une solution durable serait de proposer des stratégies qui affectent la structure spatio-temporelle des déplacements, en abordant la question de la localisation résidentielle. La dernière partie correspond à un état de l'art des outils existants autour de la notion de coût résidentiel, car il est nécessaire de pouvoir communiquer aux ménages l'impact du choix d'une localisation résidentielle.

Le premier article publié dans le cadre de ce mémoire vise à comprendre comment les ménages choisissent leur lieu de résidence, dans le but d'aider les politiciens et les planificateurs à encourager les gens à choisir plus judicieusement leur lieu de résidence en fonction de leurs besoins de déplacement. À l'échelle de la RMR de Montréal, les caractéristiques des ménages disposés à

déménager ont été définies et les raisons invoquées pour ce choix ont été analysées, à partir des données de deux enquêtes sur les changements d'habitudes causés par la pandémie de COVID-19. Les résultats montrent que le type de ménages a une forte influence sur la réflexion sur la relocalisation, les ménages de jeunes couples ayant une probabilité plus faible de vouloir rester dans leur logement que les autres types de ménages. La proximité des services dans la zone de résidence s'avère également avoir un fort impact sur la volonté de déménager, une bonne proximité de l'enseignement secondaire et de l'emploi favorisant le désir de déménager, et une bonne proximité des épiceries favorisant le maintien dans le logement actuel. Les résultats montrent qu'en contexte de COVID, se rapprocher de la nature est la raison la plus courante pour laquelle les ménages envisagent déménager.

Le second article qui compose ce mémoire a pour objectif d'étudier les facteurs influençant la répartition du revenu des ménages entre les différents postes de dépenses, et d'estimer la réponse de ces derniers à la suite de l'introduction de certains changements, à l'aide des données de l'Enquête sur les Dépenses des Ménages (EDM) de 2017. Le cadre méthodologique employé pour traiter cette question est le modèle des valeurs extrêmes multiples discrètes et continues (MDCEV), car il prend en compte le fait que les ménages choisissent d'allouer leur budget à plusieurs alternatives simultanément, tout en offrant la possibilité d'une consommation nulle de certains produits et en permettant d'estimer l'impact des variations de certains postes de dépenses sur les habitudes de consommation des ménages. Les résultats montrent que les caractéristiques sociodémographiques des ménages, les caractéristiques du logement et la localisation résidentielle ont un impact significatif sur les dépenses. La motorisation influe positivement sur les dépenses de logement et négativement sur l'utilisation des véhicules. La présence d'enfants augmente les dépenses, en particulier pour la possession et l'utilisation d'un véhicule. Les ménages vivant en appartement ont des dépenses de logement et de véhicule moins élevées. La proximité au transport en commun réduit considérablement les dépenses liées à l'utilisation de la voiture. Les prévisions montrent que, dans le contexte de l'étude, les ménages vivant dans une zone avec une bonne proximité au TC sont plus exposés aux situations de vulnérabilité que ceux présentant une faible proximité, mais que l'accession à la propriété et l'augmentation des prix des carburants inversent cette tendance. Le fait de vivre dans une zone avec une meilleure proximité au TC entraîne une hausse de la valeur des propriétés et une baisse des coûts résidentiels, car la dépendance à l'égard de la voiture influe fortement sur les dépenses de transport dans les zones moins accessibles.

Finalement, la dernière partie de ce projet s'intéresse à brosser les exigences d'un outil qui puisse communiquer de façon efficace aux ménages les résultats de l'analyse d'abordabilité intégrée d'une résidence, en fonction de leurs besoins de mobilité. Cela passe par une analyse des forces et faiblesses des calculateurs de coût résidentiel existants, basée sur des critères de prise en main de l'outil par l'utilisateur, de fonctionnement et de résultats fournis. Le cahier des charges est ensuite établi, puis des instructions sont données quant au développement d'un tel outil, sur le plan fonctionnel et visuel.

En conclusion, le mémoire propose une analyse approfondie de l'abordabilité intégrée des localisations résidentielles, mettant en évidence l'importance de prendre en compte à la fois les coûts de transport et de logement. Il suggère également des politiques visant à encourager des choix de localisation durables et à réduire la vulnérabilité des ménages à long terme.

ABSTRACT

This master thesis addresses the issue of integrated affordability of residential locations and its implications for housing choices, transportation costs and daily mobility. In the current context, access to home ownership is increasingly difficult for households, forcing them to make trade-offs that distance them from their main places of activity. This leads to greater dependence on the car and higher transport costs. These trade-offs also contribute to urban sprawl, with environmental, economic, and social consequences. However, transport costs are often overlooked by households when choosing where to live, which can have long-term financial consequences. It is therefore crucial to inform households about the long-term effects of their residential location choices, and to raise their awareness of commuting costs.

The literature review looks at methods and approaches to the simultaneous consideration of transport and housing costs, which is essential for understanding households' residential location choices. The first part of the literature review deals with the emergence of the notion of residential cost, i.e. the simultaneous consideration of housing and daily mobility expenses, when studying the affordability of a residence. It emphasizes that transportation costs have a strong influence on residential costs, and that taking them into account can reverse the ranking of certain inner-city and suburban neighborhoods in terms of accessibility and affordability. The second part looks at how the phenomenon of residential relocation revolves around household characteristics, needs and desires. Indeed, to meet the challenge of reducing the footprint of daily travel, a sustainable solution would be to propose strategies that affect the spatial-temporal structure of travel, by addressing the issue of residential location. The final part of the paper presents the state of the art in terms of existing tools for dealing with the notion of residential cost, as it is necessary to be able to communicate to households the impact of their choice of residential location.

The first paper aims to understand how households choose where to live, with a view to helping politicians and planners encourage people to choose their place of residence more wisely, based on their travel needs. At the level of the Montreal CMA, the characteristics of households willing to move were defined and the reasons given for this choice were analyzed, based on data from two surveys on changes in habits caused by the COVID-19 pandemic. The results show that household type has a strong influence on willingness to relocate, with young couple households having a lower probability of wanting to stay in their dwelling than other household types. Proximity to

services in home neighbourhood also proves to have a strong impact on the willingness to relocate, with good proximity to secondary education and employment favouring the desire to move, and good proximity to grocery stores favouring staying in the current dwelling. The results show that, in the COVID context, getting closer to nature is the most common reason why households want to move.

The second paper aims to investigate the factors influencing the allocation of household income between different expenditure items, and to estimate their response following the introduction of certain changes, using data from the 2017 Survey on Household Spending (SHS). The methodological framework employed to address this issue is the Multiple Discrete Continuous Extreme Value (MDCEV) model, as it considers the fact that households choose to allocate their budget to several alternatives simultaneously, while offering the possibility of zero consumption of certain products and making it possible to estimate the impact of variations in certain expenditure items on household consumption patterns. The results show that household socio-demographic characteristics, housing characteristics and residential location have a significant impact on expenditure. Motorization has a positive influence on housing expenditure, and a negative one on vehicle use. The presence of children increases expenditure, particularly for vehicle ownership and use. Households living in apartments have lower housing and vehicle expenses. Proximity to public transport (PT) considerably reduces car-related expenses. Forecasts show that, in the context of the study, households living in an area with good proximity to PT are more exposed to situations of vulnerability than those with poor proximity, but that homeownership and rising fuel prices reverse this trend. Living in an area with better proximity to PT leads to higher property values and lower residential costs, as car dependency has a strong influence on transport costs in less accessible areas.

Finally, the last part of this project focuses on establishing the requirements for a tool that can effectively communicate the results of a home's integrated affordability analysis to households, based on their mobility needs. This involves an analysis of the strengths and weaknesses of existing residential cost calculators, based on criteria of user familiarity with the tool, operation and results provided. Specifications are then drawn up, followed by instructions on how to develop such a tool, both functionally and visually.

In conclusion, the research proposes an in-depth analysis of the integrated affordability of residential locations, highlighting the importance of taking into account both transportation and housing costs. It also suggests policies to encourage sustainable location choices and reduce household vulnerability in the long term.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	III
REMERCIEMENTS	IV
RÉSUMÉ.....	V
ABSTRACT	VIII
TABLE DES MATIÈRES	XI
LISTE DES TABLEAUX.....	XIV
LISTE DES FIGURES.....	XVI
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XVII
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Mise en contexte.....	1
1.2 Problématique et objectifs	4
1.3 Structure du mémoire	5
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE ET ÉTAT DE L'ART	7
2.1 Le coût résidentiel	7
2.1.1 Les facteurs qui influencent le coût résidentiel	9
2.1.2 Evolution des dépenses H+T	13
2.1.3 Ménages inconscients des différents coûts.....	14
2.1.4 Emergence d'outils pour orienter les décisions des ménages	16
2.1.5 Les méthodologies d'estimation du coût résidentiel	18
2.2 Les calculateurs de coûts résidentiels.....	23
2.2.1 Les outils purement informatifs	24
2.2.2 Les outils personnalisables.....	28
CHAPITRE 3 DÉMARCHE DU TRAVAIL DE RECHERCHE	41

CHAPITRE 4	ARTICLE 1: ANALYZING THE CHARACTERISTICS OF THE RESIDENTIAL RELOCATION PHENOMENON THROUGH THE WILLINGNESS OF HOUSEHOLDS TO MOVE	44
	Abstract	44
4.1	Introduction	44
4.2	Background	45
4.3	General methodology	48
4.3.1	Data and variables	48
4.3.2	Analysis method.....	53
4.4	Results	54
4.4.1	Willingness to relocate	54
4.4.2	Reasons for wanting to relocate	60
4.5	Conclusion.....	64
	Acknowledgements	65
CHAPITRE 5	ARTICLE 2: FORECAST FOR TRANSPORT AND HOUSING EXPENDITURE IN THE MONTREAL CMA	66
	Abstract	66
5.1	Introduction	67
5.2	Background	67
5.3	Methods.....	70
5.3.1	Data and variables	70
5.3.2	Analysis methods	75
5.3.3	Evolution scenarios	77
5.4	Results	77
5.5	Conclusion.....	83

Acknowledgments	85
Author contributions	85
CHAPITRE 6 CONCEPTION D'UN CALCULATEUR DE COÛTS RÉSIDENTIELS	86
6.1 Analyse des forces et faiblesses des outils existants	86
6.2 Détermination du cahier des charges pour un outil propre à la Région de Montréal.....	90
6.3 Front-end et interface utilisateur	92
6.4 Fonctionnement du back-end	94
6.4.1 Estimation du coût du logement.....	95
6.4.2 Estimation du coût du transport	96
6.5 Synthèse du Chapitre 4.....	102
CHAPITRE 7 CONCLUSION	103
7.1 Synthèse de la recherche	103
7.2 Contributions.....	105
7.3 Limites.....	106
7.4 Perspectives.....	107
7.4.1 Pistes de solutions aux limites.....	108
7.4.2 Futures explorations	109
RÉFÉRENCES.....	111

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 Impact du transport sur le classement d'abordabilité résidentielle (Ville de Montréal, 2018).....	3
Tableau 2.1 Indicateurs présents dans le H+T Index	27
Tableau 2.2 Données utilisées par le calculateur de coûts E-mob	30
Tableau 2.3 Données utilisées par le calculateur de coûts MobiCost	33
Tableau 2.4 Données utilisées par le calculateur de coûts Moreco.....	35
Tableau 2.5 Données utilisées par le calculateur de coûts NaWo.....	37
Tableau 2.6 Données utilisées par le calculateur de coût Calculateur Mobilité de Wallonie	39
Tableau 2.7 Données utilisées par le calculateur de coûts MSP Housing + Transportation.....	40
Table 4.1 Household Type Description and Sample.....	49
Table 4.2 Descriptive analysis of proximity variables	50
Table 4.3 Descriptive analysis of proximity variables standardized at the Montreal CMA level	51
Table 4.4 Summary of variables used in our models	52
Table 4.5 Level of importance of decision tree variables on willingness to move	57
Table 4.6 Importance of variables on willingness to move for households other than “Young couples”	60
Table 4.7 Comparison of household characteristics according to whether they selected the "Get closer to nature" reason	61
Table 4.8 Occurrence of combinations of reasons, depending on the number of responses selected	63
Table 5.1 Model variables.....	73
Table 5.2 Estimation Results of the MDCEV model.....	78
Table 5.3 MDCEV model prediction results.....	82

Tableau 6.1 Analyse des forces et des faiblesses d'une sélection de calculateurs de coût résidentiel	89
Tableau 6.2 Cahier des charges d'un calculateur de coût résidentiel pour la Grande Région de Montréal	90
Tableau 6.3 Variables du recensement retenues pour la construction d'équations sur le coût du logement	96

LISTE DES FIGURES

Figure 2-1 Carte de chaleur du WalkScore de la ville de Montréal (gauche) et carte d'accessibilité en 30 min de TC du quartier Plateau-Mont-Royal (droite) (<i>WalkScore</i> , s. d.)	25
Figure 3-1 Méthologie générale du travail de recherche.....	43
Figure 4-1 Willingness of households to relocate by municipal area of residence (source: COVID-19 survey, Mobility Chair of Polytechnique Montréal)	55
Figure 4-2. Relative cross-validated error of a first decision tree as a function of the cp and the number of divisions	56
Figure 4-3. Decision tree on households' willingness to move	56
Figure 4-4. Relative cross-validated error of a second decision tree as a function of the cp and the number of divisions	58
Figure 4-5. Decision tree on willingness to move of households other than “Young couples”...	59
Figure 4-6 Occurrence of reasons to move	61
Figure. 4-7. Number of reasons selected by the respondents.....	63
Figure 5-1 Proximity to public transit category for each dissemination area in the Montréal CMA	73
Figure 6-1 Interface utilisateur du calculateur de coût résidentiel pour la Grande Région de Montréal	94
Figure 6-2 Flowchart du calcul des coûts d'utilisation automobile et des transports publics (*(<i>Lefebvre-Ropars</i> , 2017), **(<i>Duretz</i> , 2020), ***(<i>Poirier</i> , 2021))	98
Figure 6-3 Flowchart du fonctionnement back-end du calculateur.....	101

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ACS	American Community Survey
BHNS	Bus à Haut Niveau de Service
CBD	Central Business District
CHT	Combined Housing and Transport
CNT	Center for Neighborhood Technology
DA	Dissemination Area
DOT	Department of Transportation
EMD	Enquête Ménages Déplacements
HUD	Housing and Urban Development
LEM	Location Efficient Mortgage
MDCEV	Multiple Discrete Continuous Extreme Value
NTD	National Transit Database
PT	Public Transportation
RACV	Royal Automobile Club of Victoria
SNCF	Société Nationale des Chemins de Fer
TAS	Transit Access Shed
TC	Transport en Commun
TCI	Transit Connectivity Index
TTS	Transportation Tomorrow Survey
VKT	Vehicle-Kilometers Traveled

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

1.1 Mise en contexte

Début 2022, Morency et al. ont publié une synthèse de connaissances sur l'abordabilité intégrée des localisations résidentielles (Morency et al., 2022). Dans le contexte actuel de contraction de l'offre immobilière et d'augmentation des prix hypothécaires, les conditions d'accès à la propriété sont de plus en plus austères. Les ménages en recherche de logement sont ainsi contraints de réaliser des compromis lors de leur processus de sélection d'alternatives, compromis résultant souvent en un éloignement de leurs principaux lieux d'activités (Morency et al., 2022). Chaque année, des milliers de ménages quittent ainsi les grands centres pour s'établir en périphérie (Statistique Canada, 2014), la croissance des banlieues s'accroissant à mesure que l'on s'éloigne des centres-villes (Government of Canada, 2022), ce qui se traduit généralement par une augmentation de la dépendance à l'automobile et un accroissement des coûts de transport (Burnley et al., 1997). En effet, dans les quartiers ne présentant pas d'alternatives à l'automobile, tous les petits déplacements quotidiens (magasinage, épicerie, école) doivent être effectués en voiture. Cette utilisation contrainte de l'automobile, couplée aux trajets domicile-travail, a pour conséquence l'augmentation des coûts d'utilisation, mais peut également rendre nécessaire l'achat d'un véhicule supplémentaire (Morency et al., 2022).

A l'échelle des ménages, la méconnaissance des besoins et des coûts de transport associés à une localisation entraîne des prises de décisions parfois contraires à leurs objectifs de santé financière (Morency et al., 2022). A l'échelle de la société, ce phénomène favorise également l'étalement urbain, avec toutes les conséquences environnementales, économiques et sociales qui lui sont associées (Morency et al., 2022). Les grandes villes sont ainsi confrontées au problème de réduction de l'empreinte globale des déplacements quotidiens et les pistes de solutions proposées aujourd'hui prennent généralement la forme de stratégies visant à réduire l'utilisation de la voiture et à promouvoir les alternatives aux modes motorisés, comme les transports en commun et les modes actifs (Morency & Verreault, 2020). Cela témoigne d'une vision à relativement court terme et d'une simplification du problème en une dépendance à l'égard de la voiture. Des stratégies générant des changements plus structurels pourraient néanmoins avoir des effets beaucoup plus importants et durables. Plutôt que de se limiter à modifier la façon dont les déplacements quotidiens sont effectués, il semble pertinent de s'attacher à modifier la structure spatio-temporelle de ces

déplacements. Il est bien connu que le lieu de résidence est l'un des principaux moteurs des comportements de déplacement. Encourager les ménages à choisir leur lieu de résidence de manière plus judicieuse par rapport à leurs besoins de déplacement fait partie des changements structurels que pourraient viser les politiciens et les planificateurs (Morency & Verreault, 2020). A titre d'exemple, Morency et Verreault ont démontré qu'aujourd'hui seuls 1,8% des ménages montréalais résident dans un emplacement optimal en termes de coûts de transport entre le lieu de résidence et les lieux d'activité contraints (Morency & Verreault, 2020).

La prise en compte simultanée des dépenses de transport et d'habitation est essentielle pour une compréhension plus fine des choix de localisation résidentielle des ménages (Hamidi & Ewing, 2015; Inbakaran & Shin, 2010; Maresca, 2013). Ces deux coûts sont étroitement liés et exercent une influence considérable sur la qualité de vie et les budgets des ménages. En particulier, les coûts de déplacement pèsent significativement sur la décision des ménages de choisir entre le centre-ville et la périphérie. Les quartiers du centre-ville, tout en ayant des prix fonciers plus élevés, offrent un accès plus aisé aux services et à l'emploi, ce qui peut réduire la charge financière liée au transport pour les résidents. Des recherches ont montré que la prise en compte de ces coûts peut parfois bouleverser la hiérarchie des quartiers en termes d'abordabilité (Bonne & Cauhopé, 2018; Hamidi et al., 2016; Hickey et al., 2012; Inbakaran & Shin, 2010; Maresca, 2013). Ainsi, certains quartiers autrefois délaissés par les ménages à revenu modeste peuvent devenir financièrement attractifs lorsque l'on considère les coûts de transport, notamment ceux situés à proximité du centre-ville. Le Tableau 1.1 illustre cette idée en classant les arrondissements et villes de l'île de Montréal selon les dépenses moyennes des ménages pour le logement et pour les dépenses intégrées de transport et d'habitation. On constate que les quartiers avec les dépenses d'habitation les plus élevées, comme le Plateau-Mont-Royal, ont des dépenses de transport bien plus faibles que celle de quartiers où le logement est plus abordable, comme L'Île-Bizard–Sainte-Geneviève, ce qui rend ces quartiers plus abordables en termes de coûts totaux.

Tableau 1.1 Impact du transport sur le classement d'abordabilité résidentielle (Ville de Montréal, 2018)

Nom de la ville ou de l'arrondissement	Rang des dépenses d'habitation ¹	Rang des dépenses de transport	Rang des dépenses intégrées H+T	Changement de rang dû à l'ajout des dépenses de transport
Hampstead	1	4	1	0
Westmount	2	1	2	0
Mont-Royal	5	2	3	2
Montréal-Ouest	3	3	4	-1
Senneville	8	4	5	3
Outremont	8	6	6	2
Beaconsfield	5	8	7	-2
Verdun	8	11	8	0
Baie-D'Urfé	12	12	9	3
Ville-Marie	20	8	10	10
Dorval	7	24	11	-4
Le Plateau-Mont-Royal	27	7	12	15
Rosemont–La Petite-Patrie	27	8	13	14
Montréal-Est	12	21	13	-1
Mercier–Hochelaga-Maisonneuve	20	13	15	5
L'Île-Bizard–Sainte-Geneviève	4	33	16	-12
Anjou	24	17	17	7
Lachine	19	19	17	2
Kirkland	15	26	17	-2
Pointe-Claire	12	27	17	-5
Sainte-Anne-de-Bellevue	8	28	17	-9
Le Sud-Ouest	27	13	22	5
Ahuntsic-Cartierville	26	16	23	3
Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles	16	30	24	-8
Côte-des-Neiges–Notre-Dame-de-Grâce	30	13	25	5
LaSalle	22	21	25	-3
Saint-Léonard	22	21	25	-3
Dollard-Des Ormeaux	18	28	25	-7
Pierrefonds-Roxboro	17	32	29	-12
Montréal-Nord	24	25	30	-6
Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension	31	18	31	0
Côte-Saint-Luc	33	19	32	1
Saint-Laurent	31	30	33	-2

Les ménages ont tendance à sous-estimer les coûts de transport lors de leur processus de choix résidentiel, ce qui peut entraîner des répercussions financières à long terme, les exposant à des

¹ Le premier du classement est la quartier le plus abordable.

situations de vulnérabilité. Des quartiers qui semblent abordables aujourd'hui peuvent devenir coûteux demain si les coûts de transport augmentent significativement, que ce soit en raison de l'augmentation des prix des carburants ou de politiques tarifaires visant à réduire les émissions liées aux déplacements. Une étude réalisée à San Francisco a démontré que, malgré des coûts de logement inférieurs, les quartiers de banlieue peuvent s'avérer plus onéreux à long terme en raison des dépenses de transport plus élevées que ceux du centre-ville (Cervero & Gorham, 1995). Il est donc crucial d'informer les ménages sur les conséquences à long terme de leurs choix de localisation résidentielle. Des politiques visant à sensibiliser les ménages aux coûts de transport et à encourager des choix de localisation plus durables pourraient s'avérer nécessaires pour réduire leur vulnérabilité à long terme (Shaheen et al., 2016). La prise en compte simultanée des coûts de transport et d'habitation est donc indispensable pour une compréhension plus fine des choix de localisation résidentielle des ménages.

1.2 Problématique et objectifs

La région de Montréal connaît une forte croissance démographique et urbaine, accompagnée d'une augmentation des prix immobiliers et de mutations rapides dans le secteur des transports. Le prix moyen des loyers à Montréal a en effet augmenté de 14% entre 2022 et 2023 (Loiseau, 2023), et l'entrée en vigueur du Règlement sur les combustibles propres le 1er juillet devrait entraîner au cours des six prochaines années une hausse de 0,17\$ sur chaque litre d'essence et de 0,16\$ sur le diesel (Dumont, 2023). Les recherches de ces vingt dernières années ont montré que ces deux coûts sont étroitement liés, car le choix de la localisation résidentielle peut avoir un impact significatif sur les coûts de déplacement quotidiens. Cependant, la façon dont ces coûts interagissent et sont perçus par les ménages reste largement méconnue. Dans l'ensemble, cette recherche vise à contribuer à une meilleure compréhension des interactions entre les coûts d'habitation et de transport dans la région de Montréal, en proposant des approches innovantes pour caractériser et quantifier ces interactions. Ces résultats pourront être utiles aux décideurs publics, aux professionnels du secteur immobilier, ainsi qu'aux ménages qui souhaitent prendre des décisions éclairées en matière de localisation résidentielle et de mobilité quotidienne. Cet objectif principal peut être décliné en plusieurs objectifs plus spécifiques, formulés comme suit :

1. Identifier les ménages montréalais enclins à se relocaliser et les motifs qui sous-tendent ce choix

2. Mettre en lumière le manque de connaissance des ménages sur les coûts de transport associés à un choix résidentiel
3. Caractériser les relations entre la structure, le logement et la localisation des ménages et les dépenses réalisées pour le transport et le logement
4. Développer des scénarios d'évolution des dépenses associées à la localisation résidentielle afin d'en estimer l'impact sur la vulnérabilité des ménages
5. Étudier les outils existants traitant de la notion de coût résidentiel (transport + habitation) pour en déterminer les atouts et les faiblesses
6. Proposer une liste d'exigences pour un outil spécifique à la région de Montréal permettant de communiquer l'impact du choix de la localisation résidentielle et qui favorise la diminution des émissions de GES tout en évitant les situations de vulnérabilité

1.3 Structure du mémoire

Ce mémoire est composé de sept chapitres. L'introduction permet d'exposer les motivations du projet, de mettre en avant l'utilité de la recherche et de définir les objectifs couverts au cours de cette maîtrise.

Le deuxième chapitre consiste en une revue de littérature sur l'émergence de la notion de coût résidentiel et le phénomène du processus de relocalisation des ménages. Dans ce deuxième chapitre figure également un recensement et une analyse des outils traitant du coût résidentiel.

Le troisième chapitre présente la démarche méthodologique employée dans l'ensemble du mémoire pour répondre à l'objectif de recherche.

Le chapitre quatre s'attache à décrire le phénomène de relocalisation résidentielle à Montréal, en s'intéressant aux facteurs qui influencent le choix d'un ménage de se relocaliser et en analysant les caractéristiques spatiales de ce phénomène.

Le cinquième chapitre a pour objectif de caractériser la répartition des dépenses d'un ménage entre le transport et le logement. Les résultats de cette caractérisation sont ensuite utilisés pour modéliser l'impact de deux scénarios d'évolution plausibles des coûts relatifs au logement et au transport.

Le sixième chapitre vise à définir les exigences pour la conception d'un calculateur de coûts résidentiels pour la région de Montréal. Cela passe par l'exposition des forces et faiblesses des

outils étudiés dans le deuxième chapitre, la rédaction d'un cahier des charges et la définition des besoins en données et équations d'un tel outil.

Finalement le chapitre sept sert de conclusion au mémoire. Les limites rencontrées au cours du projet de recherche y sont énumérées, ainsi que les résultats obtenus. Les perspectives d'application et de recherche sont également présentées.

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE ET ÉTAT DE L'ART

Ce chapitre présente une revue des travaux et des outils qui s'intéressent au thème de recherche traité dans ce mémoire. Le but premier de cette revue est de mieux comprendre le sujet de recherche et les problématiques qui en découlent, afin de délimiter un cadre d'étude. Cet état de l'art, en identifiant les lacunes existantes aujourd'hui autour de la notion traitée, permettra de justifier les objectifs d'étude développés dans le mémoire. Le sujet général de ce mémoire, les interactions entre les coûts de transport et d'habitation, est d'abord introduit sous le nom de coût résidentiel que l'on retrouve fréquemment dans la littérature. Il s'agit d'expliquer comment est née cette notion et de décrire précisément ce à quoi elle se réfère.

2.1 Le coût résidentiel

Dans le contexte de hausse des prix de l'énergie et du logement ces dernières années et de l'allongement des déplacements pendulaires, les ménages modestes subviennent de plus en plus difficilement à leurs besoins en électricité, en chauffage, ou en carburant automobile. Certains sont même obligés de faire des compromis entre le chauffage et la consommation de carburant, optant généralement pour cette dernière, étant donné que dans les espaces dépendants de la voiture les déplacements en automobile sont souvent une condition nécessaire à l'accès professionnel (Desjardins & Mettetal, 2012; Devalière, 2012). En effet, de manière générale, le domicile d'un ménage est considéré comme le lieu d'où les gens commencent leurs activités chaque jour et où ils reviennent à la fin de la journée (Bhat, 2015). Le lieu de résidence est fortement lié au coût de la mobilité quotidienne et s'éloigner de la ville pour accéder à la propriété à un moindre coût en périphérie peut s'avérer défavorable pour les ménages (Besselièvre, 2019). Cela pose ainsi la question de comment définir l'abordabilité d'une résidence.

De manière générale, un logement est défini comme abordable si les dépenses qui lui sont associées ne dépassent pas 30 % du revenu du ménage (Stone, 2006). Cette mesure néglige cependant de prendre en compte la proximité du logement d'un service de transport en commun rapide et fréquent qui permettrait aux résidents d'accéder à des emplois et à d'autres possibilités à un coût relativement faible, contrairement aux zones dépourvues de tels services, dans lesquelles les déplacements quotidiens demandent aux ménages des efforts financiers supplémentaires, liés aux coûts élevés de possession et d'utilisation d'une voiture. De plus une telle mesure ne tient pas compte de l'adéquation des unités de logement (Revington & Townsend, 2016).

Parallèlement à ces travaux sur la définition de logement abordable, des études se sont intéressées à l'abordabilité des transports. Pour Hamidi et al. le transport est considéré comme abordable si un ménage ne consacre pas plus de 15 % de son budget aux frais de transport (Hamidi et al., 2018).

Une étude du Center for Housing Policy et Center for Neighborhood Technology (CNT) a montré que San Francisco, Boston et New York figurent parmi les régions métropolitaines américaines les moins abordables pour les ménages à revenu modéré si l'on ne considère que le logement, mais que, lorsque les coûts de logement et de transport sont considérés ensemble, ces métropoles sont parmi les plus abordables (Hickey et al., 2012). Se loger dans les zones périurbaines éloignées des centres contraint les ménages à rajouter au prix du logement un budget véhicules et carburant élevé. Les dépenses des ménages pour le transport sont de 22 à 25 % plus élevées dans la couronne périurbaine la plus éloignée que dans le centre-ville (Inbakaran & Shin, 2010). A l'inverse, les ménages qui résident dans les grands centres urbains dépensent davantage pour se loger mais la contrainte du recours à la voiture individuelle est nettement moindre (Maresca, 2013). Dans certaines communes françaises, les coûts de déplacements des ménages égalent, voire dépassent, ceux du logement (Bonne & Cauhopé, 2018). En moyenne les ménages qui consacrent plus de 50% de leurs dépenses totales au logement consacrent seulement 7,5 % de leur budget au transport. A l'inverse les ménages qui consacrent moins de 30 % de leur budget au logement consacrent près de 25% au transport, soit trois fois plus que ceux qui occupent un logement moins abordable (Hamidi et al., 2016).

Il est donc apparu nécessaire d'intégrer à cette réflexion sur l'abordabilité d'une résidence à la fois les coûts de logement et de transport. La notion de « coût résidentiel » a été introduite en France par Maresca, qu'il définit comme le cumul du « coût du logement, charges comprises, et le coût de la mobilité en fonction du type de commune de résidence » (Maresca, 2013). Pour Hamidi et al., l'abordabilité intégrée se définit comme la combinaison d'une offre de logements abordables avec un accès aux besoins quotidiens et la disponibilité d'un système de soutien pour améliorer le bien-être et l'habitabilité des personnes et des communautés (Hamidi et al., 2018). Pour Hamidi et Ewing, un logement est considéré abordable si la somme des dépenses de transport et de logement ne dépasse pas 45 % du revenu du ménage (Hamidi & Ewing, 2015).

2.1.1 Les facteurs qui influencent le coût résidentiel

Les études réalisées autour de la notion de coûts résidentiel s'intéressent principalement aux dépenses que le logement représente pour les ménages. Dans certains travaux de recherche les coûts de transport sont aussi considérés, en parallèle ou simultanément. Les résultats de ces différentes approches sont présentés ici.

2.1.1.1 Le coût du logement

De nombreuses études ont été menées pour tenter de comprendre comment les coûts résidentiels s'articulent autour des caractéristiques d'un ménage, du type et de la localisation de son logement.

Pour ce qui est des facteurs qui influencent le coût du logement, Revington et Townsend ont constaté que dans les cas de Vancouver et Montréal, les logements sont plus abordables dans les zones périphériques qu'à proximité du centre-ville et dans les zones desservies par des transports en commun rapides tels que le tramway, le métro, le bus à haut niveau de service (BHNS) et le train de banlieue (Revington & Townsend, 2016). Cet impact de l'accessibilité aux transports en commun est corroboré par de nombreux articles (Aydin & Kurschner Rauck, 2022; Brandt & Maennig, 2012; Dube et al., 2013; Efthymiou & Antoniou, 2013; Hawkins & Nurul Habib, 2018; Heyman et al., 2017; Nelson, 2017; Torzewski, 2020; Yu et al., 2017). Similairement, Hamidi et Ewing ont montré que la part moyenne du budget des ménages allouée au logement est plus élevée dans les zones compactes que dans les zones périurbaines (Hamidi & Ewing, 2015). A l'inverse Miller et al. ont observé une augmentation des dépenses de logement, à mesure que l'on s'éloigne du centre-ville, mais celle-ci peut être attribuée à l'augmentation de la taille des logements et la présence de divers services (Miller et al., 2004). Une étude des prix du marché résidentiel de Toronto montre que le revenu moyen, la distance au CBD et les densités de population et d'emploi s'avèrent être des facteurs importants dans la détermination des prix. Le revenu moyen s'est avéré significatif pour chacun des types de logement mais les résultats suggèrent qu'il joue un rôle plus important dans la détermination des prix des maisons unifamiliales que dans celle des condominiums ou des maisons en rangée (Hawkins & Nurul Habib, 2018). Une étude d'Austin au Texas, a montré que la proximité du transport en commun se traduit par une augmentation de la valeur des propriétés allant de 1,29 à 6,46 \$US/m² pour tous les 305 mètres plus proches des gares ferroviaires (Yu et al., 2017). A Berlin, le fait pour une propriété de se situer à distance de marche d'une gare qui permet de se rendre en moins de 30 minutes au centre-ville se traduit généralement

par une augmentation du prix du logement. Lorsque les gares se situent dans un rayon de 30 à 40 minutes du centre en revanche, la proximité immédiate (5 minutes à pied) d'un logement à ces gares impacte négativement les prix (Aydin & Kurschner Rauck, 2022). Dube et al. ont montré que la proximité immédiate d'une gare de trains de banlieue, se situant à une distance suffisante du CBD (>10 km), se traduit par une augmentation d'environ 11 % du prix moyen des maisons (Dube et al., 2013). D'après Nelson, c'est la présence du tramway qui influence le plus les loyers : la proximité immédiate ($<1,6$ km) d'un appartement à une ligne de tramway peut se traduire par une augmentation du loyer de 9 à 10,8%. Viennent ensuite dans l'ordre le métro léger (de +2,5 à +4,5%) et le BHNS (de +1,7 à +3%) (Nelson, 2017). A Varsovie, la proximité immédiate d'une station de métro à une propriété (moins de 800m) a une incidence positive sur les prix de l'immobilier estimée à 13% (Torzewski, 2020). Dans la ville allemande d'Hambourg, la proximité des condominiums à des gares ferroviaires locales (250 à 750m) se traduit pas une augmentation du prix du logement d'environ 4,6 % (Brandt & Maennig, 2012). Efthymiou & Antoniou soulèvent cependant le fait que la proximité des gares ferroviaires nationales a un effet négatif sur les prix d'achat et les loyers des maisons et des appartements que l'on peut attribuer à un certain nombre d'externalités qui leur sont associées (Efthymiou & Antoniou, 2013). La marchabilité d'une zone est aussi un facteur qui influence positivement les prix des propriétés (Hawkins & Nurul Habib, 2018; Heyman et al., 2017). Un même facteur peut aussi avoir des impacts différents en fonction du type de bien immobilier. Guo et al. ont observé que les valeurs des maisons individuelles sont plus élevées dans les quartiers résidentiels sans réseau routier dense et présentant une faible accessibilité aux commerces à la marche alors qu'à l'inverse, les prix des appartements sont plus élevés dans les quartiers plus diversifiés, présentant une forte densité résidentielle et d'intersection et une forte accessibilité à pied aux commerces (Guo et al., 2016).

La localisation n'est pas le seul facteur exerçant une influence sur les dépenses de logement, les caractéristiques des ménages jouent également un rôle important. Les ménages avec enfants et les ménages composés d'une seule personne consacrent une proportion plus élevée de leur revenu au logement que les autres types de ménages (Anowar et al., 2018). Evidemment les caractéristiques du logement exercent aussi une influence sur les dépenses d'habitation. Les dépenses de logement sont globalement plus élevées pour les ménages vivant dans des maisons individuelles (Deka, 2015).

2.1.1.2 Les coûts de transport

Pour ce qui est des coûts de transport, l'ensemble des dépenses de mobilité est principalement conditionné par les caractéristiques socioéconomiques du ménage. La part du budget consacrée au transport augmente avec la taille du ménage (Hamidi & Ewing, 2015; Pelé et al., 2016). La présence d'enfants influe aussi positivement sur les dépenses liées à l'acquisition d'automobiles et au transport non motorisé tandis que des proportions plus faibles du revenu sont allouées à l'essence, à l'assurance, à l'entretien, à l'exploitation des véhicules et aux transports publics (Anowar et al., 2018). Par rapport aux autres ménages, les ménages composés d'une seule personne consacrent une proportion plus élevée de leur revenu à l'utilisation de véhicules. Les couples sans enfants eux dépensent davantage que les autres types de ménages pour l'acquisition de véhicules, mais moins pour les transports publics et les transports non motorisés. En outre, la part du revenu allouée à l'achat d'un véhicule, au carburant, à l'entretien et au fonctionnement du véhicule tend à augmenter avec le nombre de travailleurs (Anowar et al., 2018). Concernant la motorisation des ménages, Deka a montré une association négative entre l'utilisation des transports en commun et les dépenses de transport, et une association positive entre la possession d'une automobile et les coûts de transport (Deka, 2015). La part du budget consacrée au transport augmente également avec le revenu médian des ménages (Hamidi & Ewing, 2015). Les ménages à revenu moyen (30-70k) et élevé (>70k) dépensent plus pour l'acquisition, le fonctionnement et l'entretien de véhicules que les ménages à faible revenu (<30k) (Anowar et al., 2018).

Mais la localisation résidentielle a aussi un impact : une faible densité de population et d'accessibilité à l'emploi augmentent la probabilité qu'un ménage ait de fortes dépenses de mobilités (Hamidi & Ewing, 2015; Pelé et al., 2016). A l'inverse les villes disposant d'un bon service de transport en commun ont généralement des coûts de transport moins élevés, notamment dans les centres-villes, que celles axées sur l'automobile, même pour les logements situés en centre-ville (Hamidi et al., 2016). De manière générale, les dépenses de déplacement des ménages augmentent à mesure que l'on s'éloigne du centre-ville (Miller et al., 2004). Pelé et al. ont montré qu'en zone périurbaine, l'automobile domine largement les dépenses de mobilité quotidienne puisqu'elles représentent en moyenne 91% des dépenses (Pelé et al., 2016). A Melbourne, les coûts de possession automobile sont les plus importantes dépenses de transports supportées par les ménages, suivis par les coûts d'utilisation de l'automobile et enfin les coûts d'utilisation des TC, qui représentent environ 19 % des coûts variables au centre-ville, 14 % dans la première couronne

périurbaine et seulement 4 % pour la couronne extérieure (Inbakaran & Shin, 2010). Hamidi et al. ont montré que l'emplacement d'un logement et sa distance par rapport aux destinations quotidiennes, la disponibilité des services de transport en commun, l'accessibilité, la connectivité des rues et l'aménagement à usage mixte exercent une influence sur l'accessibilité de la propriété en termes de coûts de transport. Le fait de vivre dans des zones inaccessibles annulerait même les avantages des faibles coûts de logement (Hamidi et al., 2018). Généralement, les ménages situés dans les zones urbaines consacrent une plus grande partie de leurs revenus à l'utilisation des véhicules et aux transports publics que leurs homologues ruraux, mais dépensent moins en essence et pour l'acquisition de véhicules (Anowar et al., 2018). Inbakaran et Shin ont notamment montré que les coûts de possession automobile augmentent moins fortement que les coûts d'utilisation à mesure que l'on s'éloigne du centre-ville (Inbakaran & Shin, 2010).

Les caractéristiques du logement sont aussi à prendre en compte pour comprendre l'allocation du budget aux dépenses de transport. Comparativement aux locataires, les propriétaires ont tendance à consacrer une part relativement plus importante de leur revenu à l'essence et à l'assurance de leurs véhicules mais une proportion moindre à l'achat de véhicules, aux transports publics et aux véhicules non motorisés. Les ménages vivant dans une maison individuelle consacrent une part réduite de leur revenu au logement et aux transports publics, mais dépensent davantage pour les services publics et l'essence. Les habitants d'appartements consacrent une plus grande partie de leurs revenus aux transports publics (Anowar et al., 2018). De manière générale, les dépenses de transport sont plus élevées pour les ménages vivant dans des maisons individuelles (Deka, 2015).

2.1.1.3 Le coût intégré logement/transport

Différentes études ont également été réalisées pour mettre en lumière les liens entre les dépenses de transport et d'habitation et comprendre les compromis réalisés par les ménages pour tenter d'atteindre une situation d'abordabilité. La proximité aux zones d'emploi, un réseau de rues compact et connecté, et la présence de bonnes infrastructures de transport en commun sont les trois principales caractéristiques de la localisation résidentielle d'un ménage qui influent positivement sur sa résilience (Marshall & Henao, 2015). De manière générale, une augmentation du score de compacité d'une zone se traduit par la hausse des coûts de logement et une diminution des dépenses de transport plus importante que la hausse des coûts du logement (Hamidi & Ewing, 2015). Un plus haut niveau d'urbanisation offre ainsi une meilleure abordabilité en termes de dépenses

combinées de logement et de transport (Miller et al., 2004). Une étude réalisée sur les ménages à faibles revenus vivant dans la périphérie urbaine de Melbourne a montré que les ménages ne possédant pas de véhicule prennent des décisions en adéquation avec leurs modes de vie et financièrement viables quant à l'emplacement de leur domicile (Currie & Delbosc, 2009). En outre, Deka a observé un lien intéressant entre les dépenses de transport et d'habitation : la part du revenu consacrée au transport augmente lorsque que la part consacrée au logement augmente mais que l'inverse n'est pas vrai (Deka, 2015). Les dépenses de transport seraient donc dépendantes de celles de l'habitation tandis que les dépenses d'habitation seraient indépendantes de celles du transport.

2.1.2 Evolution des dépenses H+T

Identifier ce qui détermine la façon dont les ménages allouent leur budget à différents postes de dépenses permet de comprendre comment ces ménages réagissent à différentes situations (Anowar et al., 2018). Depuis le début des années 2000 on assiste aux Etats-Unis à une augmentation du fardeau que les dépenses de logement et de transport représentent sur le budget des ménages à revenu modéré, ces dépenses augmentant plus rapidement que les revenus (Hickey et al., 2012). Le prix de l'essence et des voitures augmente notamment avec le nombre et la longueur des déplacements impliquant que dans un futur proche, les dépenses de transport des ménages risquent d'augmenter de manière drastique (Haas et al., 2008). La hausse des prix des carburants en 2008 aux États-Unis a été accompagnée d'un effondrement du marché de l'immobilier ce qui a contraint les ménages à modifier leurs habitudes de consommation, leurs comportements de déplacements et l'allocation de leurs dépenses (Ferdous et al., 2010). Des études ont ainsi été menées pour tester l'impact d'évolution du prix du carburant ou l'instauration de taxes routières comme celle actuellement à l'étude à Montréal (Communauté métropolitaine de Montréal, 2023).

Pour répondre à une augmentation du prix du carburant, les ménages ont tendance, à court terme, à réduire leurs dépenses liées à l'achat de véhicules (Ferdous et al., 2010) et à utiliser davantage les moyens de transport non-motorisés pour leurs déplacements (Anowar et al., 2018). Cependant aucun changement vers une utilisation accrue des transports en commun n'est observé. La part des dépenses allouée aux transports publics n'évolue pas de façon significative, ce qui suggère que les ménages préfèrent réaliser des ajustements dans d'autres catégories de dépenses avant d'effectuer un report modal significatif de l'automobile vers les transports publics (Anowar et al., 2018; Ferdous et al., 2010). À long terme des ajustements similaires ont lieu dans ces mêmes catégories

(Anowar et al., 2018; Ferdous et al., 2010), et des réductions importantes sont également observées pour les dépenses de logement (baisse de 0,50%) et de services publics (baisse de 0,28%), ce qui suggère des compromis au niveau du lieu de résidence et/ou du type d'unité de logement (Ferdous et al., 2010). Les dépenses d'utilisation et de possession de véhicules sont également réduites, ce qui suggère une baisse des kilomètres parcourus par automobile (VKT), des réductions du niveau d'entretien et des choix de véhicules plus économes en carburant (Ferdous et al., 2010). Marshall & Henao ont également montré que les ménages résidant dans des zones périurbaines offrant moins d'options de transport sont beaucoup plus vulnérables aux variations du prix des carburants que leurs homologues urbains. Le triplement du prix du carburant à Denver (Colorado) amènerait les ménages plus excentrés à consacrer près de 27 % de leur revenu au transport là où les ménages vivant dans les zones les plus urbanisées continuent d'y consacrer moins de 1 % de leur revenu (Marshall & Henao, 2015). L'impact disproportionné d'une hausse du prix du carburant sur les ménages à revenus faibles et modérés est généralement dû à un compromis réalisé entre les coûts du logement et du transport. Les ménages des banlieues sont ainsi plus vulnérables à une augmentation drastique du coût de la conduite (Marshall & Henao, 2015). Sur le long terme, des mesures de tarification routière peuvent influencer les choix de localisation résidentielle des ménages (Tillema et al., 2010). Dans un contexte d'instauration de taxations routières, les coûts inhérents aux déplacements en automobile (péage et carburant) deviennent des facteurs qui influencent de manière significative les choix de localisation résidentielle des ménages. Les ménages préfèrent supporter des frais de logement et des temps de trajet plus élevés afin d'éviter une hausse de leurs frais de déplacement. En outre, les frais de péage sont évalués un peu plus négativement que les frais de carburant (Tillema et al., 2010). De manière générale, les ménages motorisés présentent une vulnérabilité évidente face à l'augmentation des coûts du transport et du logement, là où ceux sans véhicules témoignent d'une durabilité financière et environnementale qui devrait être encouragée par les politiques de transport et d'aménagement du territoire (Currie & Delbosc, 2009).

2.1.3 Ménages inconscients des différents coûts

Pour la plupart des ménages, les décisions liées au choix d'un logement sont prises sur la base d'un bien immobilier qui semble attrayant du point de vue du prix et de la qualité de vie, sans tenir compte de l'impact de la localisation sur les trajets quotidiens et la mobilité "forcée" (Schrenk et al., 2012). Les ménages ont tendance à se tourner vers les banlieues où les logements sont

abordables, en ne tenant pas compte des coûts de transport associés à un emplacement éloigné (Hamidi & Ewing, 2015). Burnley et al. ont par exemple constaté que la mobilité résidentielle est surtout orientée vers l'extérieur des centres urbains (Burnley et al., 1997). A Beijing, 26 % des ménages quittent les centres urbains pour s'installer en périphérie contre seulement 9 % dans la direction opposée (Yang, 2006). Ce phénomène est en partie dû au fait qu'il est très difficile pour les ménages d'évaluer de manière exhaustive les coûts du logement et de la mobilité, en particulier à long terme. Un manque de transparence des coûts dans le contexte de diverses influences et interactions conduit généralement à des considérations uniquement à court terme (Cadus, 2013). Cela est particulièrement vrai pour le calcul des dépenses de transport. La difficulté à estimer les coûts de mobilité et les temps de trajet qui leur sont associés provient d'une perception erronée de l'allongement des distances comme seul facteur influençant l'augmentation des coûts : l'achat de voitures supplémentaires, les trajets d'accompagnement, les abattements fiscaux dont bénéficient les utilisateurs des transports en commun et des modes actifs, etc. doivent aussi être pris en compte (Cadus, 2013). Cependant pour l'instant, seul le coût du carburant et celui des péages d'autoroute sont généralement considérés lorsque les ménages tentent de broser un portrait de leurs dépenses (Allard et al., 2014). Il existe néanmoins des ménages conscients des coûts de mobilité engendrés par leur localisation résidentielle mais des revenus limités ou la possession d'un bien immobilier difficile à vendre peuvent contraindre ces ménages à rester là où ils sont, créant ainsi des enclaves d'insécurité financière (Allard et al., 2014).

Selon le processus d'optimisation de la localisation des ménages appliqué par Morency et Verreault, seuls 1,8% des ménages montréalais résident actuellement dans un emplacement optimal, c'est-à-dire qui minimise les coûts collectifs de transport entre le lieu de résidence du ménage et les lieux d'activité contraints (travail et école) (Morency & Verreault, 2020). Cela témoigne d'une certaine inefficacité des choix de localisation résidentielle des ménages, du point de vue du transport. A l'échelle de la région de Montréal, l'optimisation des localisations résidentielles permettrait en effet de diminuer les distances totales pour le travail et les études de 37,9%. De plus cela permettrait un report potentiel des modes motorisés vers les modes actifs pour 55,4% des déplacements. Ces résultats montrent qu'il serait possible de réduire significativement les distances parcourues pour les déplacements liés au travail et aux études en incitant les ménages à se rapprocher de leurs lieux de travail et d'études (Morency & Verreault, 2020).

2.1.4 Emergence d'outils pour orienter les décisions des ménages

Le caractère transversal et multidimensionnel de la notion de coût résidentiel appelle à la mobilisation d'acteurs variés, dont les intérêts sont parfois contraires et dont les réflexions s'appuient sur des outils et des temporalités différentes (Besselievre, 2019). La libre diffusion d'informations sur internet et le développement de nouveaux outils représentent des opportunités pour les professionnels de s'approprier cette notion transversale et de l'interroger au vu du territoire (Besselievre, 2019). En outre, c'est pendant le processus de choix résidentiel que l'action publique a le plus de chance d'exercer une influence sur le choix de localisation du ménage et par conséquent son comportement de mobilité (Bonne & Cauhopé, 2018). Une meilleure diffusion d'informations sur le coût global des choix résidentiels des ménages pourrait réduire l'attrait des zones périurbaines (Allard et al., 2014).

Différents auteurs ont ainsi soulevé la nécessité de développer des indicateurs d'abordabilité qui soient transversaux afin de décrire « la capacité d'un ménage à accéder à un logement au regard de sa disponibilité, de son coût (direct et/ou induit), et de son adéquation audit ménage » (Besselievre, 2019). Des indicateurs combinant des informations sur le logement et sur la mobilité, connus sous le terme de CHT (Combined Housing and Transport), existent déjà et tentent d'apporter une approche transversale de l'abordabilité. Mais bien que ces indicateurs représentent une avancée par rapport aux indicateurs qui ne s'intéressaient qu'aux informations sur le logement, des critiques ont été émises, notamment par Guerra et Kirschen (2016). Ces deux chercheurs ont soulevé, pour différents indicateurs, l'absence de prise en compte de la composition du ménage, ses préférences, son style de vie et l'avancement dans son cycle de vie. De plus ils critiquent une évaluation trop approximative des coûts de transports, les coûts de stationnement n'étant par exemple jamais pris en compte (Guerra & Kirschen, 2016). Bonne et Cauhopé alertent en outre sur un manque de données permettant de traiter la notion du coût résidentiel, qui s'accompagne d'une divergence sur les choix des paramètres à prendre en compte dans le calcul. Cette complexité sur la façon de traiter cette notion appelle à une proposition de méthodologie commune qui impliquerait les acteurs concernés par la thématique (Bonne & Cauhopé, 2018).

Pour mieux intégrer la notion de coût résidentiel dans le processus de choix de localisation des ménages, les prêts bancaires sont un levier privilégié. Actuellement les conditions des prêts bancaires renforcent la focalisation sur le coût du logement, tout en masquant les coûts de la

mobilité. Les paiements hypothécaires sont calculés d'après le revenu total des ménages et ne considèrent donc pas les dépenses incompressibles comme les frais de transport. Allard et al. suggèrent donc de calculer les montants des prêts accordés sur le revenu disponible plutôt que sur le revenu total (Allard et al., 2014). Toujours dans l'optique d'une meilleure intégration de la notion de coût résidentiel au processus de choix de résidence des ménages, entre 2003 et 2008, des Location Efficient Mortgage® (LEM) ont été émis dans les aires métropolitaines de Chicago, Seattle, Los Angeles et San Francisco. Cet outil de financement reconnaît et comptabilise les économies disponibles pour les personnes qui vivent dans des communautés à localisation efficace. Le LEM offre, aux potentiels acheteurs de logement dans un quartier urbain, un moyen d'augmenter leur capacité d'emprunt (de 28% à 39% du revenu mensuel brut) en partant du principe qu'ils dépenseraient moins en transport et donc auraient un revenu disponible plus élevé que la moyenne nationale (*Rethinking Mortgages*, 2015). Des choix résidentiels plus pertinents pour la santé financière des ménages pourraient être favorisés par des modulations des montants des aides publiques et des prêts bancaires en fonction du coût résidentiel (Bonne & Cauhopé, 2018).

Ces dernières années ont également vu l'émergence de différents outils d'aide à la décision lors du processus de relocalisation, sous forme de calculateurs de coûts résidentiels. De tels outils permettent à de futurs acheteurs/locataires d'un nouveau logement d'évaluer les effets à moyen et long terme du choix d'un lieu de résidence. Mais ils peuvent également être utilisés par les professionnels privés intervenant auprès des ménages lors du choix résidentiel, afin d'offrir un niveau de qualité de services plus élevé (Schrenk et al., 2012). Le rôle d'acteurs tels que les agents immobiliers et les promoteurs dans les transactions immobilières est en effet décisif mais ces interlocuteurs ne prennent pas réellement en compte tous les facteurs lors de l'évaluation des coûts résidentiels, la mobilité étant généralement la partie la plus négligée. Par leur connaissance fine du territoire et du marché, ce sont des conseillers privilégiés pour les ménages lors de l'élaboration du projet résidentiel et leur rôle semble ainsi une opportunité d'intégrer intelligemment la notion de coût résidentiel aux projets afin de prévenir des situations de précarité (Besselièvre, 2019). En plus de viser public varié, les calculateurs de coût résidentiel peuvent être mobilisés dans différents contextes : durant le processus de déménagement afin de prévoir les coûts résidentiels liés à un projet et d'en évaluer l'impact pour prendre des décisions éclairées et optimiser le choix de localisation résidentielle, mais aussi en situation courante, afin de s'informer sur le coût résidentiel

relatif à son logement et sa mobilité, ce qui pourrait amener les ménages utilisateurs à repenser leurs pratiques de mobilité et ainsi optimiser leur coût résidentiel (Bonne, 2018; Caubel, 2017).

2.1.5 Les méthodologies d'estimation du coût résidentiel

Les paragraphes suivants examinent la façon dont l'ensemble des dépenses qui composent le coût résidentiel sont estimées.

2.1.5.1 Les coûts de transport

Depuis les années 2000, l'analyse des dépenses de mobilité des ménages s'est concentrée principalement sur les dépenses en carburant pour les déplacements domicile-travail, ces derniers étant considérés comme les plus structurants et les plus révélateurs de la mobilité. Cependant, ces méthodes d'estimation ne permettent pas une analyse globale du budget mobilité des ménages, qui prennent en compte l'ensemble des comportements de mobilité et de motorisation, ainsi que les variations spatiales des prix (Pelé et al., 2016). Pour tenter d'estimer de façon exhaustive les coûts de transport d'un ménage, une méthodologie commune se retrouve dans plusieurs articles (Center for Neighborhood Technology, 2017; Haas et al., 2008; Hickey et al., 2012; Inbakaran & Shin, 2010; Miller et al., 2004). La méthode employée consiste à séparer les coûts de transport en trois catégories puis à les additionner, les trois catégories étant la possession d'une automobile (AO), l'utilisation d'une automobile (AU) et l'utilisation du transport en commun (PT). L'équation utilisée est la suivante :

$$\text{coûts de transport } T = [C_{AO} * F_{AO}(X)] + [C_{AU} * F_{AU}(X)] + [C_{PT} * F_{PT}(X)] \quad (2.1)$$

où F est une fonction de variables indépendantes d'environnement et du ménage, C_{AO} est le coût moyen annuel de possession d'un véhicule, C_{AU} est le coût moyen annuel d'utilisation d'un véhicule et C_{PT} est le coût d'utilisation du transport en commun (Center for Neighborhood Technology, 2017; Haas et al., 2008; Hickey et al., 2012; Inbakaran & Shin, 2010; Miller et al., 2004; Pelé et al., 2016). Les transports en commun englobent les transports urbains (métro, tramway, train de banlieue), l'autocar et le train interurbain, le transport scolaire et le taxi, bien que Inbakaran et Shin utilisent un terme différent pour ce dernier mode (Inbakaran & Shin, 2010; Pelé et al., 2016). Les modes actifs (vélo et marche) ne sont pas pris en compte dans ce calcul car leur poids dans la mobilité quotidienne est considéré comme négligeable et il est difficile de leur associer des dépenses (Pelé et al., 2016).

2.1.5.1.1 *Estimation des fonctions de possession et d'utilisation de l'automobile et des TC*

Pour calculer le taux moyen de possession d'une automobile par ménage, Haas et al. (2008) utilisent un modèle de régression multiple standard. La fonction F_{AO} qui en ressort est une fonction de la densité résidentielle, du revenu du ménage, de la densité d'emploi, du Transit Connectivity Index (TCI), de la taille moyenne du ménage et de la distance au grand centre d'emplois le plus proche (plus de 5000 employés) (Haas et al., 2008). Ces coûts peuvent être ajustés en fonction de la région et du type de véhicule (Haas et al., 2008). En effet, comme cela a été constaté par de nombreuses études, il est important de distinguer les types de voiture lors du calcul des coûts monétaires car les coûts fixes et variables varient selon le modèle (Cadus, 2013). Dans l'H+T index, l'analyse de régression pour la variable dépendante « propriété automobile » a été ajustée à l'aide des données de l'American Community Survey (ACS) de 2015 (nombre agrégé de véhicules disponibles par mode d'occupation divisé par l'univers des unités de logement occupées, calculé au niveau du groupe d'îlots) (Center for Neighborhood Technology, 2017).

Dans l'H+T Index, pour la variable « utilisation de l'automobile » ce sont les VKT, obtenus d'après les relevés odométriques de 2010 à 2012 du département des ressources naturelles de l'Illinois, qui ont été identifiés géographiquement et assignés aux groupes d'îlots (Center for Neighborhood Technology, 2017). Similairement, pour estimer F_{AU} au niveau de l'îlot, Haas et al. (2008) utilisent les VKT par automobile, recueillis dans le National Household Travel Survey, comme variable dépendante dans une équation de régression du nombre de véhicules par ménage, de la densité, de la taille moyenne de l'îlot et du revenu moyen du ménage (Haas et al., 2008). Chez Miller et al. (2004), les dépenses des ménages liées à l'utilisation des véhicules sont aussi calculées d'après les VKT de chaque ménage, obtenus en assignant les déplacements en voiture observés dans l'enquête déplacements Transportation Tomorrow Survey (TTS) aux réseaux routiers basés sur EMME/2 (Miller et al., 2004). L'Enquête Ménages Déplacements réalisée à Lyon en 2006 a fourni à Pelé et al. (2016) des données de mobilité pour un jour de semaine, qu'ils ont annualisées à l'aide de ratios provenant de l'Enquête Nationale Transports et Déplacements de 2008, afin d'obtenir des ratios kilométriques (Pelé et al., 2016).

L'enquête déplacements TTS permet à Miller et al. (2004) d'établir une fonction d'utilisation du TC (Miller et al., 2004). Chez Haas et al. (2008), une fonction de la densité résidentielle, de la densité d'emploi, du Transit connectivity index (TCI), de la taille moyenne du ménage et du revenu

moyen du ménage permet d'estimer la fraction des travailleurs qui utilisent le transport en commun pour se rendre au travail, fraction qui est ensuite convertie en utilisation du transport en commun par ménage grâce au nombre de déplacements en transport en commun achetés à Metro Transit. Les auteurs soulèvent cependant un manque de précision de ce modèle de prédiction des déplacements en TC (Haas et al., 2008). Comme aucune mesure directe de l'utilisation du transport en commun n'était disponible au niveau du groupe d'îlots, une variable proxy a été utilisée par le CNT pour la variable dépendante « utilisation du transport en commun » : le mode de transport pour se rendre au travail, déclaré dans l'ACS de 2015, permet de calculer un pourcentage de navetteurs utilisant les transports en commun pour chaque groupe d'îlots (Center for Neighborhood Technology, 2017).

Les variables indépendantes testées par le CNT dans les modèles de régression pour estimer F_{AO} , F_{AU} et F_{PT} se divisent en deux catégories : les caractéristiques de ménage et les caractéristiques de quartier. Les caractéristiques de ménage sont le revenu médian, le nombre de navetteurs par ménage et la taille moyenne du ménage. Les caractéristiques de quartier comportent des variables de densité de logement (densité de ménages, intensité régionale des ménages, proportion de logements locatifs, proportion de logements unifamiliaux isolés), d'accessibilité à l'emploi (indice d'accès à l'emploi, indice de mixité de l'emploi), de marchabilité (densité d'îlots) et d'accessibilité au transport en commun (indice de connectivité des transports en commun, moyenne des trajets en transport en commun disponibles par semaine, Transit Access Shed (aire accessible en TC), nombre de d'emplois dans la TAS). Ces données proviennent principalement de l'American Community Survey (ACS) de 2015, du Census Longitudinal Employment-Household Dynamics (LEHD) Origin-Destination Employment Statistics (LODES) et de la base de données AllTransit™ développée par le CNT.

Les relations entre les variables indépendantes et dépendantes étant non linéaires, des itérations avec différentes fonctions de transformations simples (linéaire, racine carrée, logarithme naturel et inverse) sont utilisées pour obtenir le meilleur ajustement selon les moindres carrés ordinaires. Afin de déterminer les variables significatives et celles qui réduisent la multicollinéarité, le CNT adopte une méthode par itération : un premier ajustement incluant toutes les combinaisons de variables possibles est effectué puis par itération la variable ou la combinaison de variables la moins significative statistiquement est exclue du modèle de régression, jusqu'à ce que la probabilité que la variable ou la combinaison de variables la moins statistiquement significative soit inférieure à

5 %. Une fois le processus itératif terminé, chaque variable éliminée est réintroduite dans l'équation de régression pour déterminer si en éliminant toutes les autres elle peut redevenir statistiquement significative (Center for Neighborhood Technology, 2017). De façon similaire, pour prédire, au niveau du secteur de recensement, la possession d'une voiture, l'utilisation d'une voiture et l'utilisation des TC, le Center for Housing Policy et le CNT ont utilisé des variables de voisinage (densité de population, taille moyenne des îlots, densité des intersections, indice de connectivité des transports en commun, Transit Access Shed et densité des emplois) et des caractéristiques des ménages (revenu médian des ménages, revenu par habitant, taille des ménages et navetteurs par ménage) (Hickey et al., 2012). Pour caractériser les différentes localisations résidentielles, Pelé et al. (2016) ont choisi des indicateurs sur le caractère morphologique et fonctionnel du territoire, qu'ils ont employés à l'échelle de l'îlot résidentiel (Pelé et al., 2016).

2.1.5.1.2 Estimations des coûts liés à la possession et l'utilisation de l'automobile et des TC

Pour ce qui est des différents coûts présents dans l'équation 2.1 (C_{AO} , C_{AU} et C_{PT}), le coût de possession automobile comprend généralement les frais d'immatriculation, d'assurance et de permis de conduire, la dépréciation et les intérêts non perçus (Hickey et al., 2012; Inbakaran & Shin, 2010; Pelé et al., 2016). Pelé et al. (2016) considèrent également les coûts de stationnement de jour et de nuit (Pelé et al., 2016). Le coût d'utilisation de la voiture comprend quant à lui le carburant, les pneus, l'entretien et les réparations, qui sont supposés être proportionnels à la distance parcourue (Hickey et al., 2012; Inbakaran & Shin, 2010). Dans l'étude d'Inbakaran et Shin (2010) ces coûts sont estimés par le Royal Automobile Club of Victoria (RACV) pour un modèle de voiture commune de taille moyenne (la Toyota Camry), afin de se rapprocher le plus possible de la notion de coûts « nécessaires » (Inbakaran & Shin, 2010). Il est important de noter que le RACV inclut la dépréciation et les intérêts non-perçus au coût de possession d'un véhicule. Il est en effet important de considérer l'évolution de la valeur des voitures à long terme lors de l'estimation des coûts de transport (Cadus, 2013). Pour le calcul de la dépréciation, le RACV considère deux cas : une voiture neuve revendue au bout de cinq ans est dépréciée linéairement sur cette période tandis qu'une voiture d'occasion est dépréciée jusqu'à une valeur nulle sur cinq ans. Les intérêts non perçus (intérêts nets d'inflation qui auraient été perçus au cours d'une certaine période si le capital n'avait pas été immobilisé pour posséder une voiture) sont calculés sur le taux directeur de la Reserve Bank of Australia, et le taux d'inflation (Inbakaran & Shin, 2010). Dans l'H+T Index, les coûts de possession et d'utilisation d'une voiture proviennent des recherches

menées par le HUD et le DOT à partir du Consumer Expenditure Survey de 2010 (dont les coûts ont été corrigés pour prendre en compte l'inflation) et sont appliqués aux résultats modélisés (Center for Neighborhood Technology, 2017). Concernant l'estimation des coûts liés à l'utilisation des TC, le CNT se base sur les recettes déclarées par les agences de transport en commun dans la National Transit Database (NTD) de 2015, qu'il attribue à chaque groupe d'îlots sur la base du pourcentage modélisé d'usagers des transports en commun par groupe d'îlots. Le coût moyen d'utilisation des TC par ménage est alors calculé en divisant les recettes du TC du groupe d'îlots par le nombre de ménages y résidant (Center for Neighborhood Technology, 2017). Haas et al. (2008) soulèvent quant à eux la difficulté d'établir un prix moyen du trajet en raison de la multiplicité des tarifs (réductions, abonnements mensuels, tarifs plus élevés en heures de pointe, autobus express...) (Haas et al., 2008).

Une méthode très similaire est utilisée chez Albert et Agha (2009) pour estimer les dépenses de transport. Les auteurs calculent tout d'abord la dépense propre à chaque mode de transport (automobile, deux roues motorisés, bus ou autocars, train, taxi, autres modes) puis additionnent ces dépenses selon les modes empruntés par le ménage. Les données sur les trajets réalisés par les ménages, et les modes associés, nécessaires à ces calculs, proviennent de l'enquête ménage déplacement et d'autres sources de données (SNCF pour les tarifs du train, Préfecture pour les tarifs du taxi, Conseil Général pour ceux du transport scolaire, Communes pour les tarifs de stationnement, Autorités Organisatrices de Transports pour les transports collectifs urbains et interurbains, modèle de consommation COPERT3 pour le coût du carburant, Comité des Constructeurs Français d'Automobile pour l'entretien et les réparations automobiles). L'échelle d'analyse choisie pour l'étude est celle du secteur EMD (découpage de base de l'enquête ménage déplacement). Les informations sur les déplacements sont ensuite complétées par des sources de données sur les dépenses des ménages afin d'apporter des renseignements sur les coûts d'acquisition et d'assurance de véhicule ainsi que sur les taxes et les amendes (Albert & Agha, 2009).

2.1.5.2 Les coûts d'habitation

Il est plus simple pour les ménages d'estimer assez précisément leurs dépenses relatives au logement. Plusieurs études estiment ainsi les coûts d'habitation d'après les dépenses déclarées par les ménages. Dans l'H+T Index, les coûts du logement sont calculés d'après les coûts mensuels

médians pour les propriétaires ayant une hypothèque et le loyer brut médian, tous deux issus de l'American Community Survey de 2015, qui sont ensuite moyennés et pondérés par le ratio d'unités de logement occupées par des propriétaires/locataires pour chaque groupe d'îlots de recensement (Center for Neighborhood Technology, 2017). Pour réaliser leur étude empirique des dépenses annuelles d'habitation des ménages de la région du Grand Toronto, Miller et al. (2004) se sont basés sur les données du recensement qui leur ont fourni des informations sur le coût du logement (Miller et al., 2004). En France, étant donné qu'il n'existe pas de données localisées sur les dépenses de logement, Albert et Agha (2009) se sont efforcés de caractériser le plus qualitativement possible, à l'aide d'une analyse en composantes principales, chaque secteur EMD (découpage de base de l'Enquête Ménage Déplacement), en fonction de critères socio-démographiques. Cette caractérisation des secteurs EMD est suivie d'une application d'informations fournies par différentes sources de données sur les dépenses des ménages. Les dépenses de logement sont définies par les auteurs comme la somme des dépenses courantes (remboursement de prêt, charges, loyer, assurances, eau, électricité, gaz, combustibles) et des dépenses d'investissement (rénovation/entretien, réseaux). Les principales sources de données mobilisées pour ce calcul sont les Comptes du logement, Enquête Nationale Logement, l'Enquête loyer AUAT et le budget des dépenses des familles (Albert & Agha, 2009).

Dans un rapport de 2012 du Center for Housing Policy et du CNT, et d'après les données de l'American Community Survey (ACS) de 2006 à 2010, les coûts d'habitation des ménages comprennent, pour les locataires, le loyer et les charges (services publics et combustibles) et pour les propriétaires, les versements hypothécaires, les impôts fonciers, l'assurance habitation, les services publics, les combustibles et, le cas échéant, les paiements pour les prêts sur valeur nette du logement, les frais de copropriété ou les frais de maison mobile (Hickey et al., 2012).

2.2 Les calculateurs de coûts résidentiels

Une analyse de l'état de l'art des outils existants autour de la notion de coût résidentiel à travers le monde a permis de dresser une liste des types d'outils disponibles en ligne et réalisant une fonction d'information des ménages et des acteurs de l'aménagement sur les différentes dépenses liées à la localisation résidentielle. Ces outils peuvent se décliner en deux catégories : ceux purement informatifs et ceux personnalisables.

2.2.1 Les outils purement informatifs

Les trois outils informatifs qui se sont révélés les plus aboutis et utilisés ont été étudiés et la description de chacun d'eux est présentée ci-dessous.

2.2.1.1 WalkScore®

WalkScore® est une société fondée en 2007 à Seattle qui fournit des outils d'analyse de la marchabilité et de recherche d'appartements. Son produit phare est un indice de marchabilité qui attribue un score numérique à toute adresse aux États-Unis, au Royaume-Uni, au Canada et en Australie. L'outil fournit également un Bike Score et un Transit Score, pouvant être attribués à une adresse particulière ou à une région entière (*Walk Score*, 2022). L'objectif d'un tel outil est d'aider les ménages dans leur recherche de logement en promouvant les quartiers les moins dépendants de l'automobile.

Le site du WalkScore® (*WalkScore*, s. d.) permet d'avoir une vision globale de l'accessibilité, au niveau d'une ville ou d'un quartier. Si l'on prend le cas de la ville de Montréal, le site affiche une carte de WalkScore (voir Figure 2-1) qui permet d'identifier les quartiers les plus marchables, carte sur laquelle on peut également afficher les appartements à louer et à vendre. Les quartiers de la ville sont ensuite listés selon le WalkScore. Une carte de chaleur des restaurants, bar et cafés est ensuite affichée. Le Transit Score est aussi donné, accompagné de deux cartes : une présentant les itinéraires des lignes de TC et une présentant les zones accessibles en un certain nombre de minutes en transport public selon un point sur la carte sélectionné par l'utilisateur. Le Bike Score est aussi présenté, accompagné de trois cartes : une carte de chaleur du Bike Score, une carte des pistes cyclables et une carte du relief. Toutes ces informations sont disponibles également à l'échelle du quartier.

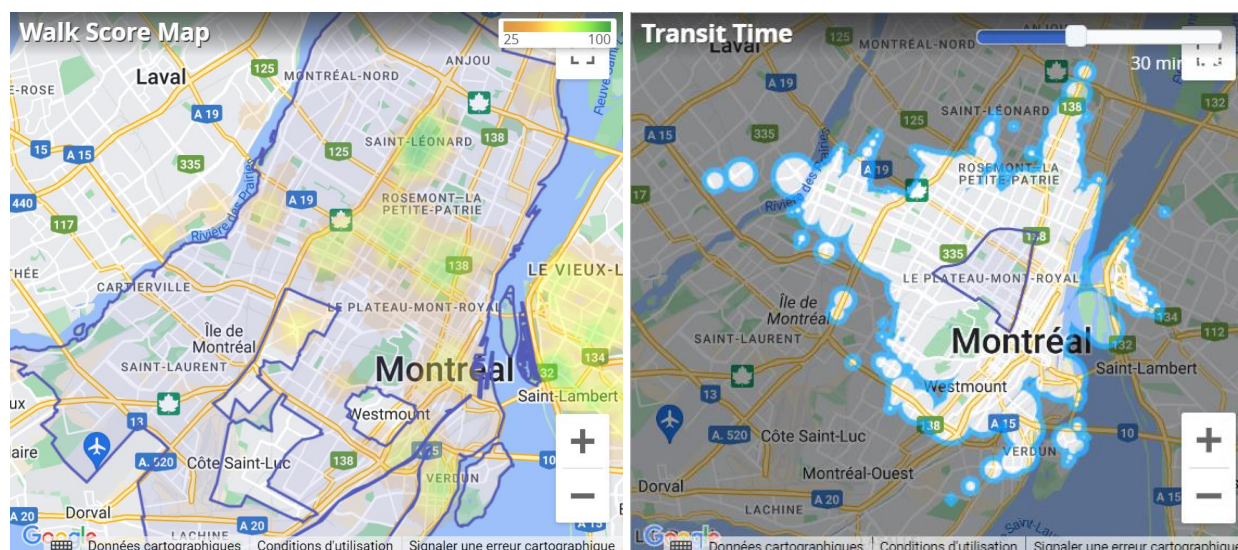


Figure 2-1 Carte de chaleur du WalkScore de la ville de Montréal (gauche) et carte d'accessibilité en 30 min de TC du quartier Plateau-Mont-Royal (droite) (WalkScore, s. d.)

Au delà de cette approche globale, il est possible de rechercher sur le site du Walk Score une adresse précise afin d'obtenir des informations sur l'accessibilité de celle-ci. Pour chaque adresse, l'outil indique les temps de trajets entre le lieu sélectionné par l'utilisateur et une destination, elle aussi définie par l'utilisateur, pour différents modes (voiture, TC, vélo et marche) ainsi que les itinéraires associés. Il présente également le Transit Score, le Bike Score ainsi que le WalkScore, ce dernier pouvant être décliné en WalkScore par catégorie de services (épiceries, écoles, loisirs...). Une carte permet de visualiser les zones accessibles en auto, TC, marche et vélo en un certain nombre de minutes défini par l'utilisateur. Cependant le type de jour (semaine ou fin de semaine) et l'heure de la journée pour lesquels les temps de parcours sont calculés ne sont pas définis. Le Transit Score est accompagné des arrêts de TC accessibles et leur distance par rapport à l'adresse renseignée (Walk Score, 2022).

2.2.1.2 H+T index

L'indice d'accessibilité au logement et au transport H+T® (*The H+T Affordability Index*, s. d.) est développé depuis 2006 par le Center for Neighborhood Technology avec l'objectif de permettre aux ménages américains de réfléchir de manière plus complète à l'accessibilité réelle d'un lieu. Le H+T index se présente sous la forme d'un site internet présentant des données sur le logement et le transport sous forme de cartes, de graphiques et de statistiques, et couvrant l'intégralité du territoire des Etats-Unis.

Sur le site, l'utilisateur peut sélectionner un niveau de précision géographique, allant de l'îlot de recensement au district, ainsi qu'un type de ménage (ménage moyen de la région, ménage modéré de la région et ménage moyen national), chaque type étant défini par le revenu annuel, le nombre d'actif et la taille. En fixant le revenu, la taille du ménage et les navetteurs, le modèle contrôle l'impact de ces variables sur les coûts de transport, ce qui implique que les différences de coûts de transport sont le résultat des caractéristiques du voisinage et de la variation de l'environnement bâti. Lorsque le niveau géographique sélectionné est plus grand que l'îlot de recensement, la légende de la carte affiche un histogramme de la distribution de fréquence du nombre d'îlots pour chaque valeur de la variable sélectionnée. La légende propose en outre des statistiques indiquant le nombre et le pourcentage de la population dans chacune des plages de la variable.

Le H+T index ne permet pas seulement de s'informer sur les coûts de transport et d'habitation, toute une série de variables peuvent être cartographiées. La liste des choix disponibles est présentée dans le Tableau 2.1.

Tableau 2.1 Indicateurs présents dans le H+T Index

Catégorie	Variables
Indices d'abordabilité	Coûts du Logement + Transport % Revenu Coûts du logement % Revenu Coûts de transport % Revenu
Outputs du modèle des ménages	Voitures par foyer VMT annuels par ménage Achalandage du transport en commun % de travailleurs Coût de transport annuel Coût annuel de possession d'une voiture Coût annuel du VMT Coût des TC annuel Déplacements annuels en transport en commun
GES issues de l'utilisation domestique de l'automobile	GES annuels par ménage GES annuels par acre
Scores composites des quartiers (0-10)	Quartier compact (basé sur la densité et la marchabilité) Accès à l'emploi Performance AllTransit (basé sur la dépendance à l'auto et l'accès aux transport en commun)
Caractéristiques environnementales	Densité résidentielle 2010 Densité brute des ménages Pourcentage de ménages unifamiliaux isolés Intensité régionale des ménages Indice d'accès à l'emploi Indice de composition de l'emploi (0-100) Indice de connectivité du transport en commun (0-100) Aire accessible en transport en commun Emplois accessibles en 30 minutes en transport en commun Trajets en TC disponibles par semaine Périmètre moyen des îlots Taille moyenne des îlots Densité d'intersections
Caractéristiques du ménage	Revenu annuel médian des ménages Taille moyenne des ménages Navetteurs moyens par ménage
Coûts de logement	Coût mensuel moyen du logement Coût mensuel médian des propriétaires avec hypothèque Loyer mensuel brut médian Pourcentage d'unités de logement occupées par un propriétaire Pourcentage d'unité de logement occupée par un locataire

Le site propose aussi un outil « Fiche d'information H+T » qui regroupe les données de l'indice H+T pour une zone géographique donnée (à partir de la municipalité) et fournit des statistiques et des informations dans un format facile à imprimer ou à partager. La fiche comprend un résumé des

informations et des statistiques, ainsi que toutes les variables de l'index, agrégées à la zone géographique choisie. L'outil « Coût total de la conduite » met en évidence le fait que le coût de l'essence ne représente qu'une fraction du coût total de la conduite. La majorité des coûts sont dus à la possession et à l'entretien d'un véhicule. L'outil « Total Driving Costs » permet aux utilisateurs de modifier le prix de l'essence pour voir l'impact sur les coûts globaux de transport et l'accessibilité financière de différents lieux. Il utilise la même interface cartographique que la carte de l'indice H+T. La légende décompose le coût total de l'automobile en coût de possession de la voiture et en coût de l'essence et indique si les coûts correspondent au budget de transport recommandé pour un ménage. L'outil « Cartes de comparaison » permet de comparer deux zones géographiques sur les mêmes indicateurs. Cet outil utilise la même interface cartographique que la carte de l'indice H+T et propose les mêmes niveaux de précision géographique que ce dernier.

2.2.1.3 Abogo

Abogo (*Abogo: transportation costs made transparent*, s. d.) est un outil permettant de découvrir comment le transport affecte les dépenses et la durabilité de l'endroit où les ménages vivent, grâce aux estimations des coûts de transport et des émissions de CO₂ du « H + T affordability index ». L'outil calcule combien un ménage typique dépenserait et émettrait de CO₂ pour le transport, selon une adresse résidentielle précise. Ces données sont disponibles pour toute adresse aux États-Unis et au niveau régional. Il est possible de faire varier le prix du carburant pour mesurer son impact sur les dépenses en transport des ménages. L'outil cartographie également les dépenses de transports au niveau de l'îlot résidentiel pour tout le pays.

2.2.2 Les outils personnalisables

La même méthode de recherche d'outil est d'analyse de leur fonctionnement a été employée pour les outils de calcul de coût résidentiel personnalisables. Leur description est présentée dans les paragraphes suivants.

2.2.2.1 E-mob

C'est Epures, l'agence d'urbanisme de la région stéphanoise, qui a développé la méthodologie et l'outil en ligne e-mob (e-mob.fr). Ce calculateur est destiné aux ménages de l'agglomération de Saint-Etienne, et la démarche proposée se concentre sur les "taux d'efforts financiers" consentis par les ménages pour leur recherche de logement et leur mobilité quotidienne. Cet outil se sert de

plusieurs bases de données importantes pour fournir ces résultats, notamment des données sur l'énergie du CEREN (Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie) et sur les caractéristiques des logements de l'INSEE (Institut national de la statistique et des études économiques) pour estimer la consommation moyenne d'un logement pour chaque îlot statistique, mais aussi sur des modèles de calcul comme le modèle COPERT 4 (Computer programme to calculate emissions from road transport) qui estime les émissions et la consommation kilométrique des véhicules en fonction du type de route, de la cylindrée, du carburant et de l'année de construction (Caubel, 2017).

Tableau 2.2 Données utilisées par le calculateur de coûts E-mob

Données renseignées par le ménage	Résultats intermédiaires proposés par le calculateur et modifiables par l'utilisateur
• Ménage : ○ Taille ○ Nombre d'enfants à charge ○ Nombre de personnes possédant le permis de conduire ○ Nombre de véhicules possédés ○ Revenu mensuel de chaque actif • Logement : ○ Adresse ○ Propriétaire OU locataire ○ Appartement OU maison individuelle ○ Surface habitable ○ Période de construction ○ Energie du chauffage ○ Mensualités ○ Montant annuel des impôts locaux • Véhicules possédés : ○ Marque, modèle, année, version ○ Période d'achat ○ Coût mensuel de stationnement au lieu de résidence • Déplacements pour chaque actif : ○ Motif « travail » ou « autre » ○ Coordonnées du lieu de travail ○ Véhicule utilisé pour le trajet domicile-travail ○ Nombre d'AR par semaine ○ Coût abonnement TC mensuel ○ Coût mensuel de stationnement sur le lieu de travail	- Coûts chauffage - Coûts eau chaude sanitaire - Coûts autres - Coût total Energie - Consommation énergétique annuelle - Coût d'achat - Coût d'entretien annuel - Coût d'assurance annuel - Distance du trajet quotidien - Temps passé dans les TC - Consommation annuelle de carburant - Coût annuel du trajet - Dégagements de CO₂, Nox et Pm10

Comme résultats finaux, ce calculateur propose une synthèse des coûts annualisés de logement, de déplacements en voiture, de possession de véhicule(s), d'abonnements aux TC et d'impôts. Il indique en outre les émissions annuelles de CO₂, oxyde d'azote (Nox) et particules fines (Pm10). Un graphique pie-chart des coûts permet au ménage de visualiser la répartition de ses dépenses par

rapport à son revenu total. Enfin, le calculateur offre aussi un indicateur de vulnérabilité, par rapport à la part du revenu allouée aux transports, et la possibilité de voir l'impact d'une variation du prix des carburant sur le budget transport.

Une autre fonctionnalité de cet outil est qu'il peut servir à comparer deux scénarios. En effet un onglet « Mon projet » permet aux utilisateurs de modifier certaines données de sa situation actuelle (par exemple un changement de localisation résidentielle, un changement de lieu de travail, l'abandon d'un véhicule...) afin de comparer ces deux situations. La comparaison se fait sur la base des deux pie-chart de bilans budgétaires et un graphique en bâtons représentant le temps annuel passé en voiture et dans les TC dans les deux scénarios.

2.2.2.2 MobiCost Moreco Distancier

MobiCost Moreco Distancier (*MORECO Tool for settlement assessment*, s. d.) est un outil développé pour les communes de Voreppe, Tullins et Moirans, dans la Région Rhône-Alpes, qui fournit une estimation des coûts et des émissions de CO₂ liés aux déplacements quotidiens pour caractériser un projet immobilier.

L'utilisateur doit indiquer la commune devant accueillir le projet en fonction du lieu de résidence, ainsi que les distances entre l'adresse prévue du logement et les différents services (écoles, pharmacie, cabinet médical, commerces alimentaire et zones de loisirs), et la présence de dénivelés pour se rendre à ces différents endroits. Cela signifie que c'est à l'utilisateur de définir tous les lieux et les distances de trajet, ce qui peut s'avérer long et fastidieux mais aussi représenter une difficulté pour les ménages ne possédant pas les outils et les connaissances nécessaires. L'utilisateur doit ensuite renseigner la distance du futur logement à l'arrêt de bus le plus proche et la fréquence de passage qui lui est associée, ainsi que la présence d'une gare ferroviaire, la distance au pôle local et au pôle d'emploi les plus proches, la présence d'une connexion aux modes doux et le niveau d'attractivité de ces modes. La sélection de la commune permet de remplir les caractéristiques de la structure urbaine, qui restent cependant modifiables par l'utilisateur.

Les résultats prennent la forme d'un tableau indiquant la distance annuelle susceptible d'être parcourue par un ménage moyen résidant sur le site de projet, ainsi que la distance parcourue en voiture et les émissions de CO₂ annuelles correspondantes. Un pie-chart illustre les parts modales de la région qui sont comparées à celles susceptibles d'être associées au site de projet. Un indicateur

de la qualité des transports en commun et un schéma représentant la proximité géographique des différents services au site de projet sont également affichés (Prinz & Allard, 2014).

2.2.2.3 MobiCost

Le Simulateur MobiCost (*Mobicost*, s. d.) est un outil commandé par la Région Rhône-Alpes dans le cadre du projet MORECO (MObility and RESidential COsts) qui s'inscrit dans le programme européen Interreg Espace Alpin. L'objectif de ce calculateur est de donner des renseignements aux ménages sur le kilométrage, la durée de déplacement, le coût monétaire et les émissions de CO₂ liés à leurs déplacements domicile-travail. Cet outil est destiné aux ménages résidant dans la vallée du Grésivaudan, et la précision géographique de la localisation résidentielle est celle de la commune. Afin de fournir ces résultats, le calculateur MobiCost se sert des informations fournies par différentes sources : les enquêtes transport déplacement de l'Insee/Inrets, les données tarifaires de Sncf Mobilité et des différents exploitants de transport en commun urbain (Transisère, Belle Savoie Express, Stac, Tag, Tac, Sibra, Ctav), les prix des péages (Aprr, Vinci autoroutes, Sftrf, Atmb), les frais kilométriques de Tcs.ch (touring club suisse), les émissions de CO₂ par mode de transport de l'Ademe, etc. (Allard et al., 2014; Bonne, 2018).

Tableau 2.3 Données utilisées par le calculateur de coûts MobiCost

Données renseignées par le ménage	Résultats intermédiaires proposés par le calculateur et modifiables par l'utilisateur
- Commune de résidence - Nombre d'actifs navetteur avec pour chaque actif : - Nombre moyen d'aller-retour hebdomadaire en voiture au pôle de service - Commune du lieu de travail - Nombre hebdomadaire d'aller-retour domicile-travail - Heures auxquelles des déplacements domicile-travail (heures pleines/creuses) - Possession d'un abonnement autoroutier - Mode de transport pour le trajet domicile-travail - Transport en commun interurbain privilégié - Mode privilégié pour se rendre du lieu de domicile ou de travail à l'arrêt de TC interurbain le plus proche - Véhicule possédé (prix d'achat neuf et kilométrage annuel pour les loisirs) - Nombre d'enfants non-mobiles - Revenu mensuel - Surface habitable du logement - Coût mensuel du logement	Commune du pôle de service le plus proche et sa distance à la commune de résidence Gare TER la plus proche de la commune de résidence et celle la plus proche du lieu de travail avec la durée du trajet gare à gare (s'il existe) Arrêt de car interurbain le plus proche de la commune de résidence et celui le plus proche du lieu de travail avec la durée du trajet arrêt à arrêt (s'il existe) Coûts de l'abonnement TC mensuel Prix du Carburant (1,3 par défaut)

Les résultats se présentent sous la forme de deux scénarios proposés à chaque actif (membre du ménage travaillant à plein-temps ou à mi-temps) : un scénario pour lequel les déplacements domicile-travail se font intégralement en voiture et un scénario où le navetteur emprunte les transports publics pour se rendre sur son lieu de travail (ce scénario est proposé seulement si un tel trajet en transport en commun existe). Pour chaque scénario, des informations sont données sur le

kilométrage quotidien pour se rendre sur le lieu de travail, le temps de trajet par jour, le coût monétaire mensuel (qui intègre coût/km moyen du véhicule et éventuellement le(s) abonnement(s) de transport en commun) et les émissions annuelles de CO₂ liées au transport. Une fois un scénario choisi par chaque actif (100% voiture ou intermodalité), le calculateur résume le kilométrage annuel du ménage, le coût annuel alloué aux déplacements domicile-travail, ainsi que la part du revenu allouée au transport.

2.2.2.4 Moreco

Moreco (*Calculatrice domestique MORECO/ASTUS 2.0*, s. d.) est l'outil de calcul de coût de logement et de mobilité pour la province de Salzburg.

Tableau 2.4 Données utilisées par le calculateur de coûts Moreco

Données renseignées par le ménage	Résultats intermédiaires proposés par le calculateur et modifiables par l'utilisateur
- Logement : - Adresse - Location OU Achat - Mensualités (très détaillées dans le cas d'un propriétaire) - Coûts d'exploitation - Véhicules possédés : - Type de voiture (petite/moyenne/grande/moto) - Déplacements : - Motif - Adresse - Mode emprunté - Nombre d'AR par semaine	Nom et temps de marche des principaux services à moins de 15min à pied (épicerie, école, installation sportive, pharmacie, garderie, médecin, aire de jeux) Centre-ville le plus proche avec temps de trajet en TC et en auto Qualité des transports publics (faible/moyenne/forte) Temps de marche à l'arrêt de TC et à la gare les plus proches, avec intervalle de départ le matin et graphique du nombre de départ par heure de la journée Itinéraires domicile-centres d'intérêt Coût de possession mensuels Temps de trajet Montant mensuel de l'abonnement TC Emissions de CO2 pour la fabrication, l'élimination et la conduite des véhicules

Les résultats affichés par le calculateur synthétisent, au niveau mensuel ou annuel selon les préférences de l'utilisateur, les coûts liés au logement (mensualité et coûts d'exploitation) et ceux liés à la mobilité (abonnements de TC et coûts d'utilisation et de possession de véhicules), ainsi que le kilométrage parcouru en voiture, le temps passé dans les transports/ à se déplacer et les émissions de CO₂ générées par la conduite.

Tout comme l'outil e-mob, le calculateur Moreco pour la province de Salzburg offre à l'utilisateur la possibilité de comparer plusieurs localisations résidentielles. Il lui suffit de renseigner une nouvelle adresse de domicile et de sélectionner les modes souhaités pour réaliser les différents déplacements, ensuite tous les résultats sont affichés côte-à-côte afin de pouvoir comparer facilement les deux situations. La présence d'un graphique en barre offre une représentation visuelle des coûts totaux et de la part du budget allouée à la voiture, aux TC et au logement dans les différents scénarios.

2.2.2.5 NaWo

Ce projet est né avec l'objectif d'encourager le choix d'un lieu d'habitation durable grâce à un outil d'aide à la décision axée sur les effets du lieu d'habitation sur la mobilité quotidienne. Le calculateur en ligne NaWo (<http://bayern.wowohnen.eu/>) a été développé dans le cadre du projet "Choix durable des lieux d'habitation" et mis à disposition dans la grande région de Munich ainsi que dans la province autrichienne du Tyrol. Cet outil s'inspire du "calculateur des coûts de logement et de mobilité" mis en œuvre à Hambourg en 2009 (Tischler & Mailer, 2016a).

Tableau 2.5 Données utilisées par le calculateur de coûts NaWo

Données renseignées par le ménage	Résultats intermédiaires proposés par le calculateur et modifiables par l'utilisateur
• Ménage : ○ Taille ○ Nombre d'enfants à charge • Logement : ○ Adresse ○ Locataire OU propriétaire ○ Surface habitable ○ Appartement OU maison individuelle OU DHH OU RH ○ Neuf OU Ancien • Nombre de véhicules possédés • Déplacements : ○ Motif ○ Adresse ○ Mode emprunté ○ Nombre d'AR par semaine	Loyer mensuel/prix d'achat Frais annexes (électricité, chauffage, taxes) Émissions CO2 de chauffage, d'appareils électroménagers et d'eau chaude Comparaison avec le taux de possession du quartier Coûts de possession d'une voiture Nombre de voitures et nombre d'abonnements TC nécessaires à la mobilité du ménage Kilométrage en voiture pour conduire quelqu'un, pour le magasinage et pour les loisirs Coût d'utilisation d'une voiture (distinction motif travail et autres motifs) Frais de transport en commun Émissions CO2 d'utilisation de la voiture (distinction motif travail et autres motifs) Émissions CO2 TC (distinction motif travail et autres motifs)

Comme résultats finaux, l'outil NaWo propose une synthèse des coûts mensualisés de logement (mensualités et frais annexes), de déplacements en voiture (avec une distinction entre le motif travail et les autres motifs), de possession de véhicule(s), d'abonnements aux TC et indique aussi les économies réalisées grâce aux indemnités de déplacement. Il indique en outre les émissions mensuelles de CO₂ générées par le logement et le transport, et contrairement à tous les autres calculateurs, ces émissions sont comparées aux objectifs du protocole de Kyoto, ce qui permet au

ménage d'avoir une idée sur la façon dont il peut mieux gérer son quotidien afin de minimiser son impact. Le temps passé par chaque actif à se déplacer pour se rendre sur son lieu de travail est aussi indiqué en heures par mois. Enfin, le calculateur présente une carte qui liste tous les arrêts de TC, les écoles, les épiceries, les centres de santé et les zones de loisirs accessibles à pied et à vélo depuis le domicile, avec des informations sur la distance au domicile et les horaires d'ouverture.

NaWo permet aussi à l'utilisateur de comparer plusieurs localisations résidentielles : il lui suffit de rentrer une nouvelle adresse, les autres données restant enregistrées. Grâce à des bar-charts l'outil permet de comparer différents projets en termes de coût et d'émissions de CO₂ liés au logement et au transport, ainsi que les temps de trajets domicile-travail, les distances parcourues en voiture, et les dépenses liées aux trajets d'accompagnement, de magasinage et pour les loisirs. Il est aussi possible de visualiser la carte listant tous les services accessibles à pied et à vélo pour les différentes localisations.

L'étude des calculateurs réalisée jusqu'alors amène à penser que l'outil NaWo est le plus élaboré et précis de ceux listés dans ce chapitre. L'utilisateur a en effet peu d'informations à renseigner mais obtient beaucoup d'informations sur les coûts résidentiels, les émissions de CO₂, ses habitudes de mobilité, l'offre de services, etc. Le mode expert demande plus de temps à l'utilisateur pour compléter toutes les données nécessaires (caractéristiques des véhicules possédés, type de chauffage, normes d'isolation, consommation mensuelle d'électricité, type d'abonnement de TC...) mais permet une analyse encore plus fine et plus précise de sa situation en termes de coûts et d'émissions.

2.2.2.6 Calculateur Mobilité de Wallonie

Le calculateur Mobilité (*Calculateur Mobilité*, s. d.), développé par le service public Wallonie mobilité, est un outil en ligne qui s'adresse aux habitants de la Wallonie, étant donné que les données utilisées sont propres à cette zone géographique. Une nouvelle version de ce calculateur est en construction. Ce calculateur ne prend pas en compte les dépenses de logement, uniquement celle des déplacements domicile-travail.

Tableau 2.6 Données utilisées par le calculateur de coût Calculateur Mobilité de Wallonie

Données renseignées par le ménage • Actif : ○ Travail à temps plein OU mi-temps OU 4/5 temps ○ Nombre de jours de télétravail par semaine • Logement : ○ Distance entre le domicile et le lieu de travail • Véhicules possédés ○ Type de carburant ○ Consommation • Déplacement domicile-travail : ○ Modes utilisés ○ Type d'abonnement aux TC ○ Montant mensuel de l'indemnité déplacement versée par l'entreprise

Le calculateur Mobilité propose comme résultats, une comparaison entre la situation de l'utilisateur et un scénario où la voiture est le seul mode emprunté. Les coûts annuels du transport (hors frais fixes), les indemnités patronales, les émissions de CO₂ et la consommation d'énergie (en litre équivalent pétrole) sont affichés pour les deux situations. Le calculateur résume aussi les économies financières réalisées sur l'année (en distinguant le fait de garder sa voiture ou de s'en séparer), ainsi que les émissions et la consommation d'énergie évitées.

2.2.2.7 MSP Housing + Transportation Cost Calculator

Accessible en ligne depuis 2012, le calculateur « MSP Housing + Transportation Cost » (<http://apps.cnt.org/msp/introduction.php>) s'adresse aux ménages de 13 villes aux Etats-Unis, et est issu du « H+T affordability Index ». Le renseignement de l'adresse du ménage permet tout de suite à ce dernier d'accéder à des caractéristiques pertinentes sur le quartier : taille du ménage, nombre de travailleurs, revenu annuel, nombre de voitures, déplacements en transport en commun

par jour, dépenses en logement et transport, etc. Il lui est ensuite possible de modifier ces caractéristiques afin d'avoir accès à un bilan personnalisé qui reflète la situation de son ménage.

Tableau 2.7 Données utilisées par le calculateur de coûts MSP Housing + Transportation

Données renseignées par le ménage	Résultats intermédiaires proposés par le calculateur et modifiables par l'utilisateur
• Ménage : ○ Taille ○ Nombre d'actifs ○ Revenu annuel • Logement : ○ Adresse ○ Locataire OU propriétaire • Nombre de véhicules possédés • Déplacements domicile-travail : ○ Adresse du lieu de travail	Coût annuel du logement Kilométrage annuel Prix du carburant Consommation de carburant Durée du trajet domicile-travail en auto Coût mensuel de l'utilisation des TC Nombre de trajets quotidiens en TC

Les résultats du calculateur se présentent sous la forme d'un tableau qui récapitule les informations renseignées par le ménage et estime les montants annuels liés au logement, à la mobilité et la part que ces deux dépenses représentent sur le revenu du ménage. Le calculateur fournit aussi quatre indicateurs (à cinq niveaux, de « Very small » à « Very high ») : la connectivité des TC, la densité résidentielle, l'accessibilité à l'emploi et la taille moyenne des îlots résidentiels. L'outil ne sert pas seulement de calculateur, il est aussi utile pour comparer différents scénarios. Le ménage peut en effet voir l'impact d'une relocalisation, d'un nouvel emploi, d'un changement de revenu, d'achat ou de vente d'une automobile, ou d'une volonté d'un report modal de l'automobile vers les transports publics.

CHAPITRE 3 DÉMARCHE DU TRAVAIL DE RECHERCHE

Le présent travail de recherche s'inscrit dans la continuité des premiers travaux sur l'abordabilité intégrée des localisations résidentielles menés par la Chaire Mobilité de Polytechnique Montréal.

La revue de la littérature a permis de retracer l'émergence de la notion de coût résidentiel et d'abordabilité intégrée, ainsi que les différents sujets d'étude qui découlent de ces notions. De nombreuses études s'attachent à caractériser la façon dont les ménages choisissent leur lieu de résidence, la compréhension des facteurs pouvant influencer sur des décisions futures plus durables, mais peu de travaux s'intéressent au contexte actuel postpandémique. De plus le cas de Montréal est peu mentionné. Concernant les dépenses liées au logement et au transport quotidien découlant de la localisation résidentielle, différentes études ont été menées afin d'étudier les interactions entre ces deux postes de dépenses, ainsi que leur évolution au fil des années. Cependant, les analyses sont généralement menées sur des territoires vastes, et l'influence de la localisation précise du logement n'est pas étudiée. Enfin, la revue de la littérature a permis de mettre en lumière le manque d'outils de communication de l'impact des choix résidentiels des ménages au Canada.

Par conséquent, ce mémoire vise à combler certaines lacunes de la littérature, et s'inscrit également dans le vaste projet mené par la Chaire Mobilité sur l'abordabilité intégrée transport-habitation à Montréal, dans une perspective de durabilité des choix de résidence et d'équité sociale.

Pour répondre aux objectifs spécifiques de ce projet, présentés en introduction, la démarche méthodologique générale s'est articulée autour de trois aspects.

Tout d'abord, afin de répondre aux deux premiers objectifs spécifiques et de caractériser le phénomène de relocalisation résidentielle à Montréal, qui soulève de nombreuses questions quant à l'accessibilité financière et à la qualité de vie des ménages, une étude sur la volonté de relocalisation a été menée. Les données utilisées pour cette étude sont les résultats des enquêtes COVID-19 de la Chaire Mobilité de Polytechnique, menées en 2020 et 2021 à Montréal. Le but est de caractériser le phénomène de relocalisation résidentielle potentielle en examinant premièrement les caractéristiques des ménages qui souhaitent se relocaliser, grâce à la méthode d'apprentissage par arbre de décision, puis en étudiant les raisons qui motivent cette volonté, d'après les méthodes employées dans le domaine de l'apprentissage des règles d'association dans un ensemble de données.

Deuxièmement, pour répondre aux objectifs spécifiques trois et quatre, ce sont les données de l'Enquête sur les Dépenses des Ménages (EDM) qui ont été choisies. Cette base de données contient en effet des informations précieuses sur les ménages, leur logement et leur localisation. Un modèle de choix a été appliqué à ces données afin d'étudier l'influence des caractéristiques des ménages et de leur logement sur la répartition du budget aux dépenses de transport et d'habitation, ainsi que les interactions existantes entre les différents postes de dépenses. Ce modèle permet par la suite de fournir des prédictions sur l'évolution de la répartition des dépenses au fil du temps, et en réponses à différentes politiques ou événements.

Pour répondre aux objectifs mentionnés précédemment (un, deux, trois et quatre), les mesures de proximité développées par Statistique Canada ont plusieurs fois été employées. En effet, l'étude du phénomène de relocalisation et celle de la répartition des dépenses s'intéressent à la localisation précise des ménages, au niveau de l'aire de diffusion. La zone d'étude étant la RMR de Montréal, il est nécessaire de caractériser les différentes aires de diffusion. Statistique Canada a publié une base de données qui contient 10 mesures de proximité à différents services (emploi, épicerie, pharmacies, établissements de soin de santé, garderies, établissements d'enseignement primaire, établissements d'enseignement secondaire, transport en commun, parcs, bibliothèques), calculées au niveau de l'îlot de diffusion. Ces mesures sont présentées sous forme de valeurs normalisées au niveau national, variant sur une échelle de 0 à 1, 0 indiquant la plus faible proximité et 1 la plus forte proximité au Canada.

Finalement, afin de répondre aux objectifs cinq et six, la méthode employée consiste en une étude des calculateurs de coût résidentiel personnalisables accessibles en ligne et/ou avec une documentation disponible, suivi d'une analyse des forces et faiblesses des outils les plus pertinents pour le projet. La mise en évidence des forces des outils permet par la suite de dresser un cahier des charges pour un calculateur spécifique à la zone d'étude de ce projet, la RMR de Montréal. La liste des bases de données nécessaires au bon fonctionnement d'un tel outil est ensuite présentée.

La méthodologie générale du travail de recherche est résumée dans la Figure 3-1.

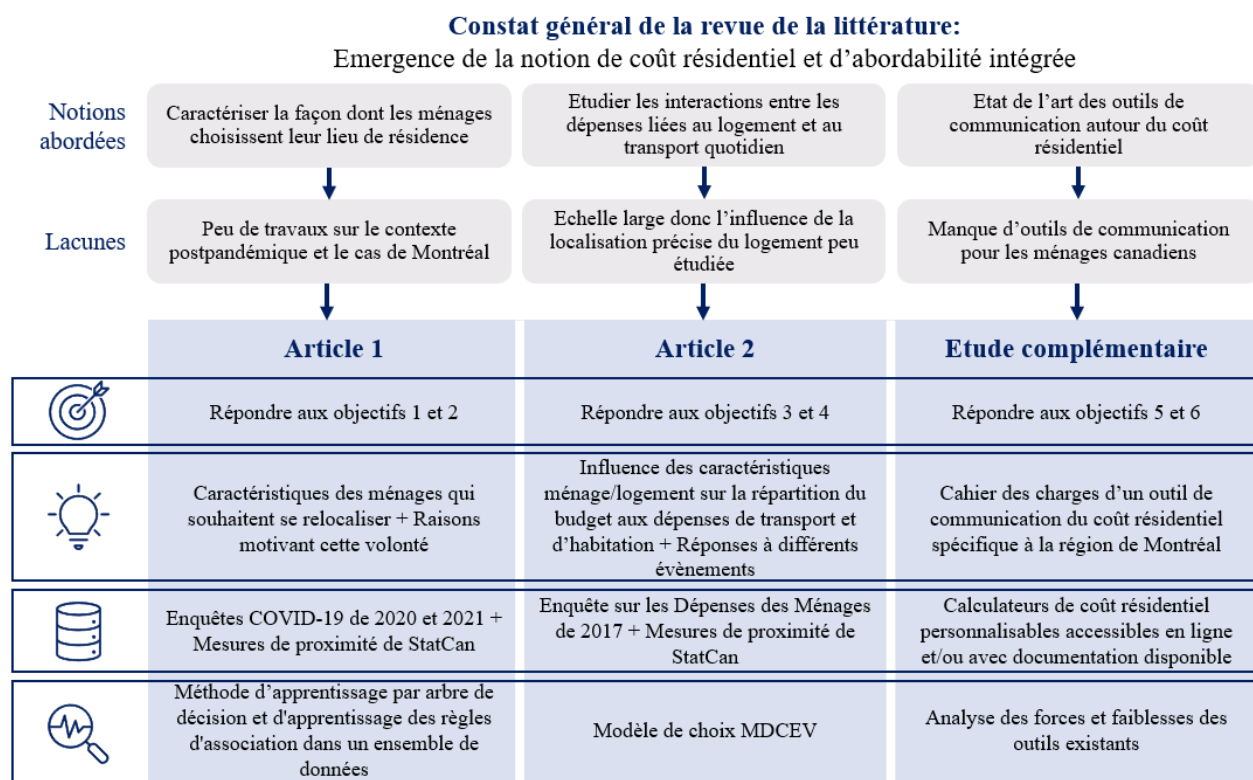


Figure 3-1 Méthologie générale du travail de recherche

Le chapitre suivant présente l'article 1 intitulé *Analyzing the characteristics of the residential relocation phenomenon through the willingness of households to move*. Ensuite, le CHAPITRE 5 présente l'article 2 intitulé *Forecast for Transport and Housing Expenditure in the Montreal CMA*. Le CHAPITRE 6 expose la conception d'un outil de calcul de coût résidentiel spécifique à la RMR de Montréal.

CHAPITRE 4 ARTICLE 1: ANALYZING THE CHARACTERISTICS OF THE RESIDENTIAL RELOCATION PHENOMENON THROUGH THE WILLINGNESS OF HOUSEHOLDS TO MOVE

Mathilde Zanolini, Catherine Morency

Soumis pour publication dans *Transportation Research Procedia : World Conference on
Transport Research 2023*

Date de soumission initiale : 1 décembre 2022

Abstract

To face the challenges of reducing the footprint of daily travel, a sustainable solution for cities could be to propose strategies that affect the spatiotemporal structure of travel, by addressing residential location. Understanding how households choose where to live is therefore essential to help politicians and planners encourage people to select their place of residence more wisely in relation to their travel needs. This research aims to define the characteristics of households willing to move, and to examine the reasons given for this choice, using data from two Montreal CMA-wide surveys on changes in habits caused by the Covid-19 pandemic. Results show that the household typology has a strong influence on relocation reflection, with young couple households having a lower probability of wanting to stay in their housing than other household types. Proximity to services in the area of residence is also found to have a strong impact on willingness to relocate, good proximity to secondary education and employment fostering the desire to relocate, and good proximity to groceries supporting staying in current housing. Results show that getting closer to nature is the most common reason why households want to relocate.

4.1 Introduction

For several decades, and even more so in recent years due to the Covid-19 pandemic, the phenomenon of urban sprawl has been increasing. Households are leaving city centers to move to the suburbs where land prices are generally more affordable. According to Allard et al.(2014) , this remoteness results in an increase in travel distances and dependence on the automobile, generating significant transportation costs. In this context, cities face the challenges of reducing the footprint of daily travel, and the solutions that often arise focus on reducing car dependence, which amounts to trying to change the way trips are made. However, it would also be possible, and perhaps more

sustainable, for these municipalities to propose strategies to generate changes that affect the spatio-temporal structure of travel. One such structural change is the choice of residence since it is well known that location is one of the main drivers of travel behaviour. For Morency & Verreault (2020), understanding how households choose their place of residence is therefore essential in order to help politicians and planners propose strategies that encourage people to select their place of residence more wisely in relation to their travel needs.

This research aims to determine how households' choices about their residential location are articulated. It aims to define the characteristics of households that express a desire to move, and to examine the reasons given for this choice. It uses data from two Montreal CMA-wide surveys on changes in habits caused by the Covid-19 pandemic, to develop typologies of households wishing to relocate. The 2020 and 2021 COVID-19 surveys, which collect data from more than 2,000 households, are used in conjunction with proximity variables developed by Statistics Canada to segment households into types, while controlling for location-related characteristics. This paper first presents some results of studies on the households' choice to relocate and the key factors influencing this decision. The methodology used in this study is then detailed. The characteristics of households wishing to relocate, as well as the reasons expressed to justify this choice are then presented as results. A conclusion, some limitations and perspectives follow.

4.2 Background

A significant portion of the literature focuses on modeling and describing residential location choice behavior. However, the study of factors influencing the decision to move or not is not as extensive and would benefit from further research.

Several categories of factors influence the choice of whether to change residence. The first category is household demographic and socioeconomic factors. Household structure is an important factor (Kortum et al., 2012; Lee & Waddell, 2010; Vandersmissen et al., 2009). Households composed of younger adults have a higher probability of moving than those composed of older adults (Clark, 2013; Kortum et al., 2012; Lee & Waddell, 2010; Rashidi et al., 2011). Kortum et al. (2012) observe that households with children are more likely to move, which they attribute to the fact that these households are at a stage in their life cycle when they are actively looking for attractive housing and neighborhoods in which to settle permanently. These findings are not shared by all authors, however. Several authors have found that the number of children strongly decreases the likelihood

of moving (Clark, 2013; Vandersmissen et al., 2009), as does the addition of a new member to the household (Rashidi et al., 2011). The number of workers in the household is also a factor influencing the decision to relocate (Kortum et al., 2012; Lee & Waddell, 2010; Yu Jianhui et al., 2015). Household income also influences residential mobility, with an increase in household income leading to a greater propensity to move (De Groot et al., 2011; Kortum et al., 2012).

Housing characteristics are a second category of attributes influencing the likelihood of relocation, with tenure being the most important determinant (Clark, 2013; De Groot et al., 2011; Lee & Waddell, 2010; Rashidi et al., 2011; Vandersmissen et al., 2009; Yi & Lee, 2014; Yu Jianhui et al., 2015). Indeed, De Groot et al. (2011) have shown that renters are about twice as likely to move as homeowners. Housing price is also an important factor on the choice to move (Kortum et al., 2012; Lee & Waddell, 2010).

Regarding residential location characteristics, Rashidi et al. (2011) focus on commuting distance and show that it positively influences the likelihood of moving, as relocation can reduce these daily distances and thus reduce transportation expenditures and time spent commuting. Conversely, Vandersmissen et al. (2009) observe that a large distance between home and work is poorly correlated with an increase in the probability of moving, which they attribute to the low importance households place on reducing commuting distances. Rashidi et al. (2011) find that households residing in TAZs, where there are more real estate, leasing, and rental jobs, are more likely to relocate. Kortum et al. (2012) find that households considering proximity to work or family and friends as the main reason for choosing a place to live are more likely to move than others, as opposed to those who consider neighborhood quality as very important.

As for the reasons for choosing to move, various studies have identified trends that are common to all households and others that are specific to certain types of households. For example, older people appear to value proximity to family and friends and to shopping (Dittrich-Wesbuer & Osterhage, 2008; L. Wang et al., 2022). Younger couples with children tend to purchase homes, particularly in neighborhoods with lower public facility density and higher diversity scores (Lee & Waddell, 2010; L. Wang et al., 2022). These results are consistent with those of Dittrich-Wesbuer and Osterhage (2008), who show that environmental criteria (child-friendliness, green and open space, accessibility to care and education) are the primary considerations of households with children. Neighborhood composition and accessibility are also important factors in choosing where to live

(Lee & Waddell, 2010; F. Wang et al., 2020; Yi & Kim, 2018; Yi & Lee, 2014). A household will be attracted to a home with better job accessibility than the one in which it is currently staying (Lee & Waddell, 2010; Yi & Kim, 2018). Population density, school density, accessibility to public transportation, and accessibility to hospitals in a census tract have significant positive effects on its attractiveness (L. Wang et al., 2022). Although according to some studies moving closer to one's workplace is considered an important attribute examined by the household in evaluating different alternatives (Hunt, 2010; Rashidi & Mohammadian, 2011; Yi & Lee, 2014), it seems that in general, in their relocation process, households prioritize factors such as larger housing units, in greener neighborhoods, and closer to services over reducing commuting time and costs (Smith & Olaru, 2011).

When we look at the models developed to explain and understand how the choices made during the relocation process are articulated, we observe a great diversity of approaches. Eluru et al. (2009) tested three models to investigate the reasons and timing of residential relocation in Zurich: an ordered independent multinomial (OIM) model (simple multinomial logit model for reason for relocation and an independent clustered response model for length of stay), an ordered independent random multinomial (IRMO) model (multinomial logit model with random coefficients for the reason for the move and an independent random coefficient clustered response model for the length of stay), and a correlated random multinomial ordered (CRMO) model (multinomial logit model with random coefficients for the reason for the move and a clustered response model with correlated random coefficients for the length of stay). A likelihood ratio test shows that the CRMO model provides significantly better goodness of fit at all significance levels. Yi and Kim (2018), who studied residential moving distances, show that the decision tree regression model has better explanatory power performance than the ordinary least squares regression model. The moving distances estimated by decision tree are also more realistic. Finally, this method exposes not only the diversity of structures that determine distances, but also the key features that form these diverse structures. To better understand the interdependencies between the choice to move and the reasons for that choice, Kortum et al. (2012) formulated a bivariate multinomial probit choice model to jointly model the decision to move/stay and the main reasons for that decision. Such a system effectively treats the main reasons for residential location choice as endogenous to the choice to relocate. To estimate the impact of life cycle stages and other independent variables on the annual

probability of moving, De Groot et al. (2011) use two logistic regression models, one for households that do not intend to move and one for those that do intend to move.

Regarding the variables used to model the relocation phenomenon in the various previous works, the choices generally involve variables related to the individual characteristics of the respondent (age, gender and employment/education status), household characteristics (household size, household type, household income, and vehicle ownership), as well as commuting characteristics (mode of travel and commuting distance) and characteristics of the origin and destination location (accessibility, density, proportion of new construction, proportion of homeowners, rail and bus availability) (Eluru et al., 2009; Yi & Kim, 2018). Because household composition and needs change over time, several studies have categorized the households studied by type to assess the impact of life cycle and family structure on willingness to move (Clark, 2013; Hunt, 2010; Lee & Waddell, 2010; F. Wang et al., 2020; Yi & Lee, 2014).

4.3 General methodology

4.3.1 Data and variables

In 2020 and 2021, the Mobility Chair of Polytechnique Montreal conducted a survey in the Montreal CMA on the changes in habits caused by the Covid-19 pandemic. The questionnaire includes questions on household characteristics (household size, motorization, income, address), on housing (type of dwelling, type of property/rental), on the persons composing the household (gender, age, occupation, possession of a driver's license), on the impacts of the pandemic on travel habits (motorization, online shopping, travel and use of modes of transportation) and on the reflexion on the place and type of residence. It is on this last point that the study focuses. Indeed, the data offer useful and important insights on the impact of the pandemic on household location choice behaviour.

Because the survey was shared on social networks, the resulting response sample is an opportunistic sample. The sample collected in 2020 includes 1620 households, while the 2021 sample has 936 respondents. In the study, these two samples were combined to form an aggregated sample of 2539 observations. Non-qualitative observations for our study were removed and a variable containing the survey year information was created.

The household typologies used in this study (Clark, 2013; Hunt, 2010; Lee & Waddell, 2010; F. Wang et al., 2020; Yi & Lee, 2014) were developed by Fabre (2018) using data from Montreal household surveys. This typology includes eight distinct household types that are mutually exclusive types. It is based on the structure of the household and the socio-demographic characteristics of its members. The variables used in the process are the average age, age range and size of the household, as well as the number of children under 12 years of age and the number of people aged 75 years and over. The eight household types and their characteristics are presented in Table 4.1.

Table 4.1 Household Type Description and Sample

Household description	type	% of total sample		Household average							
				Size		Age		Number of children under 12		Number of 75 years and older	
				2020 and 2021 COVID-19 survey	2018's OD survey	2020 and 2021 COVID-19 survey	2018's OD survey	2020 and 2021 COVID-19 survey	2018's OD survey	2020 and 2021 COVID-19 survey	2018's OD survey
Sixty-years old households		16,1	26,2	1,6	1,5	63,4	64,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Multi-generational family		2,7	3,0	4,1	3,8	37,8	39,2	0,7	0,6	0,1	0,1
Young couples		30,0	15,2	1,9	1,6	30,1	30,5	0,0	0,0	0,0	0,0
Adults and seniors		2,3	3,7	2,8	2,6	58,5	59,6	0,0	0,0	0,2	0,3
Retired		2,6	14,5	1,6	1,4	75,0	78,4	0,0	0,0	0,5	0,6
Very young families		21,2	14,3	4,0	3,9	23,3	22,9	1,5	1,5	0,0	0,0
Fifty-years old households		12,2	11,5	1,4	1,5	48,2	49,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Young families		12,9	11,7	3,4	3,2	36,8	37,4	0,1	0,1	0,0	0,0

As this study is based on an opportunistic sample, it seemed important to compare this sample to the more commonly used data in the literature. Thus, the same clustering process was applied to

the Origin-Destination (OD) data (the OD survey is a travel survey conducted every five years in the Greater Montreal area), allowing us to compare the two samples to determine if our sample can be considered representative. The most important differences between the two samples lie in the proportion of each household typology in the total sample. In the COVID-19 survey, "Very young families" and "Young couples" represent 21.2% and 30.0% of the sample, respectively, while they represent only 14.3% and 15.2% in the travel survey. Conversely, households in their sixties and retired people are underrepresented in our sample. This under-representation of older households seems logical since the COVID-19 survey was conducted only via Internet. Considering such differences, our sample cannot be considered representative. However, the under-represented categories are categories of households that should have lower residential mobility than others, so the results of our study can still be used to explain the residential mobility of young households.

In order to characterize the respondents' residential location (Eluru et al., 2009; Yi & Kim, 2018), we used Statistics Canada's proximity measurement work. Statistics Canada (2020) has published a database that contains 10 proximity measures. Each measure is based on a gravity model that considers the distance between a reference dissemination block (DB) and all DBs in which the service is located (at a given distance) and the size of the services. These measures are presented as nationally normalized values, varying on a scale of 0 to 1, with 0 indicating the lowest proximity and 1 the highest proximity in Canada. The descriptive analysis of the ten proximity variables used is presented in Table 4.2.

Table 4.2 Descriptive analysis of proximity variables

	Minimum	1 st Quartile	Median	Mean	3 rd Quartile	Maximum	NA's
Employment	0.0000	0.0300	0.1020	0.1183	0.1975	0.5999	1
Pharma	0.0051	0.0255	0.0667	0.0913	0.1310	0.5010	466
Childcare	0.0010	0.1197	0.2534	0.2800	0.4120	0.9574	62
Healthcare	0.0000	0.0067	0.0246	0.0401	0.0598	0.4044	37
Grocery	0.0070	0.0509	0.1238	0.1677	0.2380	0.7903	656
Primary education	0.0074	0.0880	0.2015	0.2286	0.3435	0.8364	313
Secondary education	0.0095	0.0514	0.1013	0.1192	0.1608	0.7387	1022
Library	0.0300	0.0635	0.1020	0.1227	0.1526	0.7685	1154
Parks	0.0050	0.0465	0.0846	0.1167	0.1371	0.9831	175
Transit	0.0001	0.0124	0.0314	0.03476	0.0488	0.2139	137

To make the study of the impact of these proximity variables on the willingness of households to relocate more explicit, we have chosen in our model to normalize these variables at the level of the Montreal CMA. The new statistical analysis is presented in Table 4.3.

Table 4.3 Descriptive analysis of proximity variables standardized at the Montreal CMA level

	Mean	Minimum	1 st Quartile	Median	3 rd Quartile	Maximum
Employment	0.20	0.00	0.05	0.17	0.33	1.00
Pharma	0.17	0.00	0.04	0.12	0.25	1.00
Childcare	0.29	0.00	0.12	0.26	0.43	1.00
Healthcare	0.10	0.00	0.02	0.06	0.15	1.00
Grocery	0.21	0.00	0.06	0.15	0.29	1.00
Primary education	0.27	0.00	0.10	0.23	0.41	1.00
Secondary education	0.15	0.00	0.06	0.13	0.21	1.00
Libraries	0.13	0.00	0.05	0.10	0.17	1.00
Parks	0.11	0.00	0.04	0.08	0.14	1.00
Transit	0.16	0.00	0.06	0.15	0.23	1.00

A summary of the variables used in our study is presented in the Table 4.4.

Table 4.4 Summary of variables used in our models

	Variable	Data Type	Descriptive analysis		Description
Dependent	Plan to move	Binary	Move :	35.5% (889)	The household responded “yes” or “no” to the question : “Does the pandemic and the different confinement periods make you think about your home location and your type of residence ?”.
			Stay :	64.5% (1613)	
Independent	Year 2020	Binary	Year 2020 :	63.2% (1582)	The observation is from the 2020 survey, as opposed to the 2021 survey
			Year 2021 :	36.8% (920)	
	Typology of household	Categorical	See Table. 1		The eight typologies of household developed by Fabre
	Household car ownership	Continuous	Minimum :	0.0	The number of personal cars possessed by family members.
			1 st Quartile :	0.0	
			Median :	1.0	
			Mean :	1.1	
			3 rd Quartile :	2.0	
			Max :	7.0	
	Number of driving licenses	Continuous	Minimum :	0.0	The number of driver's licenses held by persons in the household
			1 st Quartile :	1.0	
			Median :	2.0	
			Mean :	1.8	
			3 rd Quartile :	2.0	
Independent	Owner	Binary	Owner :	60.4% (1510)	The household owns the dwelling as opposed to a household that rents its dwelling.
			Tenant :	39.6% (992)	
	Dwelling type	Binary	Condominium :	40.0% (1002)	The type of dwelling the household lives in
			Plex :	14.7% (367)	
			Row town house :	6.4% (161)	
			Semi-detached house :	8.2% (204)	
			Single-detached house :	29.7% (743)	
			Other :	0.7% (17)	
			Don't know :	0.3% (8)	
	Annual income	Categorical	Less than 30,000CAD :	7.8% (194)	The annual income of the household
			Between 30,000 and 60,000 CAD :	13.4% (336)	
			Between 60,000 and 90,000 CAD :	17.3% (434)	
			Between 90,000 and 120,000 CAD :	14.5% (362)	
			Between 120,000 and 150,000 CAD :	10.5% (262)	
			Between 150,000 and 180,000 CAD :	7.1% (178)	
			Between 180,000 and 210,000 CAD :	5.4% (136)	
			More than 210,000 CAD :	6.3% (157)	
Independent	Proximity measures to services	Continuous	Don't know :	1.7% (43)	The proximity index developed by Statistic Canada
			Refusal :	6.5% (162)	
			NA's :	9.5% (238)	
			See Table. 3		

4.3.2 Analysis method

Although the design of a joint model of the willingness to relocate and the reasons influencing this choice is quite relevant when focusing on the relocation phenomenon (Eluru et al., 2009; Kortum et al., 2012), two separate studies were chosen. Joint modeling of the decision to move/stay and the main reason for that decision indeed allows treating the reasons as endogenous to the choice to relocate (Kortum et al., 2012), but in our case, the reasons are present only for the 889 households considering relocating, the question on the reasons not being asked to the households that answered that they did not wish to relocate. Analyzing separately the decision to move or not and then the reasons for choosing to relocate allows, first, to keep a large number of observations and not to neglect the study of the characteristics that influence the fact of wanting to stay in one's current dwelling. In the second stage, only households wishing to relocate are studied, which makes it possible to highlight trends within this particular group.

The method chosen to analyze the correlations between the explanatory variables and the variable on willingness to move is decision tree regression (Yi & Kim, 2018). A decision tree is a systematic data mining method that creates a set of leaves and branches based on segmentation rules. The goal of the study is to identify the characteristics of households and their residences that are most determinant of willingness to relocate but also to reveal combinations of variables relevant to the study of these choices. Decision trees were chosen because generally they produce results that are easy to explain and provide a visualization capability that supports the interpretation of the model's decisions (Rudd & Priestley, 2017). Another advantage of this method is that it allows for both continuous and categorical variables, the latter being common in our study. Furthermore, this method exposes not only the diversity of structures that influence the decision to relocate, but also the key characteristics that form these diverse structures (Yi & Kim, 2018).

In this study, the recursive partitioning decision tree method is used, using the `rpart()` function in R software. This function constructs a tree that minimizes the Gini impurity index, while checking three stopping criteria: a split can only be attempted if the current node contains at least 20 observations and the resulting nodes have at least 7 observations and the overall Gini index improves by `c_p`, the complexity parameter. The impurity of a decision tree node is defined as follows:

$$Gini(node) = 1 - p_{Stay}^2 - p_{Move}^2$$

The Gini impurity index of a tree is derived from the impurity of each node:

$$Gini(tree) = \sum_{each\ node} \frac{number\ of\ observations\ in\ the\ node}{number\ of\ observations\ in\ the\ tree} * Gini(node)$$

The `rpart()` function also allows to measure, for all the parameters of complexity c_p , and thanks to the cross-validation, the predictive performances of the corresponding trees (i.e. the proportion of observations for which the predicted choice does not correspond to the observed choice). The model with the smallest c_p is therefore the one that generates the largest number of splits, and consequently the largest number of leaves in the tree. To reconcile the predictive power and the relevance of the model results, we chose to retain the largest tree for which the relative cross-validated error is less than the sum of the standard error and the relative cross-validated error of the c_p with the lowest relative cross-validated error. This sum is represented by a dotted line on the graphs of the predictive performance of the tested trees (Foley, s. d.).

Once the best model has been selected, the results are analyzed based on the decision tree's visualization and measures of the importance of each of the variables included in the model. Indeed, the importance of the variables is measured by the overall improvement in the Gini index produced by the nodes in which it appears, in contrast to the decisions to split the tree, which are made based on impurity. Thus, the variables at the nodes are not necessarily the most important variables for the full model.

The part of the study that focuses on the reasons for wanting to move is based on a method of exploring sets of frequent items and learning association rules using Python software. The Apriori algorithm (2021), present in the `mlxtend` (machine learning extension) library of Python, works by identifying the frequent individual elements encountered in the database and extends them to larger and larger sets of elements, provided that the frequency of appearance of these combinations of elements is sufficiently important.

4.4 Results

4.4.1 Willingness to relocate

In order to get an estimate of the distribution of households wishing to relocate within the Montreal CMA, we mapped the rate of respondents expressing a desire to relocate. Responses were

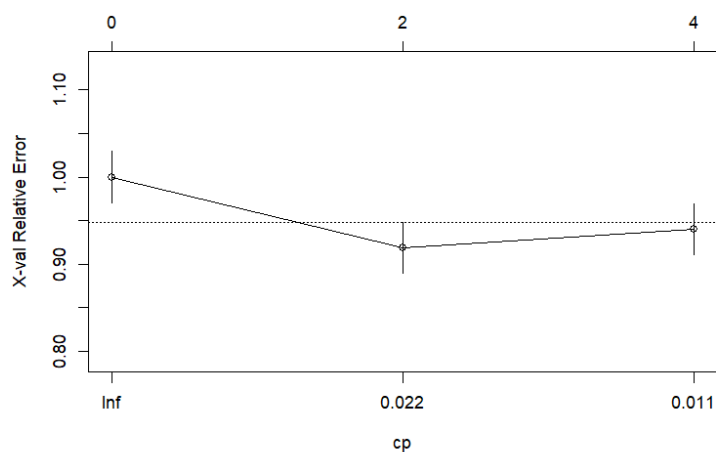


Figure 4-2. Relative cross-validated error of a first decision tree as a function of the cp and the number of divisions

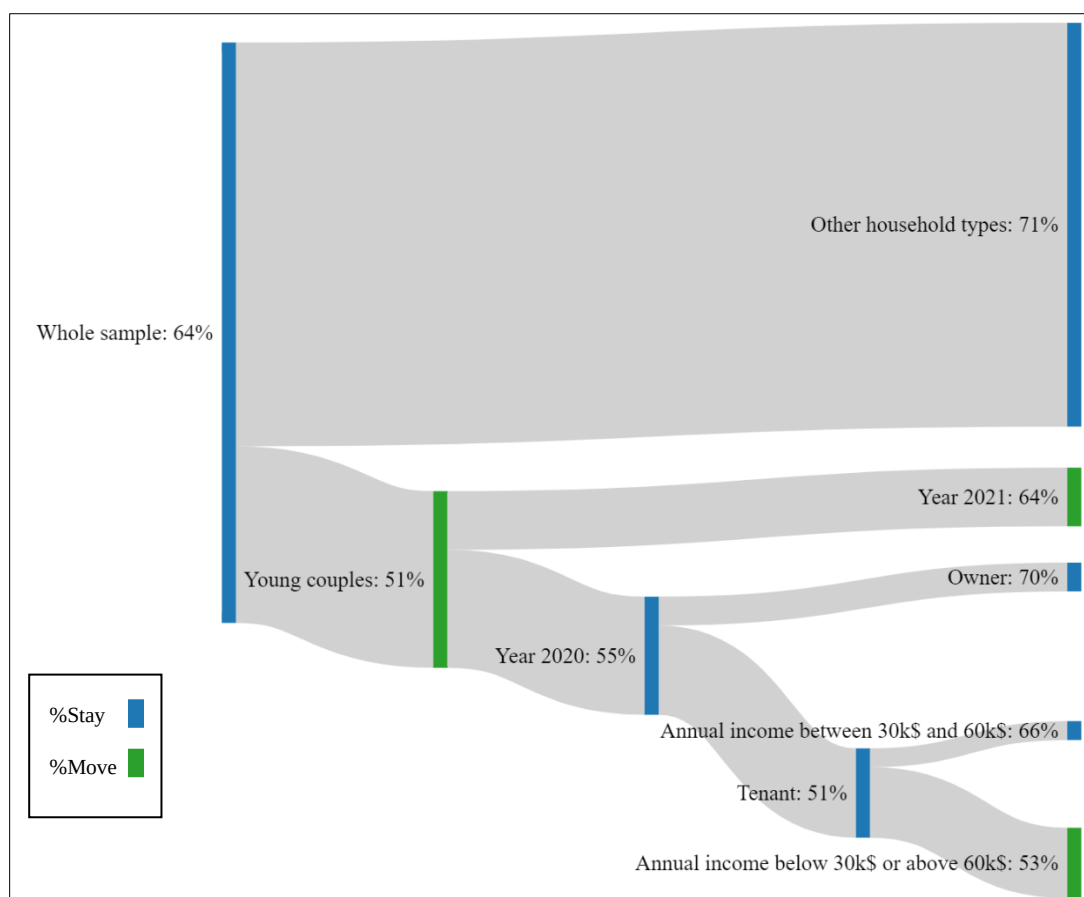


Figure 4-3. Decision tree on households' willingness to move

Figure 4-3 shows the decision tree on willingness to move for households responding to the 2020 and 2021 surveys. At the top, the main node groups 100% of the sample of respondents. The first

variable that separates this population is household type. For “Young Couples” households, two groups are then formed: 2021 respondents and 2020 respondents. The latter are then distinguished by their type of housing ownership (owner or renter). Finally, the group of renters is separated into two parts: households with annual incomes between 30,000 and 60,000 CAD and those with incomes below 30,000CAD or above 60,000CAD. This decision tree is thus composed of five "leaves".

- Households other than “Young couples” (1392 households) who have a 71% probability of remaining in their current house;
- Young couples who responded to the survey in 2021 (202 households) who have a 64% probability of moving;
- Young couples who responded to the survey in 2020 and who currently own their home (99 households), who have a 70% probability of staying;
- Young couples' responding to the 2020 survey who are renting and earning between 30,000 and 60,000 CAD per year (65 households) who are 66% more likely to stay in their current home;
- Young couples' responding to the 2020 survey, living in rentals and earning less than CAD 30,000 or more than CAD 60,000 per year (243 households) who have a 53% probability of moving.

The importance of the variables is presented in Table 4.5

Table 4.5 Level of importance of decision tree variables on willingness to move

Variable	Young couples	Owner	Year 2020	Income between 30,000 and	Number of cars	Proximity to employment	Condominium	Proximity to childcare	Single-detached house
Importance	52 51,49%	16 15,84%	13 12,87%	6 5,94%	5 4,95%	4 3,96%	3 2,97%	1 0,99%	1 0,99%

In the light of the importance of the household type and size of the non-“Young couple” group, it seems appropriate to run a decision tree regression for this group to determine which variables

explain this type of households' willingness to move. The database used for this new regression is composed of 1754 observations. The presented decision tree has three divisions, with a satisfactory relative error rate, as can be seen in Figure 4-4.

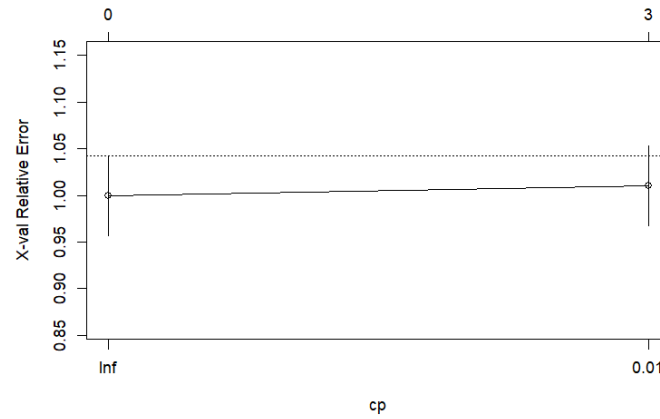


Figure 4-4. Relative cross-validated error of a second decision tree as a function of the cp and the number of divisions

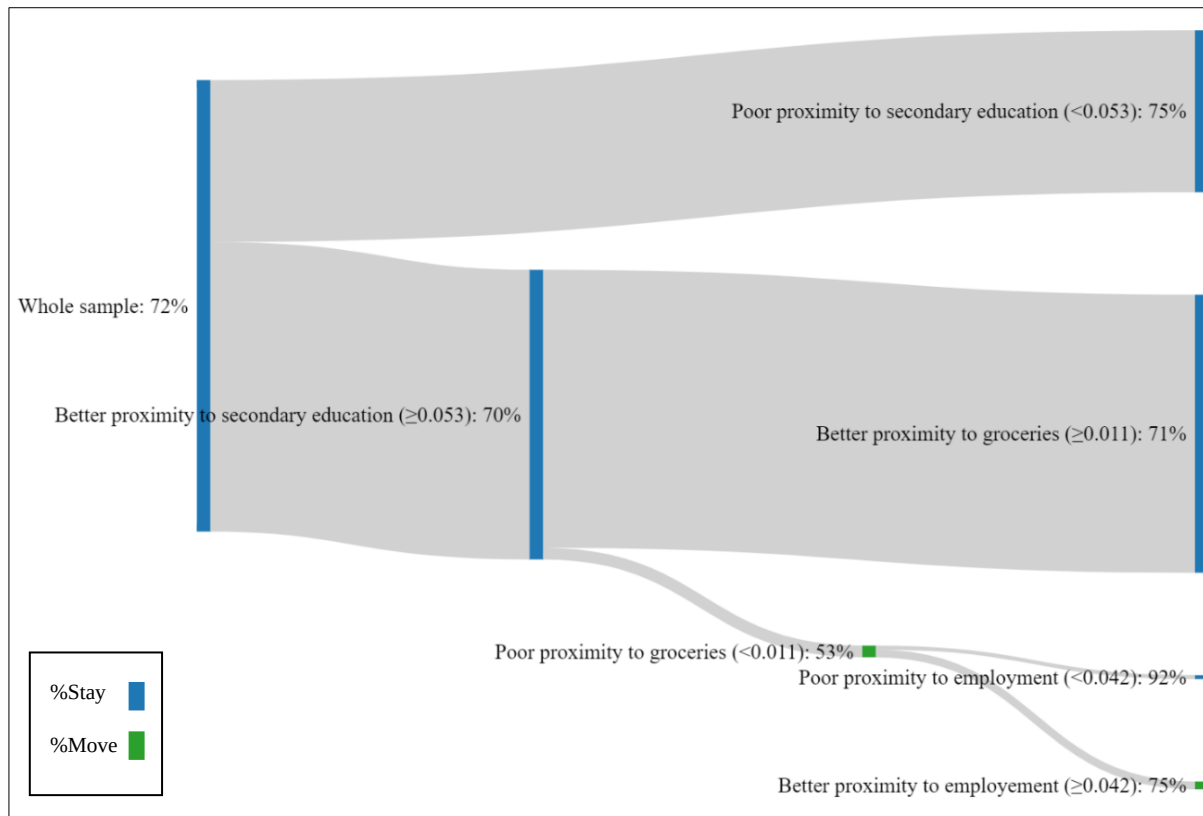


Figure 4-5. Decision tree on willingness to move of households other than "Young couples"

Figure 4-5 illustrates the decision tree on willingness to move for this sub-sample. The first variable that separates the sample of respondents is proximity to secondary schools. Two groups are formed: households domiciled in a census tract with a proximity index to secondary schools below 0.053 and those with better proximity. The households with the best proximity are then separated into two groups by their proximity to supermarkets. The group with poor proximity to supermarkets (below 0.011) is then split into two groups by proximity to employment. This tree is thus composed of four "leaves" that identify four types of households:

- Households located in a diffusion block with proximity to high schools <0.053 (503 households) who have a 75% probability of remaining in their current housing;
- Households located in a diffusion block with proximity to high schools ≥ 0.053 and proximity to supermarkets ≥ 0.011 (864 households), who have a 71% probability of remaining in their current housing;

- Households located in a diffusion block with proximity to high schools ≥ 0.053 , proximity to supermarkets < 0.011 , and proximity to employment < 0.042 (12 households), who have a 92% probability of remaining in their current housing;
- Households located in a diffusion block with proximity to high schools ≥ 0.053 , proximity to supermarkets < 0.011 , and proximity to employment ≥ 0.042 (24 households), who have a 75% probability of moving.

Since simple observation of the tree does not really determine which variables have the most influence on willingness to move, the importance of the variables is presented in Table 4.6

Table 4.6 Importance of variables on willingness to move for households other than “Young couples”

Variable	Proximity to employment	Proximity to groceries	Proximity to secondary education	Proximity to healthcare	Proximity to transit	Proximity to primary education
Importance	34 34,34%	21 21,21%	17 17,17%	11 11,11%	11 11,11%	5 5,05%

Only the residential environment variables are important in the willingness of households to relocate. In Table 6, we see that proximity to employment is the most important variable. We also observe the importance of proximity to healthcare, primary schools and transit, variables that are not present in the decision tree.

4.4.2 Reasons for wanting to relocate

In the survey, each respondent who indicated that he or she was considering moving was asked to select the reasons for that consideration. The reasons suggested were: become a homeowner, become a renter, move closer to friends and family, move closer to nature, move closer to school and shops, move closer to public transportation, move closer to work, larger home, larger lot, limit common areas, reduce expenses, reduce housing costs, reduce number of rooms, reduce commuting costs, smaller home and “other”. The occurrence of selection of each of the listed responses is presented in Figure 4-6.

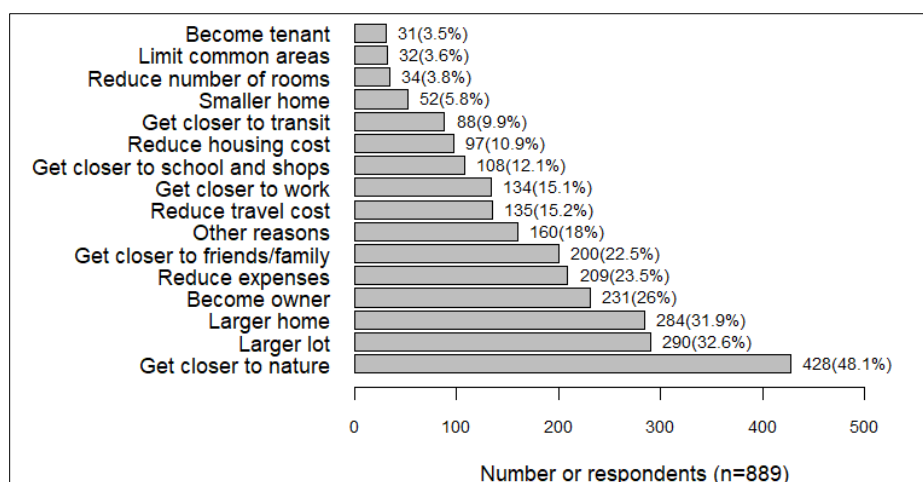


Figure 4-6 Occurrence of reasons to move

Since almost half of the sample of respondents selected the reason "Get closer to nature", it seemed interesting to study the characteristics that differentiate households that selected this reason from those that did not (Table 4.7).

Table 4.7 Comparison of household characteristics according to whether they selected the "Get closer to nature" reason

		Selected "Get closer to nature" (% of the sample)	Did not select "Get closer to nature" (% of the sample)
Household motorization	Motorised :	69.2	65.3
	Non-motorised :	30.8	34.7
Owner	Owner :	49.3	48.2
	Tenant :	50.7	51.8
Type of dwelling	Condominium :	50.7	48.2
	Plex :	13.6	14.5
	Row town house :	6.1	6.5
	Semi-detached house :	7.9	5.9
	Single-detached house :	20.3	23.9
	Other :	1.4	1.1
Year	2020 :	61.0	55.1
	2021 :	39.0	44.9
Type of household	Sixty-years old households :	10,3	9,8
	Multi-generational family :	2,3	1,7
	Young couples :	42,3	44,3
	Adults and seniors :	1,6	2,2
	Retired :	0,9	2,6
	Very young families :	20,6	17,8
	Fifty-years old households :	11,0	10,4
	Young families :	11,0	11,1

Households that selected "Get closer to nature" as one of the proposed reasons are overall more motorized than those that did not select this reason. Another important difference between these two samples is the proportion of "Very young families" households, this type being more represented among households considering proximity to nature. Conversely, "Young couples" household give less importance to proximity to nature than other household types in their relocation process. Households living in condominiums are more likely to select this reason than households living in houses. These observations seem to describe a type of household that considers closeness to nature important: families with children, already owning one or more vehicles and living in apartments or attached houses with no, or less, space than households living in single-detached houses, which generally have their own yard. We also note that there are significantly more people who selected this reason in 2020 than in 2021. This could be explained by the fact in the study area (Montreal), that the 2020 lockdown was more restrictive than the 2021 lockdown, and therefore people were perhaps more sensitive to being close to open spaces during these strict confinement periods.

Since each respondent could select any number of responses, it seemed important to observe the number of reasons selected by each. The number of reasons selected by respondents in this survey is presented in Figure. 4-7. Number of reasons selected by the respondents. Note that one respondent selected all 16 reasons, but because some of them are contradictory ("Get a smaller home" and "Get a larger home"), we chose to remove this observation from the data set.

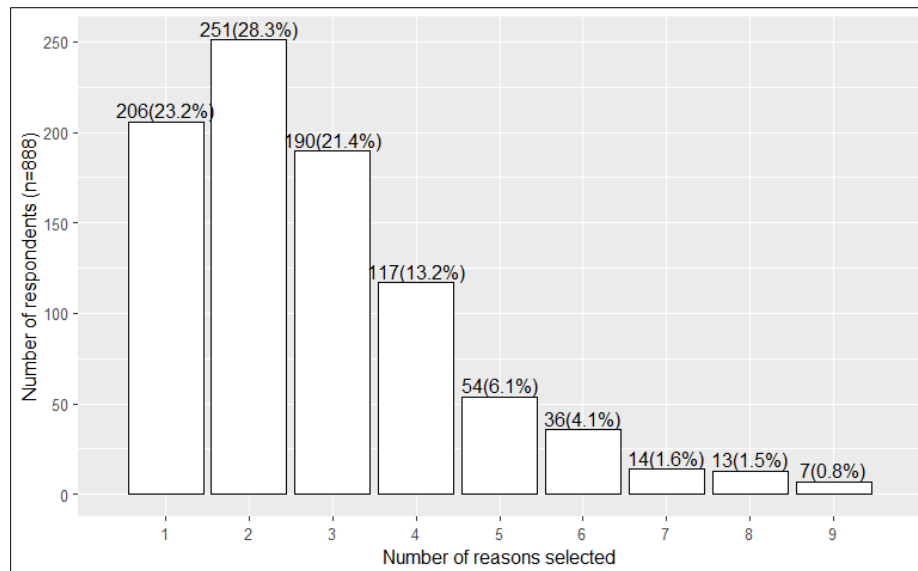


Figure. 4-7. Number of reasons selected by the respondents

The large number of respondents who selected one, two or three responses allowed us to study which reasons are often selected together. The Apriori algorithm allowed us to obtain the results presented in Table 4.8.

Table 4.8 Occurrence of combinations of reasons, depending on the number of responses selected

Number of reasons selected	Most frequent reason or combination of reasons	Frequency of response
1 (n=206)	Get closer to nature	28,6% (n=59)
	Larger home	17,5% (n=36)
	Become owner	14,6% (n=30)
2 (n=251)	Get closer to nature & Larger lot	12,0% (n=30)
	Get closer to nature & Other	9,2% (n=23)
	Larger home & Larger lot	6,0% (n=15)
3 (n=190)	Get closer to nature & Larger lot & Larger home	11,6% (n=22)
	Become owner & Larger lot & Larger home	8,4% (n=16)
	Get closer to nature & Larger lot & Become owner	7,4% (n=14)

We note that the reasons selected together are suggestive of the motives that characterize moves to the suburbs of the city. Access to larger properties in less dense areas is indeed more common when moving away from the city centre. Lower land prices away from downtown also encourage homeownership.

4.5 Conclusion

Before drawing any conclusions from the results presented in this study, it is important to present the limitations of interpretation. The main limitation is the type of sample used. Because the survey was distributed over the Internet, it is an opportunistic sample, and we cannot safely assume that our sample is representative of the Greater Montreal population and that the results are generalizable. However, we believe that the unique data collected during this pandemic period, which disrupted household patterns, allows us to explore the thought process of choosing a new place of residence. In addition, there is a reasonable match between the sample and the Montreal travel survey data. Therefore, the full sample results are considered reasonably accurate indications of household attitudes in the Greater Montreal area. Finally, the results are consistent with the findings of other work on residential relocation process. Although the study has limitations, this adds substantial credibility to the results.

Residential location and household commuting are intrinsic. As large cities face the challenge of reducing the ecological impact of commuting trips, understanding how households' relocation choices are articulated is crucial. This study developed a methodological framework to try to explain how the households' relocation decisions are articulated through a survey of willingness to move conducted during the Covid-19 pandemic. The study of these decisions to move first examined the household characteristics influencing a willingness to move before analysing the reasons supporting that intention.

This study first estimated the characteristics of households wishing to relocate and found that 1) household typology has a strong influence on relocation reflection, with young couple households having a lower probability of wanting to stay in their housing than other household types (49% vs. 71% respectively); 2) proximity to services in the area where households live has a strong impact on willingness to relocate for all household types except young couples, the factors influencing the latter being housing ownership type, survey response year, and income; 3) households (other than "Young Couples") living in areas with good proximity to secondary schools and employment are more likely to want to relocate than households with poorer proximity, while good proximity to grocery stores will support staying in current housing. Overall, the decision tree results are consistent with the high rates of willingness to relocate for the more central and densely urbanized municipal areas highlighted in Figure 4-1.

The study then examined the reasons why households intend to relocate. The conclusions we were able to draw from our database are, first, that getting closer to nature is the most common reason (48.1% of our sample). Households that selected this reason from those available were generally families with children, already owning one or more vehicles, and living in housing types with little or no outdoor space. Proximity to nature is also more considered during periods of very restrictive lockdown, since people were perhaps more sensitive to being close to open spaces during the time they were confined to their homes. This reason is often accompanied by a desire to have access to a larger house or lot and to become a homeowner. These recurring reasons are fairly typical of a relocation to the outskirts of cities, since moving away from the city centre brings one closer to nature and gives one the opportunity to access larger homes with gardens. Access to property is also easier when one moves away from the city centre. Consistent with the findings of the previous section, proximity to services is not a reason for moving, nor is reduced commuting expense. This demonstrates some ignorance of the impact on household budgets of choosing a residential location in an area with poor proximity to services.

The purpose of this article was to determine the factors considered by households when choosing to relocate. The context of the global pandemic has led households to question their mobility habits and their residential location choices. It is also, for municipalities, a period of great change in urban mobility. In the context of a desire by municipalities to slow or even reverse the trend of urban sprawl in order to limit its social and environmental consequences, these findings provide information on the households to be targeted by potential policies. They also highlight the consequences of periods of strict containment that made people realize the importance of access to green and open space. To ensure that this realization does not result in an acceleration of the peri-urbanization phenomenon, communication and information campaigns about the presence of such spaces in the city and the consequences of relocating to the periphery on daily mobility could help guide relocation choices toward a more sustainable model.

Acknowledgements

The authors wish to acknowledge the Mobilité Chair for providing access to the data for research purpose as well as the Mobilité Chair Partners: Ville de Montréal, Société de transport de Montréal (STM), Autorité Régionale de Transport Métropolitain (ARTM), exo and Ministère des Transports du Québec (MTQ).

CHAPITRE 5 ARTICLE 2: FORECAST FOR TRANSPORT AND HOUSING EXPENDITURE IN THE MONTREAL CMA

Mathilde Zanolini, Catherine Morency

Soumis pour publication dans *Transportation Research Board*

Date de soumission initiale : 31 juillet 2023

Abstract

For households to make informed decisions about their residential location choices, considering financial health and reducing daily activity footprints, it is essential to understand how their transportation and housing expenses are articulated, and to identify the trade-offs they make. This study therefore sets out to fill gaps in the literature on the distribution and evolution of household residential expenditures within cities, using the Montreal CMA as a case study. Using data from the 2017 Survey of Household Spending, we examine factors influencing the share of household income allocated to various expenditure items. The methodological framework employed to address this issue is the multiple discrete continuous extreme value model (MDCEV) which considers simultaneous budget allocation to different alternatives and the possibility of zero consumption for certain products. Results show that household socio-demographics, dwelling characteristics, and residential location significantly impact expenditures. Car ownership positively influence housing expenses while negatively influencing vehicle use. The presence of children increases expenditures, especially for vehicle ownership and use. Households living in apartments have lower housing and vehicle expenses. Proximity to public transport greatly reduces car use expenses. Predictions show that in the context of the study, households with good proximity to PT are more prone to situations of vulnerability than those with poor proximity, but that homeownership and rising fuel prices reverse this trend. Good proximity to PT brings higher property values and lower residential costs, since car-dependence strongly increases transport expenses in less accessible areas.

Keywords: residential cost, housing and transportation expenditures, MDCEV

5.1 Introduction

In the context of housing choice, many households primarily consider factors such as price and living qualities when making decisions, often overlooking the influence of location on commuting and "forced" mobility (Schrenk et al., 2012). Typically, a household's residence is perceived as the starting point for daily activities and the destination at the end of the day (Bhat, 2015). Consequently, the location of a household is closely associated with the costs of daily mobility. Opting to move to the suburbs for more affordable properties may prove disadvantageous for households from a financial perspective, as the expenses related to daily commuting escalate (Besselièvre, 2019; Hamidi & Ewing, 2015). Furthermore, households often struggle to fully assess the long-term costs of housing and mobility, leading to a tendency to underestimate the financial implications of their decisions (Cadus, 2013).

This paper aims to shed light on how households allocate their budgets to different categories of expenditures related to transportation and housing. Specifically, we will explore the influence of various factors, including household characteristics, housing attributes, and home location, on this allocation. The hypothesis we seek to substantiate is that, in certain cases, residing in an area with higher housing prices can be advantageous when considering the overall affordability that incorporates transportation costs. To achieve this, we will estimate the expenditures on housing and transport for the same household in different residential locations and endeavour to predict the impacts of their choice of residence in response to various events.

By investigating the interplay between housing, transportation expenses, and various influencing factors, this study seeks to provide valuable insights into the decision-making processes of households in allocating their resources and inform future policies aimed at promoting sustainable and affordable living choices.

5.2 Background

In recent years, several studies have shown that cities such as San Francisco, Boston and New York are among the least affordable US metropolitan areas when housing alone is considered, but that when housing and transportation costs are considered together, these metropolises are among the most affordable (Hickey et al., 2012). Housing in suburban areas far from city centers forces households to add a high vehicle and fuel budget to the housing expenses. Household spending on

transport is 25% higher in the farthest peri-urban periphery than in the city center (Inbakaran & Shin, 2010). Conversely, households living in large urban centers spend more on housing but are much less constrained by the use of private cars (Maresca, 2013). In some regions, household travel costs equal or even exceed housing costs (Bonne & Cauhopé, 2018). Considering these findings, it became necessary to include transportation costs when considering residential affordability. The notion of "residential cost" was thus introduced and defined as the sum of "the cost of housing, including charges, and the cost of mobility according to the type municipality of residence" (Maresca, 2013). Nowadays, housing is considered affordable if the sum of transport and housing costs does not exceed 45% of household income (Hamidi & Ewing, 2015).

Following the introduction of this notion, numerous studies have been carried out to understand how residential costs are articulated around the characteristics of a household, and the type and location of its housing.

Several studies have shown that housing is generally more affordable in suburban areas than near the city center, in areas with high population and employment densities, and those served by rapid public transport (Hamidi & Ewing, 2015; Hawkins & Nurul Habib, 2018; Revington & Townsend, 2016). In addition, households with children and single-person households spend a higher proportion of their income on housing than other household types (Anowar et al., 2018). Housing type also influences housing expenditure, which is higher on average for households living in detached houses (Deka, 2015).

In terms of transportation costs, the proportion of the budget allocated to transportation increases with household size (Hamidi & Ewing, 2015; Pelé et al., 2016). The presence of children also positively influences spending on car ownership, while lower proportions of income are allocated to fuel, vehicle use and public transport (Anowar et al., 2018). Compared to other households, single-person households spend a higher proportion of their income on vehicle use (Anowar et al., 2018). Regarding household motorization, there is a positive association between car ownership and transport costs (Deka, 2015). The proportion of the budget devoted to transport also increases with median household income (Hamidi & Ewing, 2015). Compared to renters, homeowners tend to spend a higher proportion of their income on fuel, but a lower proportion on vehicle purchases and public transport. Similarly, households living in single-family homes spend a smaller proportion of their income on public transport but more on fuel (Anowar et al., 2018). Overall,

transport expenditure is higher for households living in single-family homes (Deka, 2015). Regarding residential location, low population density and accessibility to employment increase the likelihood that a household will have high transport expenditure (Hamidi & Ewing, 2015; Pelé et al., 2016). Conversely, cities with good public transit service generally have lower transportation costs than those focused on the automobile (Hamidi et al., 2016). In general, household travel expenditure increases the further away one is from the city center (Miller et al., 2004). In peri-urban areas, car-related expenditure represents on average 91% of daily mobility expenditure (Pelé et al., 2016). The share of the household budget allocated to the use of public transport tends to decrease with distance from the city center: from 19% in the city center to only 4% in the outer suburbs (Inbakaran & Shin, 2010).

Several studies have also been carried out to shed light on the links between transport and housing costs, and to understand the trade-offs made by households in trying to achieve affordability. Proximity to employment areas, a compact and connected street network, and the presence of good public transport infrastructure are the three main characteristics of a household's residential location that positively influence its resilience (Marshall & Henao, 2015). An increase in an area's compactness score translates into higher housing costs and lower transport expenditure, greater than the rise in housing costs (Hamidi & Ewing, 2015). A higher level of urbanization thus offers greater affordability in terms of combined housing and transport expenditure (Miller et al., 2004). Non-motorized households also make lifestyle-appropriate and financially viable decisions about where to live (Currie & Delbosc, 2009).

In order to study how households allocate their budgets to different expenditure items, particularly transport and housing, several methods are used (Anowar et al., 2018; Deka, 2015; Ferdous et al., 2010; Ma et al., 2019). Deka employs the three-stage least squares method on data from the U.S. Consumer Expenditure Survey, this modelling approach allowing consideration of correlation between errors and endogeneity between housing and transport expenditure (Deka, 2015). Anowar et al. (Anowar et al., 2018) and Ferdous et al. (Ferdous et al., 2010) use the Multiple Extreme Discrete Continuous Value (MDCEV) modelling methodology (Anowar et al., 2018; Ferdous et al., 2010; Ma et al., 2019). This method considers the fact that households choose to allocate their budget to several alternatives simultaneously, while allowing for the possibility of zero consumption of certain products. Ferdous et al. (Ferdous et al., 2010) use the nested version of the MDCEV model (MDCNEV), which captures the correlations between the stochastic utility terms

of the different expenditure categories. Anowar et al. (Anowar et al., 2018) employ the scaled version of MDCEV (SMDCEV) on the Survey of Household Spending's (SHS) data. Another asset of the MDCEV model is that it can also be used to estimate the short- and long-term impacts of an increase in fuel prices on household consumption patterns (Anowar et al., 2018; Ferdous et al., 2010).

This literature review highlights the diversity of studies on the interactions between housing and transport expenses associated with residential location, as well as their evolution over time. However, the analyses are generally conducted on large scale territories, and the influence of the precise location of the dwelling is not studied. This article therefore aims to fill in some of the gaps in the literature by limiting the study to the Montreal CMA and conducting it at the fine level of the dissemination area.

5.3 Methods

5.3.1 Data and variables

Since 1997, Statistics Canada has been conducting a survey on current household spending. The purpose of the Survey of Household Spending (SHS) is to gather detailed information on household spending, as well as information on the annual income of household members, household demographics and certain housing characteristics. Information is gathered through interviews and diaries. These surveys have been carried out since 1997 but the first year for which metadata are available is 1999 and major changes were made for the 2017 version, making it impossible to compare the years prior. Since 2017 these surveys have been carried out every 2 years (Gouvernement du Canada, 2022). Our study will be based on the 2017 SHS, as other years do not present the information required on the precise location of households (the dissemination area where each household resides). As for the study area, it will be limited for this analysis to the Montreal CMA, the objective being to characterize the interactions between housing and transportation spending only within this CMA, at the fine level of the dissemination area. Our disaggregated microdata sample thus includes 236 households sampled at the Montreal CMA level.

The information provided by the SHSs and relevant to this study is not only housing and transport expenditure, but also the characteristics of the dwelling, because of its potential correlation with housing expenditure, and those of the household (size, type, income). Total expenditure on housing is defined in the SHS as follows:

$$\text{Housing cost} = \text{cost}_{\text{tenant}} + \text{cost}_{\text{owner}} + \text{cost}_{\text{utilities}} \quad (5.1)$$

Where tenant expenses ($\text{cost}_{\text{tenant}}$) include annualized rent and other amounts paid to the landlord, owner expenses ($\text{cost}_{\text{owner}}$) include mortgage payments (excluding property taxes and mortgage insurance), repairs and maintenance and property insurance. Utilities expenses ($\text{cost}_{\text{utilities}}$) include water, electricity, fuel and other municipal services for the residence.

Transport costs are defined as follows:

$$\text{Transportation cost} = \text{cost}_{\text{vehicle ownership}} + \text{cost}_{\text{vehicle leasing}} + \text{cost}_{\text{vehicle operating}} + \text{cost}_{\text{PT}} \quad (5.2)$$

Where the vehicle ownership costs ($\text{cost}_{\text{vehicle ownership}}$) include the purchase price of the vehicle, accessories and long-term vehicle leasing costs. Vehicle leasing costs ($\text{cost}_{\text{vehicle leasing}}$) include mileage, insurance, taxes and discount charges. Vehicle operating costs ($\text{cost}_{\text{vehicle operating}}$) include registration, insurance, tires, batteries and other parts and supplies, repairs and maintenance, gasoline and other fuels, security and communication services, parking fees, driver's license fees and other charges. Public transport costs (cost_{PT}) include the use of public transport (bus, metro, streetcar and commuter train), cabs and other local means of transport (carpooling, airport shuttles, limousine service, ferry service and sightseeing and intercity passenger transport). Active modes (cycling and walking) are not taken into account in this calculation, as their weight in daily mobility is considered negligible and it is difficult to associate expenditure with them (Pelé et al., 2016).

The aim of the study is to investigate the impact of a household's precise location on the allocation of its budget to different categories of expenditure. To achieve this, it is necessary to include in the model an independent variable that provides information on the location of the dwelling. The EDM contains a variable on the dissemination area (DA) in which the dwelling is located. Given that there are 6469 DAs in the Montreal CMA, it did not seem appropriate to use this variable as is. Statistics Canada has developed indices of proximity to various services throughout Canada, at the level of the dissemination block (DB). One of these measures is proximity to public transit. This index "measures the proximity of a diffusion island to any source of public transit within a walking distance of 1 km". Indices are standardized across Canada (with 0 indicating the lowest proximity and 1 the highest). For this study, the indices were normalized to the scale of the Montreal CMA,

then a category was assigned to each DB in the CMA, corresponding to each quartile of this normalized index. The 4 categories defined are as follows:

- Poor proximity to CT: $0 \leq \text{proximity measure (PM)} < 0.0046$
- Average proximity to CT: $0.0046 \leq \text{proximity measure (PM)} < 0.0129$
- Good proximity to CT: $0.0129 \leq \text{proximity measure (PM)} < 0.0304$
- Very good proximity to CT: $0.0304 \leq \text{proximity measure (PM)} < 1$

To assign an "average" PT proximity category to each DA, which is made up of several DB, the following process was employed. For each dissemination area (DA):

- Count the number of distinct dissemination block (n_DB)
- Count the number of DBs in each of the four categories (n_DB_poorProx, n_DB_meanProx, n_DB_goodProx, n_DB_verygoodProx).
- Convert the number of DBs in each category into a percentage (prop_DB_poorProx = $n_DB_poorProx/n_DB$, ...)
- Search for the most represented category, i.e. $\max(\text{prop_DB_poorProx}, \text{prop_DB_meanProx}, \text{prop_DB_goodProx}, \text{prop_DB_verygoodProx})$
- Assignment of the most represented category to the DA.

The map shown in Figure 5-1 is obtained by associating a PT proximity category to each dissemination area.

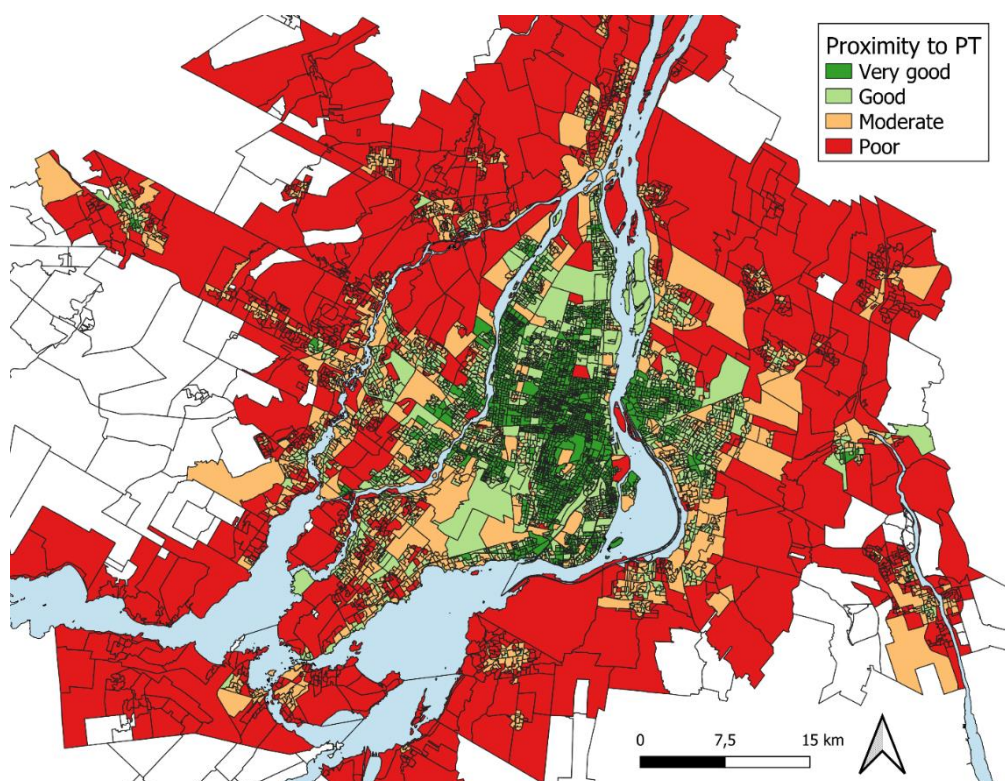


Figure 5-1 Proximity to public transit category for each dissemination area in the Montréal CMA

The variables used in this study to characterize households, their housing and their location are presented in Table 5.1.

Table 5.1 Model variables

Variable		Type of variable	Descriptive statistics		Description
Dependent	Housing	Continuous	1 st quart.: 10,1 Median: 16,5 3 rd quart.: 26,2 Mean: 24,9 % of households with no expenditure: 0,0		The share of total household income allocated to expenses related to owning or renting the primary residence (excluding utilities).
	Utilities	Continuous	1 st quart.: 1,3 Median: 1,9 3 rd quart.: 3,4 Mean: 3,1 % of households with no expenditure: 10,2		The share of total household income allocated to water, electricity, fuel and other municipal services for the residence.
	Vehicle ownership	Continuous	1 st quart.: 2,4 Median: 6,0 3 rd quart.: 12,8 Mean: 14,6 % of households with no expenditure: 66,8		The share of total household income allocated to the purchase of one or more vehicles, accessories, and long-term leasing costs.

Table 5.1 Model variables (suite)

Variable	Type of variable	Descriptive statistics		Description
Vehicle use	Continuous	1 st quart.:	2,5	The share of total household income allocated to vehicle use (includes gas and fuel costs).
		Median:	4,8	
		3 rd quart.:	8,6	
		Mean:	7,2	
		% of households with no expenditure:	9,2	
PT use	Continuous	1 st quart.:	0,4	The share of total household income allocated to the use of public transport (city and suburban bus, metro, streetcar and commuter train).
		Median:	1,0	
		3 rd quart.:	2,1	
		Mean:	2,8	
		% of households with no expenditure:	44,0	
Other expenditures	Continuous	1 st quart.:	29,1	The share of total household income allocated to all the other expenditures.
		Median:	41,5	
		3 rd quart.:	63,2	
		Mean:	53,8	
		% of households with no expenditure:	0,0	
Household size	Categorical	1 person:	31,5%	Number of people in the household.
		2 persons:	32,1%	
		3 persons:	12,6%	
		4 persons and more:	23,9%	
Children	Binary	Yes:	24,3%	Presence of children under 18.
Income	Categorical	Less than 45k:	30,1%	Total household income.
		Between 45 and 75k:	17,8%	
		Between 75 and 120k:	30,1%	
		More than 120k:	22,0%	
Vehicle	Binary	Yes:	80,2%	Whether the household owns (or leases long-term) a vehicle.
Apartment	Binary	Yes:	62,1%	Whether the type of dwelling is an apartment or a house
Tenure	Categorical	Owner with mortgage:	31,3%	Type of occupancy of the dwelling occupied by the household. The "Owner without mortgage" category includes owners who have paid off their home and owners with non-mortgage financing.
		Owner without mortgage:	20,7%	
		Tenant:	47,9%	
Bedroom	Categorical	0 or 1:	18,6%	Number of bedrooms in the dwelling.
		2:	35,5%	
		3:	25,7%	
		4 and more:	20,2%	
Condominium	Binary	Yes:	82,8%	Whether the dwelling is part of a condominium complex.
Repair	Binary	Yes:	36,5%	Whether the dwelling needs repair.
Proximity to PT	Categorical	Poor proximity:	28,0%	Proximity to PT of the dissemination area in which the dwelling is located (used as a proxy for dwelling location).
		Moderate proximity:	16,9%	
		Good proximity:	21,6%	
		Very good proximity:	33,5%	

Independent

A correlation analysis was then performed between the explanatory variables presented above. The chi-square test with a significance level of 5% was used to test the null hypothesis of no relationship between two categorical variables. The "Household size" variable was too strongly correlated with the "PT proximity" variable, which is essential to our model, and was therefore not selected to build the model. Similarly, the "Condominium" and "Repair" variables were removed from the analysis, as they were highly correlated with all the other explanatory variables.

5.3.2 Analysis methods

To explain the influence of the various variables mentioned above on transport and housing expenditure, and to model their evolution following the introduction of various scenarios, the Multiple Extreme Discrete Continuous Value (MDCEV) modeling method was chosen. MDCEV is a resource allocation model based on utility maximization and rests on the assumption that households spend on different types of goods and services to satisfy their needs and desires (Ferdous et al., 2010). It considers the fact that households choose to allocate their budget to several alternatives simultaneously, while also allowing for the possibility of zero consumption of certain products (for example, some households do not own a car and therefore have no expenditure in this category). Using the MDCEV model also enables to estimate the impacts of a variation in certain expenditure items on household consumption patterns (Anowar et al., 2018; Ferdous et al., 2010).

There are two versions of the MDCEV model, which lead to differences in its formulation: with and without outside good. An outside good is an alternative consumed by 100% of the sample. In our case, all households in the sample spend in the "Housing" and in the "Other expenditures" category, so the model used will be the MDCEV model with outside good. Consider the classical (consumer) utility maximization problem, where an individual n must decide which products k to consume from a set of K alternatives, maximizing his utility U whose function takes the following general form (Bhat, 2008):

$$U(x) = \frac{\psi_{out}}{\alpha_{out}} t_{out}^{\alpha_{out}} + \sum_{k=1}^K \frac{\gamma_k}{\alpha_k} \psi_k \left\{ \left(\frac{t_k}{\gamma_k} + 1 \right)^{\alpha_k} - 1 \right\} \quad (5.3)$$

Where:

- ψ_k represents the basic utility
- α_k ($0 < \alpha_k < 1$) accounts for satiation effects (decreasing marginal utility)
- γ_k ($\gamma_k > 0$) is a translation parameter that allows for corner solutions (zero consumption) for alternative k
- t_k is the amount of resources allocated to alternative k
- ψ_{out} represents the basic utility of the external good
- α_{out} represents the satiation effects for the external good
- t_{out} is the quantity of resources allocated to the external good

A rational decision-maker (in our case a household) is assumed to consume a set of alternatives to maximize the random utility function U while respecting the budget constraint under which the amount allocated to each alternative t_k satisfies the condition:

$$T = t_{out} + \sum_{k=1}^K t_k \quad (5.4)$$

With T the total budget (here the total income) (Bhat, 2008).

Although the general definition of the MDCEV model includes the parameters ψ_k , α_k and γ_k for each alternative, Bhat (Bhat, 2008) has shown the existence of problems when estimating α_k and γ_k parameters simultaneously. In the way the utility functions of MDCEV models are defined, only one of these two parameters is estimated. There are four common estimates:

- Alpha: all γ_k are set to 1.
- Gamma: all α_k are set to 0.
- Hybrid: all α_k are set to $\alpha_{out} = \alpha$.
- Hybrid0: all α_k are fixed at $\alpha_{out} = 0$.

In our case, log-likelihood tests were performed following the estimation of each of these four variations of the utility function, and the Gamma version provided the best quality of fit.

5.3.3 Evolution scenarios

To better understand the impact of the choice of place of residence on housing and transportation costs, various plausible scenarios of change have been developed. The estimated MDCEV model will be used to simulate changes in the allocation of household budgets, assumed to be constant, between the categories of housing and transportation, in different situations. It is also interesting to compare these changes for different residential locations. We have chosen to compare households owning a dwelling in an area with poor proximity to public transport with households owning a dwelling in an area with very good proximity to public transport. In this model, it is assumed that there is no change in behaviour following the introduction of scenarios. For example, it is assumed that there is no modal shift when the price of petrol rises; only the allocation of expenditure is affected by this change. In the first scenario we assume that a household has paid off its mortgage and fully owns the property in which it lives. To simulate this situation, we change the "Tenure" variable from "Owner with mortgage" to "Owner without mortgage" and set the housing expenses related to mortgage repayment to 0. This enable us to compare changes in transport costs with those of home ownership. In the second scenario, it is also assumed that the household has finished repaying its mortgage, but we also simulate a rise in fuel prices to study the impact of such a phenomenon on household vulnerability. For this purpose, the share of income allocated to fuel is multiplied by two.

5.4 Results

The results of the model estimation are shown in Table 5.2. The basic constants in the first row are introduced with "Other expenses" as the base category. The satiety parameters (α_k) are all set to 0 since the Gamma specification of the MDCEV model was used in this study. The translation parameters (γ_k) are presented in the third row. A translation parameter γ_k for which there is no value means that alternative k is an outside good (consumed by 100% of households). A high γ_k value implies higher expenditure and lower satiety. The coefficients of the explanatory variables are displayed as a percentage of revenue allocated to each category. A positive (negative) coefficient for a certain variable-category combination means that an increase in the explanatory variable increases (decreases) the probability that a proportion of income will be allocated to this category of expenditure, compared with the base category, "Other expenses" in our case. Only the

coefficients with a statistically significant effect (at the 95% significance level) are presented. The t-statistics for each coefficient are shown in parenthesis below it.

Table 5.2 Estimation Results of the MDCEV model

	Housing	Utilities	Vehicle ownership	Vehicle use	PT use
Baseline constants	3.5 (50.2)	-12.8 (-164.1)	2.3 (116.9)	14 (231.6)	-2 (-72.9)
Satiation parameters α	0 (fixed)	0 (fixed)	0 (fixed)	0 (fixed)	0 (fixed)
Translation parameters γ	-	1.05	1.02	0.98	0.95
Income (Base: $\leq 45k$)					
Between 45 et 75k	4.9 (242.6)	1.4 (105.8)	1.4 (129.8)	-0.9 (-52.5)	1.8 (182.5)
Between 75 et 120k	13.8 (230.4)	5.8 (121.5)	3.3 (252.9)	-7.9 (-260.3)	3.4 (288.2)
>120k	7.8 (107)	2.0 (26.6)	2.4 (196.6)	-3.5 (-65.6)	1.5 (131.9)
Vehicle (Base: No car)	4.0 (161.4)	1.2 (108.7)	1.0 (77.6)	-0.8 (-27.3)	0.6 (36.1)
Children (Base: No children)	1.3 (68.1)	0.8 (67.8)	1.6 (219.9)	2.7 (164.3)	-0.1 (-15)
Apartment (Base: House)	-7.5 (-180.8)	-1.1 (-47)	-3.4 (-320.5)	-1.4 (-40.9)	-1.3 (-113.6)
Tenure (Base : Owner with mortgage)					
Owner without mortgage	3.3 (61)	11.2 (181.4)	2.3 (231.3)	-7.9 (-169.9)	1.2 (125.4)
Tenant	3.9 (80.6)	10.6 (170.3)	1.0 (110)	-10.6 (-292.2)	1.0 (115.7)
Number of bedroom (Base: 0 or 1)					
2 bedrooms	-2.0 (-142.6)	-0.8 (-56.4)	-1.6 (-153.9)	-1.2 (-132.8)	-1.2 (-129.7)
3 bedrooms	1.2 (23.7)	-4.6 (-101.5)	-3.2 (-249)	-3.4 (-125.6)	-0.7 (-60)
4 bedrooms and more	-6.5 (-151.6)	-2.5 (-115.9)	-4.9 (-307)	-3.0 (-70.6)	-0.8 (-54.7)
Proximity to PT (Base: Poor proximity)					
Moderate	-4.5 (-110.3)	4.2 (62.2)	-2.0 (-219.5)	-4.8 (-77.5)	-2.2 (-218.3)
Good	-0.1 (-3.3)	4.4 (65.8)	-0.5 (-55.7)	-7.2 (-118.8)	-0.4 (-37.1)
Very good	-1.3 (-32)	4.5 (66.7)	-1.8 (-172.7)	-7.5 (-122.7)	-1.5 (-145.6)

Household socio-demographics

Income has a particularly strong influence on spending on housing, vehicle ownership and PT use, relative to the average share of income allocated to these expenses. The share of the budget allocated to each expense category increases with income but moving from the "between \$75 and \$120k" income category to the "over \$120k" category results in a slight drop.

Household motorization also has an influence on the five expenditure items, in particular housing and PT use, in relation to the average share of income allocated to these expenses. The fact that housing expenditure increases when the household is motorized can be explained by the fact that, in general, motorized households seek to reside in a dwelling where they have the possibility of parking, and this factor influences the value of the property in which they reside. Unexpectedly, owning at least one vehicle has a negative impact on the proportion of the budget allocated to vehicle use. This could be explained by the fact that non-motorized households who spend in the "vehicle ownership" category are users of services such as carsharing, for which the costs of use are greater than those of a private vehicle, as they also include other costs which in this study are included in the "vehicle ownership" category. The cost of vehicle purchase, for example, is included in the price paid by the customer.

Finally, the presence of children in the household has a positive influence on all expenditure items, except for PT use. In terms of the share of average income allocated to these expenses, we note that the influence of this variable is particularly significant for vehicle ownership and use. Indeed, the presence of children in a household often requires several daily trips to various places of activity (school, daycare, leisure activities...), and the multiplication of these trips can sometimes, even if they are generally short distances, with both parents busy at the same time, require several vehicles.

Dwelling characteristics

As expected, living in an apartment rather than a house has a strong influence on the share of income allocated to housing. On the real estate market, apartments and duplexes are generally less expensive than detached or semi-detached houses. This variable also has a significant negative influence on vehicle ownership and use costs. This can be attributed to the fact that apartments are generally located in more densely populated areas than houses and offer better accessibility. Households living in apartments therefore generally have more options for their daily journeys (public transport, walking, cycling). Trips made using alternatives to the car are generally less costly, and some households are even able get rid of one of their vehicles.

Home ownership strongly influences spending in the "utilities" and "vehicle use" categories. Homeowners without mortgages spend more than homeowners with mortgages on utilities, as do renters. For renters, this increase in utilities spending is offset by an equal decrease in the "car use" category. For homeowners without mortgages, the fall in car expenses is less significant than the rise in utility expenses.

The number of bedrooms, used here as a proxy for dwelling size, has a significant influence on the share of income allocated to housing, relative to the average share of income allocated to these expenses. We note that the share does not necessarily increase with the number of bedrooms. Moving from a studio or one-bedroom apartment to a two-bedroom apartment leads to a drop in the share of income allocated to housing, which may be linked to the fact that low-income households live in the first type of accommodation. Conversely, living in an apartment with four or more bedrooms results in a lower housing share, as such dwellings are generally owned by wealthier households for whom housing is not the only major item of expenditure. This variable also has a significant influence on the weight of vehicle ownership costs, which fall as the number of bedrooms increases. This trend may seem counterintuitive, but it needs to be treated with caution. A high number of bedrooms indicates the presence of several children and/or a high income, suggesting the ownership of large vehicles. The ownership costs associated with these types of vehicles are generally high, but as it is only the share of these costs in relation to income that is considered, these high gross costs may appear lower in terms of weight.

Residential location characteristics

The proximity of housing to PT has a significant influence on several expenses. Firstly, moving from poor to medium proximity significantly reduces the share of income allocated to housing. Compared to poor proximity, all proximity categories have the same positive impact on the share of income allocated to utilities. Greater proximity to public transport generally translates into lower car ownership costs, as the need to own one or more vehicles decreases with the number of alternatives to the car available for daily commuting. Relative to the average share of income allocated to these expenses, the proximity of the residential location to PT has a very significant influence on vehicle use: the share of expenditure allocated to this category decreases as proximity increases. Finally, greater proximity to PT tends to reduce the share of income allocated to PT use, probably because households living in areas with poor proximity to PT are generally located far

from the city centre, in areas that require more expensive PT passes (commuter rail passes are more expensive than metro passes, for example).

Constant, interaction and scale terms

Constant variables are used to capture generic spending patterns in each category. In this study, the reference category is "other expenses", i.e. all expenses not related to housing and commuting. Negative base constants, for the "utilities" and "PT use" categories, indicate an overall reduction in the share of household income allocated to these categories relative to other expenditure. Conversely, positive constants for the "housing", "vehicle ownership" and "vehicle use" categories indicate an overall increase in the share of household income allocated to these categories relative to other expenses.

All translation parameters are statistically significant, indicating that there are satiation effects in resource allocation. We note a higher translation parameter for the "utilities" and "vehicle ownership" categories, which means that when households spend in these categories, they allocate a large proportion of the budget to them. Conversely, when households spend in the "PT use" category, the share of income allocated to this category is lower, indicating that satiation is reached quickly.

Model predictions

The results of the MDCEV model predictions are presented in Table 5.3. The first column shows the average of the share of income allocated to housing and to transport, for households that own their home with a mortgage. The second column shows the average share of income allocated to the same two categories for the same households, this time assuming that the mortgage repayment has been completed (the variable representing mortgage repayment expenditure is set to 0). In addition, the 2016 census data made it possible to estimate the average value of the property owned by these households, so that we could put housing expenditure over the mortgage repayment period into perspective with the value of the property finally owned. The third column represents the same situation as the second column, this time simulating an increase in the fuel price compared with the initial situation (vehicle use expenditure is the sum of several terms, including fuel expenditure, which has been doubled in this case). In each scenario, the budget to be allocated, i.e. the total household income, is assumed to be constant, and since all expenditure are expressed in constant

dollars, inflation doesn't need to be taken into account. Estimates from the MDCEV model are used to allocate the remainder of the available budget to the other expenditure categories.

Table 5.3 MDCEV model prediction results

		Initial situation	Situation 1 (mortgage repaid)	Situation 2 (mortgage repaid + fuel price increase)
Households owning a home in an area with very good proximity to PT	Housing	23%	18% (average property value of \$427,000)	19%
	Transportation	25%	20%	21%
	Total H+T	48%	38%	40%
Households owning a home in an area with poor proximity to PT	Housing	17%	17% (average property value of \$324,000)	18%
	Transportation	24%	24%	26%
	Total H+T	41%	41%	44%

According to the predictions of the previously estimated MDCEV model, in the initial situation, households living in an area with very good proximity to PT are in a vulnerable situation, as the share of income allocated to housing and transportation exceeds the 45% threshold. Compared with households living in an area with poor proximity to PT, it is housing-related expenses that penalize households with good proximity: they allocate 23% of their income to this category of expenditure, compared to just 17% for households with poor proximity.

However,, when we look at these expenses over the long term, assuming the mortgage is paid off and the home is ultimately owned by the household, the trend shifts in the opposite direction: households located in an area with poor proximity to PT spend more on housing and transport. In addition to allocating a smaller share of their income to these expenses, households with good proximity also have the advantage of owning property with a higher market value: a house in an area with good proximity to PT is worth on average 30% more than a house with poor accessibility. This reversal of the trend can be explained by the high transport costs incurred by the latter type of household, which is heavily dependent on the car. Investments made in the transport category do not have the same long-term positive impact as those made in housing. When we simulate an increase in fuel prices, these observations are even more striking, demonstrating the influence of automobile use on the residential costs of households living in less accessible areas.

It's important to contrast the "residential cost", which we calculate as the share of income these expenses represent, with the rest of the budget available to households. The remaining share of income represents the money a household has left over for all its daily needs and activities once housing and commuting expenses have been paid. However, depending on household income, the same proportion can represent very different situations. It therefore seems more appropriate to consider the resources remaining to the household, rather than the proportion of income remaining, when attempting to prevent situations of vulnerability. Once the costs of housing and transport have been paid for, households still must cover other expenses, such as food, health and education. For poor households, this residual income is extremely limited, and can even be negative for those in situations of debt (Crozy, s. d.). According to the predictions of this study's model, a household in situation n°2, living in an area with poor proximity to PT and in the "Less than 45k" income category, would end up with less than \$2100/month for food, healthcare, etc. Depending on the size of the household, this can lead to situations of great precariousness.

5.5 Conclusion

This study explores the influence of household socio-demographics, dwelling characteristics, and residential location characteristics on various expenditure items, including housing, utilities, vehicle ownership, vehicle use and public transport use. The findings reveal several key factors that impact the allocation of income to these expenses.

Regarding household socio-demographics, motorization plays a significant role in spending patterns, particularly affecting housing, since motorized households may tend to seek dwellings with parking facilities, which can increase housing expenses. Surprisingly, owning at least one vehicle negatively impacts the share of the budget allocated to vehicle use, potentially due to non-motorized households using services for which the price paid by the user includes expenses normally included in the "car ownership" category. This doesn't mean that using such services is more expensive than owning a vehicle: to compare the situation of a non-motorized household and a motorized household, the costs of using and owning a vehicle must be added together. The presence of children in a household positively influences all expenditure items except PT use, with vehicle ownership and use being particularly significant due to increased transportation needs.

Dwelling characteristics also play a crucial role in expenditure allocation. Living in an apartment, compared to a house, leads to a lower proportion of income allocated to housing. Apartments are

generally more affordable than detached or semi-detached houses, and they also offer better accessibility, resulting in lower vehicle ownership and use costs. The dwelling size influences the share of income allocated to car ownership costs and housing, the relationship between the allocation and the latter being non-linear as generally low-income households occupy smaller accommodations and wealthy households larger dwellings.

Residential location characteristics, particularly proximity to public transport (PT), significantly impact expenditure. Moving from poor to medium proximity decreases the share of income allocated to housing but increases it for utilities. Greater proximity to PT leads to lower car ownership and car use costs, as households have more car-alternative transportation options for daily commuting. Additionally, increased proximity to PT reduces the share of income allocated to PT use, potentially due to households living in areas with poor PT accessibility requiring more expensive PT passes or tickets.

The study's scenarios highlight that households residing in areas with very good PT proximity face challenges, in the present context, as their allocation of income to housing and transportation exceeds the 45% threshold. However, the impact of changes in current conditions is critical for some households. When mortgages are paid off and the property is owned, households in areas with poor PT proximity spend more on housing and transport, while the proportion of residential costs decreases for households with good proximity. Furthermore, households with good PT proximity benefit from owning properties with higher market values. This shift in trend can be attributed to higher transport costs incurred by households heavily reliant on cars. Unlike housing investments, transport expenditures do not provide the same positive impact. Simulations with increased fuel prices further emphasize the influence of automobile use on the residential costs of households in less accessible areas.

Naturally, there are limitations to this research, the main one being access to quality data in sufficient quantity. The SHS data provide valuable information, but certain gaps remain. In our case, more information on household motorization (number of vehicles, types of vehicles, etc.) would surely have enabled a better understanding of how income is allocated to the categories of car ownership and car use. The small number of observations of the SHS within the Montreal CMA is rather limiting for this study. The use of several survey years would have been relevant, as it could have provided a greater sample and consideration of temporal evolution on the distribution of

expenditure, but the absence of data on the precise location of households for years after 2017 did not allow for this merger. One prospect for future studies would therefore be to find or build databases more suitable for this type of analysis.

In summary, this paper demonstrates the complex interplay between household socio-demographics, dwelling characteristics, and residential location characteristics in determining expenditure patterns. Understanding these dynamics can aid policymakers in developing targeted interventions and strategies to address housing affordability, transportation accessibility, and the needs of different household types.

Acknowledgments

The analysis presented in this paper was conducted at the Quebec Interuniversity Centre for Social Statistics which is part of the Canadian Research Data Centre Network (CRDCN). The services and activities provided by the QICSS are made possible by the financial or in-kind support of the Social Sciences and Humanities Research Council (SSHRC), the Canadian Institutes of Health Research (CIHR), the Canada Foundation for Innovation (CFI), Statistics Canada, the Fonds de recherche du Québec and the Quebec universities. The views expressed in this paper are those of the authors, and not necessarily those of the CRDCN, the QICSS or their partners. Additionally, the authors would like to acknowledge the financial support from Mitacs, UnPointCinq and the Mobility Chair Partners: Ville de Montréal, Société de transport de Montréal (STM), Autorité Régionale de Transport Métropolitain (ARTM), exo and Ministère des Transports du Québec (MTQ)

Author contributions

The authors confirm contribution to the paper as follows: study conception and design: M. Zanolini, C. Morency; data collection: Statistics Canada; data processing: M. Zanolini; model formulation and estimation: M. Zanolini, analysis and interpretation of results: M. Zanolini, C. Morency; draft manuscript preparation: M. Zanolini, C. Morency. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

CHAPITRE 6 CONCEPTION D'UN CALCULATEUR DE COÛTS RÉSIDENTIELS

L'analyse des calculateurs de coûts résidentiels existants réalisée dans la revue de littérature permet dans cette partie de définir les forces et les faiblesses de chacun, dans le but d'établir un cahier des charges d'un futur calculateur pour la Grande Région de Montréal. Les besoins au bon fonctionnement d'un tel outil sont exposés et un exemple d'application est également fourni.

6.1 Analyse des forces et faiblesses des outils existants

L'analyse des forces et faiblesses des calculateurs personnalisables se base sur différents critères qui semblent importants d'après la littérature et qui concernent la prise en main de l'outil par l'utilisateur, le fonctionnement et les résultats du calculateur.

La prise en main de l'outil par l'utilisateur est primordiale pour qualifier la qualité de l'outil car l'efficacité d'un calculateur de coûts résidentiels réside dans la compréhension, l'acceptation et l'utilisation de l'outil par son public (Allard et al., 2014). Pour Allard et al. (2014) un calculateur de coûts résidentiels doit répondre à trois conditions : (1) les résultats doivent être homogènes et continus sur l'ensemble du territoire couvert par l'outil; (2) les données utilisées dans le calcul doivent être cohérentes et viables; et (3) l'outil doit être facile à utiliser et fournir des résultats pertinents pour les décisions des ménages et des décideurs publics (Allard et al., 2014). À noter que la facilité d'utilisation ne signifie pas forcément une perte de précision des résultats. L'outil e-mob par exemple, demande à l'utilisateur d'entrer quelques informations propres au ménage « dont il est censé avoir une connaissance (quasi-)immédiate » mais lui propose aussi certaines données standards prédéfinies qu'il a la possibilité de modifier pour les rendre plus pertinentes au regard de sa situation et ainsi améliorer les résultats des simulations effectuées (Caubel, 2017). En outre, pour que l'outil se démarque comme une source d'information fiable, il est important que les résultats et les données qu'il fournit soient objectifs et indépendants de tout message politique ou marketing. Albrecht et al. (2009) indiquent que les explications textuelles et la conception de l'application doivent être factuelles et neutres (Albrecht et al., 2009). De plus, pour témoigner de la fiabilité des données utilisées, la provenance de celles-ci doit être indiquée. Enfin, toutes les hypothèses faites lors des calculs doivent être clairement énoncées et, s'il y a lieu, les études desquelles elles proviennent doivent être sourcées. En outre, il est important de noter que la volonté des personnes de fournir des informations personnelles est limitée (Albrecht et al., 2009). Des messages sur la

confidentialité, le non-enregistrement des informations renseignées par l'utilisateur pourraient donc être affichés avant que ce dernier commence à remplir le questionnaire. Ainsi les critères qui seront évalués pour qualifier l'expérience utilisateur sont la couverture spatiale du calculateur, la quantité d'informations à renseigner par l'utilisateur, la transparence sur les hypothèses posées, la provenance des données et la facilité globale d'utilisation.

En ce qui concerne la caractérisation de la qualité du fonctionnement de l'outil, plusieurs indicateurs ont été introduits: la précision spatiale du calcul des coûts, la prise en compte de différents motifs de déplacement et la mise à jour instantanée des résultats à la suite du changement d'un/plusieurs paramètre(s). En effet, un outil d'aide à la décision du choix de résidence doit s'intéresser à l'accessibilité des principaux services de la vie quotidienne (écoles, magasins, transports publics...) afin de sensibiliser les ménages à l'organisation de la mobilité quotidienne qui découle du choix d'un potentiel nouveau lieu de résidence (Tischler & Mailer, 2016b). Les trajets domicile-travail représentent une part importante des déplacements quotidiens, mais d'autres types de trajets doivent aussi être pris en compte pour les calculs des coûts de transport. Les achats, les affaires personnelles et les loisirs, par exemple, représentent environ deux tiers de la mobilité quotidienne d'un ménage en Allemagne. Les trajets d'accompagnement ne doivent pas non plus être omis (Tischler & Mailer, 2016b). Les déplacements pour les motifs de magasinage, loisirs et accompagnement peuvent en effet jouer un rôle important en ce qui concerne la génération de circulation automobile. Il est aussi important de considérer un ensemble d'alternatives modales ne se limitant pas à la voiture et aux transports collectifs (marche à pied, vélo, covoiturage, autopartage). Cela permettrait notamment à l'utilisateur de comparer différents scénarios en fonction des modes de déplacements (Caubel, 2017).

Afin de permettre aux utilisateurs d'évaluer les effets à moyen et long termes du choix d'un lieu de résidence, la façon de présenter les résultats est également primordiale. Par exemple, il n'est pas pertinent d'afficher tous les résultats selon la même échelle de temps: il est plus facile de considérer le temps de trajet comme un indicateur quotidien tandis que les coûts monétaires sont plus faciles à interpréter à l'échelle mensuelle. En outre, en termes de présentation des résultats, l'approche cartographique est à privilégier pour provoquer des changements de comportements chez les ménages visés. Afin de mettre en évidence les dépenses en temps et en argent qui s'ajoutent à celles liées aux déplacements domicile-travail, Tischler et Mailer (2016) proposent par exemple de représenter géographiquement les distances d'une potentielle localisation résidentielle à différentes

infrastructures (Tischler & Mailer, 2016b). L'approche cartographique présente les avantages de donner une orientation géographique à la recherche de logement très tôt dans le processus de décision du ménage et de favoriser une approche comparative du territoire (Allard et al., 2014). La représentation immédiate de l'effet de certaines modifications des données d'entrée sur les résultats peut permettre à l'utilisateur d'évaluer l'origine des coûts et l'impact de certaines caractéristiques de son ménage, sa localisation ou ses habitudes de mobilité (Cadus, 2013). Dans le même ordre d'idée, il est intéressant pour l'utilisateur de pouvoir comparer différents scénarios. Les scénarios peuvent se différencier par la localisation résidentielle, le lieu d'emploi et les pratiques de mobilité (achat/vente d'un véhicule, choix d'emprunter plus les TC...) et leur comparaison permet à l'utilisateur d'avoir une vision globale de l'impact de différents changements dans son quotidien sur ses coûts résidentiels. Les critères évalués pour qualifier les résultats proposés par l'outil seront donc les suivants : les types de coûts calculés (monétaires, temps de trajet, émissions, etc.), la présence d'une comparaison de scénarios, le type de visualisation des résultats (graphiques, cartes avec itinéraires, etc.) et la présence de fonctionnalités spéciales.

L'analyse des forces et faiblesses des calculateurs choisis est présentée dans le Tableau 6.1, dont la forme est inspirée de Cadus (2013).

Tableau 6.1 Analyse des forces et des faiblesses d'une sélection de calculateurs de coût résidentiel

	Expérience utilisateur				Fonctionnement de l'outil			Résultats du calculateur			
	Facilité globale d'utilisation	Couverture géographique	Quantité de champs à renseigner	Transparence hypothèses et données	Motif du déplacement	Précision spatiale du calcul des coûts	Mise à jour des résultats instantanée	Types de coûts	Comparaison de scénarios	Visualisation	Fonctionnalités spéciales
E-mob	moyenne	moyenne (Agglomération de Saint-Etienne)	forte	non	moyen (travail et « autres »)	forte (adresse)	non	nombreux (coûts de logement, de déplacements en voiture, de possession de véhicule(s), d'abonnements aux TC, impôts, émissions CO2/Nox/Pm10, indicateur de vulnérabilité)	moyenne (2 scénarios, modification de n'importe quel paramètre)	forte (pie-chart de la répartition des dépenses, jauges d'émissions, bar-chart du temps passé en voiture et dans les TC)	variation du prix de l'essence
MobiCost	forte	moyenne (Vallée du Grésivaudan)	forte	non	faible (seulement travail)	faible (commune)	non	moyen (durée des trajets domicile-travail, dépenses du transport, émissions de CO2 liées au transport)	faible (intermodalité et autosolisme pour les déplacements domicile-travail)	aucune	aucune
MORECO	faible	moyenne (Province de Salzburg)	faible	oui	fort (tous motifs)	forte (adresse)	non	nombreux (coûts de logement multiples, de déplacements en voiture, de possession de véhicule(s), d'abonnements aux TC, émissions de CO2 liées à la conduite, temps passé à se déplacer)	moyenne (plusieurs scénarios, modification de l'adresse et des modes empruntés)	moyenne (bar-chart des coûts liés à la voiture, aux TC et au logement dans les différents scénarios, carte avec itinéraires)	aucune
NaWo	forte	moyenne (Haute-Bavière et Tyrol)	moyenne	non	fort (tous motifs)	forte (adresse)	non	nombreux (coûts de logement multiples, de déplacements en voiture (distinction entre le motif travail et les autres motifs), de possession de véhicule(s), d'abonnements aux TC, indemnités de déplacement, émissions de CO2 générées par le logement et le transport, durée des trajets domicile-travail)	forte (plusieurs scénarios, modification de n'importe quel paramètre)	forte (bar-chart des coûts et émission de CO2 de logement et de mobilité, pie-chart de la répartition des motifs de déplacement en voiture, carte des services accessibles à pied et à vélo)	comparaison des émissions de CO2 aux objectifs du protocole de Kyoto calcul du nombre de voitures nécessaires à la mobilité du ménage
Calculateur Mobilité de Wallonie	forte	moyenne (Wallonie)	faible	oui (une seule)	faible (seulement travail)	aucune (indication d'une distance à parcourir)	oui	moyen (coûts de transport (hors frais fixes), indemnités patronales, émissions de CO2 liées à la conduite, consommation d'énergie)	faible (mode(s) choisi(s) et autosolisme pour les déplacements domicile-travail)	aucune	calcul des indemnités de déplacement
MSP H+T Cost Calculator	forte	forte (13 villes aux Etats-Unis)	faible	non	faible (seulement travail)	forte (adresse)	oui	nombreux (coûts de logement, de transport, d'abonnement de TC, consommation de carburant, durée des trajets domicile-travail, indicateurs de connectivité des TC/densité résidentielle/accessibilité à l'emploi/taille des îlots résidentiels)	forte (plusieurs scénarios, modification de n'importe quel paramètre, carte recensant le domicile et les lieux d'emploi indiqués)	aucune	aucune

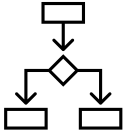
6.2 Détermination du cahier des charges pour un outil propre à la Région de Montréal

L'analyse des outils existants traitant de la notion de coût résidentiel des ménages, et la définition des atouts et des défauts ou lacunes de chacun, permet d'élaborer une liste d'exigences méthodologiques et techniques propres à un outil semblable pour la Grande Région de Montréal. Les lignes directrices de la conception de cet outil doivent suivre les objectifs qu'il doit servir: être utilisé par le plus de personnes possibles, quel que soit leur niveau de connaissance du sujet, être considéré comme une source d'informations fiable, fournir des résultats compréhensibles et pertinents pour aider les ménages à choisir judicieusement leur lieu de résidence en fonction de leur caractéristiques et habitudes de vie.

Tableau 6.2 Cahier des charges d'un calculateur de coût résidentiel pour la Grande Région de Montréal

	Fonctions	Critères
Globale	Permettre aux ménages de la région de Montréal d'appréhender les conséquences à long terme du choix d'un lieu de résidence sur leur santé financière et leurs habitudes de mobilité, et les orienter vers des choix en accord avec leurs caractéristiques et leurs besoins.	
Expérience utilisateur 	F1 – Être utilisé par le plus de personnes possibles, quel que soit leur niveau de connaissance du sujet F2 – Se présenter comme une source d'information fiable, objective et indépendante de tout message politique ou marketing	C1 – Peu de champs à renseigner par l'utilisateur C2 – Source de toutes les données et explication brève des calculs et des hypothèses
Exigences techniques 	F1 – Fournir des résultats précis, homogènes et continus sur l'ensemble du territoire couvert par l'outil F2 – Se baser sur des données cohérentes et viables	C1 – Précision spatiale des calculs au minimum au niveau de l'îlot de diffusion C2 – Mise à jour instantanée des résultats à la suite de la modification d'un paramètre par l'utilisateur C3 – Mise à jour de la base de données selon les informations renseignées par les utilisateurs

Tableau 6.2 Cahier des charges d'un calculateur de coût résidentiel pour la Grande Région de Montréal (suite)

Fonctions	Critères
Types de résultats 	F1 – Permettre aux ménages d’appréhender les conséquences financières, environnementales et l’impact sur la mobilité quotidienne du choix d’un lieu de résidence C1 – Coûts financiers de transport et d’habitation détaillés selon la catégorie (énergie du logement, loyer ou prix d’achat, possession de véhicule(s), utilisation des TC, utilisation automobile) C2 – Émissions de CO₂ liées au transport et au logement C3 – Indicateur de vulnérabilité selon la part du revenu allouée aux transport et l’habitation C4 – Temps passé à se déplacer C5 – Nombre de véhicules nécessaires à la mobilité du ménage C6 – Liste des services (écoles, épiceries, pharmacies...) accessibles à pied et à vélo
Représentation des résultats 	F1 – Représenter les résultats de façon à pouvoir les comparer par la suite F2 – Présenter les résultats dans leur contexte spatial et des objectifs sociétaux F3 – Anticiper l’évolution temporelle des coûts C1 – Pie-chart de la répartition des dépenses (transport, logements, autre) C2 – Bar-chart du temps passé à se déplacer C3 – Bar-chart des coûts de logement et de transport (distinction des coûts liés à l’automobile et aux TC) C4 – Bar-chart des émissions de CO₂ générées par le logement et le transport (distinction de l’utilisation de l’automobile et des TC) comparées aux seuils des Accords de Paris C5 – Carte recensant les différents itinéraires domicile-lieux fréquentés et les services accessibles à vélo et à la marche C6 – Résultats disponible sur différentes échelles temporelles : quotidiens/mensuels/annuels/25ans
Comparaison de scénarios 	F1 – Permettre aux ménages de comparer selon différents critères et selon différentes échelles de temps, plusieurs situations résidentielles C1 – Possibilité de comparer aux moins deux scénarios C2 – Possibilité d’enregistrer chaque modification apportée en tant que nouveau scénario qu’il faut nommer C3 – Comparaison du temps passé à se déplacer, des coûts de transport (distinction automobile et TC), des coûts de logement et des émissions de CO₂ liées au logement et au transport C4 – Proposition de quatre scénarios à long terme : Variation du prix des carburants / Instauration d’un péage urbain ou de taxes kilométriques / Variation du prix de l’immobilier / Pénurie de production de véhicules

6.3 Front-end et interface utilisateur

Un exemple d'interface utilisateur qui répond aux critères du cahier des charges a été imaginé et est présenté sur la Figure 6-1.

La partie gauche de cette interface permet à l'utilisateur d'entrer des renseignements sur la structure de son ménage, des caractéristiques du domicile qu'il souhaite analyser, et de ses principaux déplacements quotidiens. Un dernier onglet permet d'appliquer des scénarios d'évolution à long terme qui permettent d'effectuer un diagnostic de la situation. Dans les différents onglets, une case de champ colorée en vert signifie que le calculateur calcule lui-même une estimation de la valeur de ce champ, mais que l'utilisateur est libre de modifier cette valeur pour affiner les résultats. Les boutons d'informations permettent de définir la valeur à renseigner et, lorsque cela s'applique, il détaille le calcul réalisé pour aboutir à la valeur.

Le diagnostic est présenté sur la partie droite de l'écran. La modification d'un champ dans les onglets de la partie gauche entraîne directement une modification des résultats. Les résultats présentés comprennent : les émissions annuelles de CO₂ liées au logement et au transport, qui sont comparées aux objectifs de l'Accord de Paris ; le temps de déplacement quotidien pour l'ensemble des membres du ménage ; la répartition des dépenses entre les catégories de transport (possession automobile, utilisation automobile, location automobile, stationnement et utilisation des TC), d'habitation (loyer/remboursement d'hypothèque, assurances et services publics (eau, électricité et combustibles)) et le reste du revenu ; une carte des épiceries, pharmacies et écoles accessibles à la marche et à vélo depuis le domicile ; un résumé détaillé des dépenses de transport et de logement ; et finalement un indicateur de vulnérabilité. Concernant l'indicateur de vulnérabilité, un ménage est considéré vulnérable s'il alloue plus de 45 % de son revenu aux dépenses couplées de transport et d'habitation (Hamidi & Ewing, 2015). Pour ce qui est du résumé détaillé des dépenses de transport et de logement, un curseur permet d'obtenir les dépenses journalières, mensuelles, annuelles ou bien sur 25 ans (dans ce cas les scénarios sélectionnés dans l'onglet de gauche s'appliquent).

Finalement, le bouton « Sauvegarder ce scénario » permet d'enregistrer les informations renseignées sur le compte de l'utilisateur, en attribuant un nom à la situation qu'elles définissent. Lorsque plusieurs scénarios sont enregistrés, l'utilisateur peut ainsi les comparer selon les différents indicateurs présents dans la partie diagnostic.

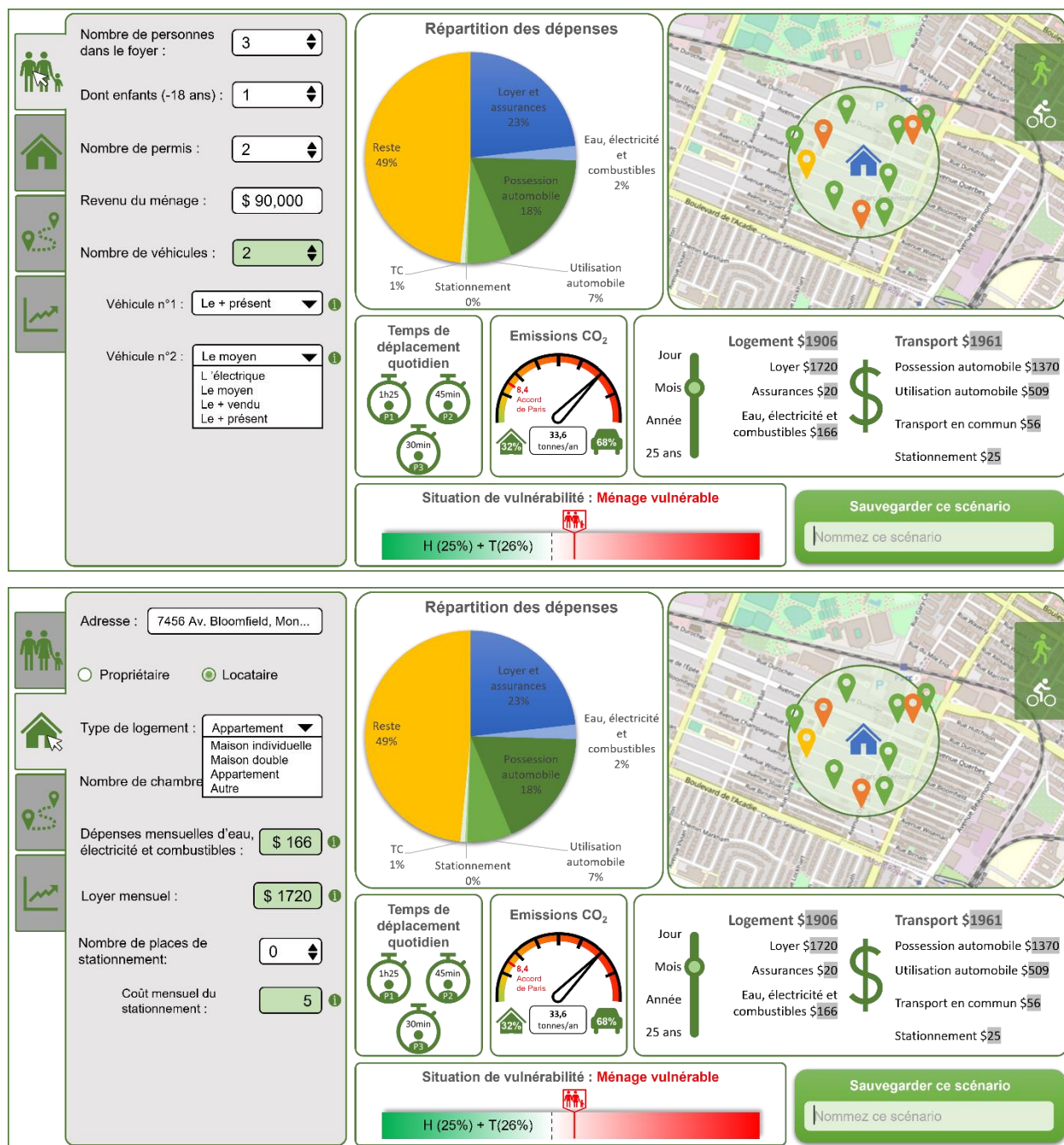


Figure 6-1 Interface utilisateur du calculateur de coût résidentiel pour la Grande Région de Montréal

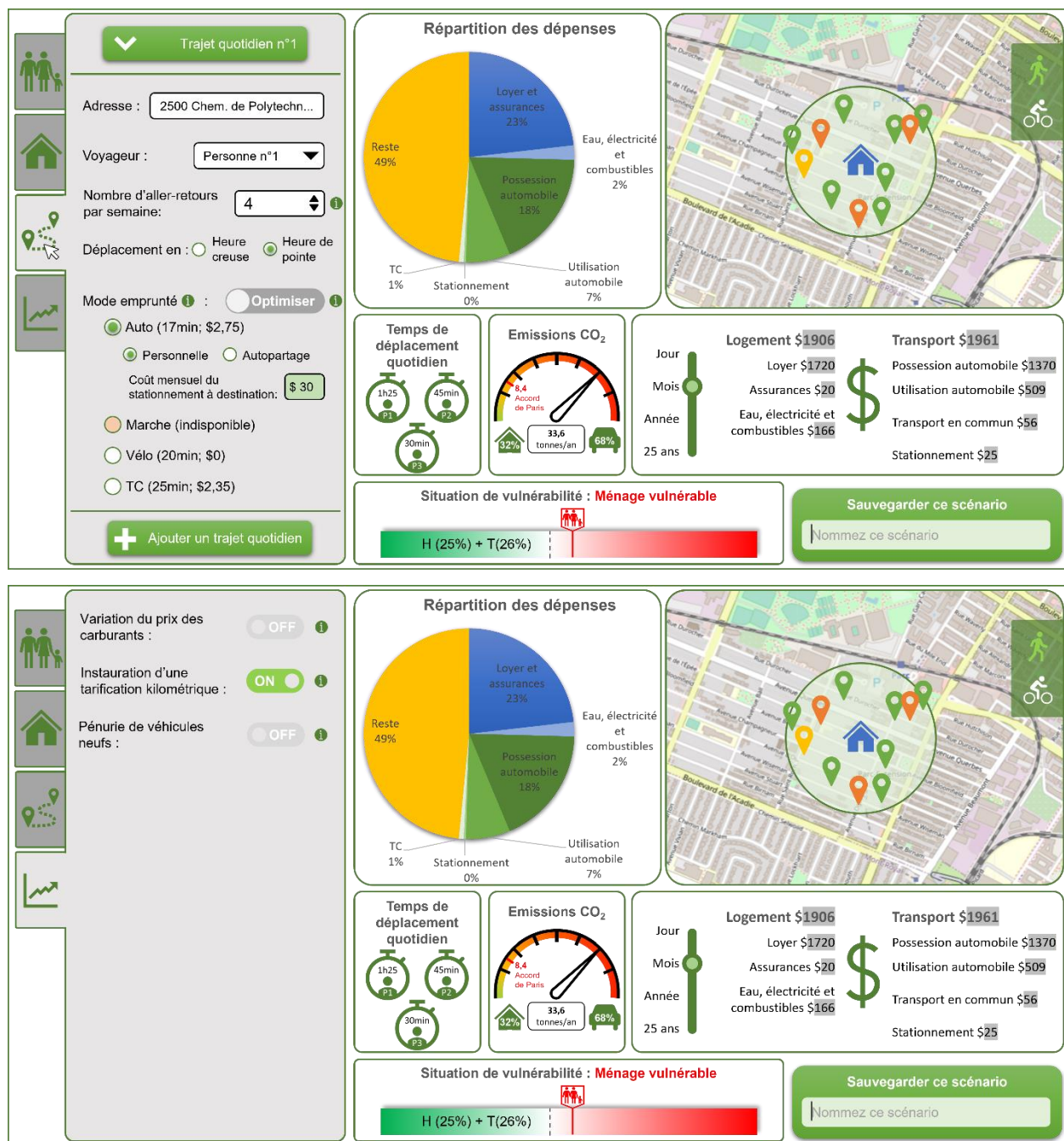


Figure 6-1 Interface utilisateur du calculateur de coût résidentiel pour la Grande Région de Montréal (suite)

6.4 Fonctionnement du back-end

Afin de fournir les résultats présents sur l'interface utilisateur, en plus des champs renseignés par ce dernier, différentes bases de données sont nécessaires pour mener à bien les calculs. La Figure

6-3 explique le fonctionnement général du back-end du calculateur. Les différentes bases de données nécessaires aux différents calculs y sont présentées.

6.4.1 Estimation du coût du logement

De manière générale, dans la littérature, les coûts d'habitation (remboursement d'hypothèque ou loyer, assurances habitation, eau, électricité et combustibles) sont estimés assez facilement grâce à des sources de données publiques et nationales telles que l'American Community Survey (Center for Neighborhood Technology, 2017; Hickey et al., 2012) ou le recensement (Miller et al., 2004). En effet, il est relativement simple pour les ménages d'estimer précisément les dépenses liées à leur logement. Qu'il s'agisse du remboursement d'un prêt, d'un loyer, des dépenses en eau, combustibles et électricités, il s'agit de montants préalablement fixés ou indiqués sur des factures. Il est donc possible de se baser sur les dépenses déclarées par les ménages pour estimer les coûts d'habitation liés à un lieu de résidence et à un type de logement. Au Canada, le recensement représente une vaste base de données, représentative de la population, et qui fournit des informations sur les caractéristiques des logements et les coûts associés. C'est donc d'après cette source de données que des équations produisant une estimation des dépenses d'habitation pourraient être construites. Les variables potentielles pour le développement de ces équations sont présentées dans le Tableau 6.3.

Tableau 6.3 Variables du recensement retenues pour la construction d'équations sur le coût du logement

	Variable	Type de variable	Description
Dépendantes	Loyer (\$)	Continue	Le loyer en argent payé tous les mois par les ménages locataires.
	Valeur de la propriété (\$)	Continue	Le montant en dollars que s'attendrait à recevoir le propriétaire s'il vendait sa propriété.
	Eau, électricité, combustibles (\$)	Continue	La somme des paiements annuels pour l'électricité, les combustibles, l'eau et les autres services municipaux.
Indépendantes	Taille du ménage	Catégorielle	Le nombre de personnes composant le ménage.
	Présence d'enfants (-18 ans)	Catégorielle	Si le ménage comporte des enfants de moins de 18 ans.
	Type de logement	Catégorielle	Le type de construction et/ou les caractéristiques du logement.
	Mode d'occupation du logement	Catégorielle	Si le ménage possède ou loue son logement. On considère qu'un ménage possède son logement si l'un des membres du ménage détient le logement. On considère qu'un ménage loue son logement si aucun membre du ménage ne possède le logement.
	Nombre de chambres	Catégorielle	Le nombre de chambres à coucher dans un logement.
	Localisation du logement	Catégorielle	L'aire de diffusion dans laquelle se situe le logement.

Trois modèles de régression linéaire pourraient alors être appliqués aux trois catégories de coûts propres au logement (paiement du loyer, valeur de la propriété immobilière, eau/électricité/combustibles) avec comme variables indépendantes les caractéristiques du ménage (taille et présence d'enfants) et du logement (type, mode d'occupation, nombre de chambres et localisation) qui sont à la fois des variables de la base de données utilisée et des informations recueillies par la calculateur grâce aux champs à renseigner par l'utilisateur.

6.4.2 Estimation du coût du transport

Contrairement au coût du logement, le coût du transport est entièrement dépendant des habitudes et des préférences de mobilité qui sont propres à chaque ménage, et même à chaque individu au sein du ménage. Par conséquent, des conclusions aussi générales que celles tirées d'après des bases de données sur le coût du logement ne sont pas applicables au transport. Pour estimer de manière représentative les dépenses de transport supportées par un ménage, il est donc nécessaire de connaître ses déplacements quotidiens et les modes préférés pour ces déplacements. Ce n'est qu'une fois ces renseignements collectés, et à l'aide de données extérieures, que des estimations de dépenses pourront être faites. Dans la littérature les coûts de transport sont généralement estimés comme la somme des dépenses de possession automobile, d'utilisation automobile et d'utilisation

des transports publics (Center for Neighborhood Technology, 2017; Haas et al., 2008; Hickey et al., 2012; Inbakaran & Shin, 2010; Miller et al., 2004).

6.4.2.1 Coût d'utilisation automobile et des transports publics

L'accès aux données de tarification des différentes agences de transport en commun présentes dans la RMR de Montréal (STM, STL, RTL, exo...) est possible grâce à l'Autorité régionale de transport métropolitain (ARTM). De la même façon, les tarifs du stationnement sur rue sont des données publiques qui peuvent donc être obtenues facilement grâce à la Ville de Montréal où l'Agence de Mobilité durable par exemple. Pour ce qui est des coûts d'utilisation d'un véhicule, l'Association Canadienne des Automobilistes (CAA) propose des estimations de prix au kilomètre pour différents véhicules. Ces coûts d'utilisation automobile sont estimés par la CAA selon le modèle du véhicule, la région de résidence, le type de conduite, la distance moyenne parcourue annuellement et comprennent les dépenses en carburant et celles pour l'entretien et les réparations (Canadian Automobile Association, 2013). La manière dont les coûts de transport relatifs à chaque trajet quotidien fréquent sont calculés est présentée dans la Figure 6-2.

.

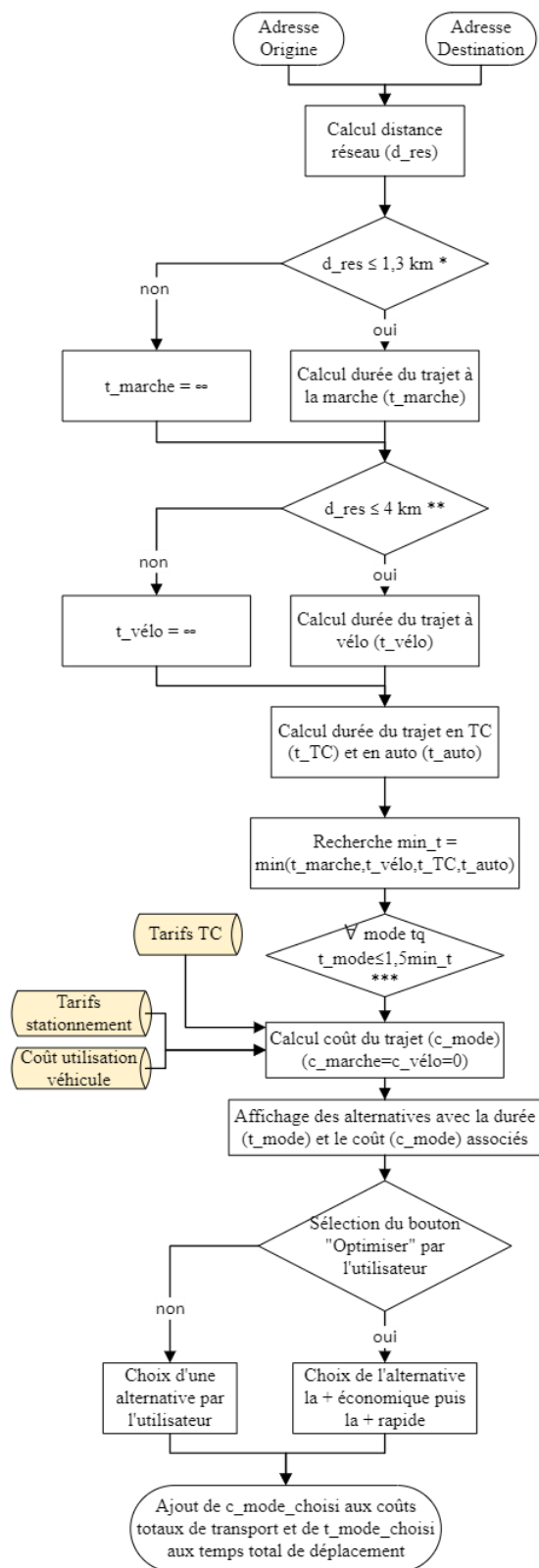


Figure 6-2 Flowchart du calcul des coûts d'utilisation automobile et des transports publics (* (Lefebvre-Ropars, 2017), ** (Duretz, 2020), *** (Poirier, 2021))

6.4.2.2 Coût de possession automobile

Lorsque le ménage utilisant le calculateur possède, ou envisage de posséder, un véhicule, en plus des coûts d'utilisation liés aux trajets effectués quotidiennement, des coûts de possession de véhicule sont à prendre en compte. Contrairement aux coûts d'utilisation, les coûts de propriété sont des coûts fixes car ils ne varient généralement pas d'un mois à l'autre et sont quasiment indépendants de la distance parcourue et de la façon de conduire (Canadian Automobile Association, 2013). Les données du calculateur de coûts de conduite « Driving Cost Calculator » (DCC), développé par la CAA comprennent des estimations de ces coûts de possession automobile. Ces estimations prennent en compte : la dépréciation, les mensualités liées à l'achat du véhicule, les assurances, les frais de permis de conduire et d'immatriculation, les taxes, et tout crédit d'impôt fédéral éventuellement disponible. Le DCC propose des estimations de coûts représentatifs de la possession ou de la location d'un véhicule pendant 5 ans, pour les véhicules les plus présents au Canada. Le coût du carburant utilisé par le calculateur est le prix moyen au Québec du carburant ordinaire fourni par www.caa.ca/gas-prices, et mis à jour quotidiennement. La dépréciation annuelle, c'est-à-dire la réduction de valeur d'un véhicule subie pendant la période de propriété, est estimée en examinant la différence entre le prix d'un véhicule neuf sur le marché et son prix actuel de revente, ces informations étant fournies par le Canadian Black Book. Les coûts d'entretien pris en compte par le DCC supposent que le propriétaire du véhicule respecte les calendriers d'entretien recommandés par le fabricant, utilise les prix des pièces fournis par les fabricants et un tarif de main-d'œuvre de 80 \$ CAN/h. A ces coûts viennent s'ajouter les coûts d'entretien imprévus basés sur les prix nationaux. Le calcul du montant de l'assurance se base sur un profil type de conducteur de moins de 65 ans, résidant en banlieue ou en ville, avec six ans d'expérience sans accident, et comprend une réduction pour protection passive et système antivol et une franchise globale de 500 \$. Le prix du véhicule est ramené à un paiement mensuel qui suppose un acompte de 15 % et utilise les taux de financement en vigueur dans la province, sur une durée de 5 ans. Ces mensualités comprennent donc le montant principal du prêt et les intérêts. Tous les résultats proposés par le DCC incluent les taxes fédérales et provinciales. Les incitatifs gouvernementaux pour les véhicules électriques sont également pris en compte dans le coût annuel (Canadian Automobile Association, s. d.). A ces coûts estimés par la CAA, nous viendrons ajouter des coûts de stationnement sur le lieu de résidence. En effet tous les ménages ne possèdent pas forcément dans leur domicile ou sur

leur terrain un espace dédié au stationnement de leur(s) véhicule(s), donc l'ajout de frais de stationnement de longue durée doit pouvoir être pris en compte.



6.5 Synthèse du Chapitre 4

Les ménages méconnaissent souvent les coûts associés à leurs déplacements quotidiens, ce qui les conduit à prendre des décisions de localisation résidentielle parfois risquées pour leur santé financière et peu durables. Cependant, comme peuvent le suggérer les résultats de l'Article 1, ce problème est potentiellement dû à un manque d'informations et de sensibilisation sur le sujet. Ainsi, en communiquant des informations objectives et individuelles sur les coûts du logement et de la mobilité, il est possible d'influencer les choix résidentiels et les comportements de déplacement des ménages. Cette approche favoriserait, à l'échelle de la société, un développement du logement plus efficace et durable, tout en réduisant les émissions générées par le transport. Dans cette perspective, un outil de calcul personnalisable des coûts résidentiels a été conçu pour les ménages de la région de Montréal. Cet outil permet de comparer les coûts du logement et des déplacements, de mettre en évidence les dépenses associées à chaque poste, et d'informer sur les évolutions potentielles dans le temps.

Ce chapitre du mémoire a ainsi présenté la conceptualisation et les exigences techniques de cet outil. En ciblant les décisions des ménages qui ont un impact direct sur la génération de circulation automobile, l'utilisation de ce calculateur peut influencer leur comportement de mobilité en faveur de la réduction des trajets motorisés et de l'adoption de modes de déplacement plus écologiques tels que les transports publics et les modes actifs. Ainsi, si ce calculateur parvient à sensibiliser le grand public aux liens étroits entre le logement et la mobilité, la transparence offerte peut contribuer à atténuer les effets négatifs sur l'environnement et favoriser la protection du climat.

CHAPITRE 7 CONCLUSION

Dans cette section, une synthèse de la méthodologie utilisée ainsi que des résultats obtenus sont présentés afin de mettre en évidence les contributions de ce mémoire. Bien que certaines limites aient été identifiées, des perspectives d'amélioration et de futures recherches sont également proposées.

7.1 Synthèse de la recherche

L'analyse des enquêtes COVID-19 de 2020 et 2021 a permis d'étudier les caractéristiques des ménages souhaitant se relocaliser, ainsi que les attributs de leur logement et leur localisation. Les résultats ont montré que la typologie du ménage et la proximité des services du logement ont un impact significatif sur la décision de déménager. Les couples jeunes ont une probabilité plus faible de vouloir rester dans leur logement que les autres types de ménages. La proximité des services dans la zone où vivent les ménages a un impact important sur la volonté de déménager pour tous les types de ménages, sauf pour les jeunes couples. Les ménages (autres que les "jeunes couples") vivant dans des zones avec une bonne proximité des écoles secondaires et de l'emploi sont plus susceptibles de vouloir déménager. Concernant les raisons pour lesquelles les ménages souhaitent déménager, les plus courantes sont de se rapprocher de la nature, d'avoir accès à une maison ou un terrain plus grand et de devenir propriétaire. Les familles avec enfants, possédant déjà un ou plusieurs véhicules et vivant dans des types de logement avec peu ou pas d'espace extérieur sont plus enclines à vouloir se rapprocher de la nature. Les résultats ont également montré que la proximité des services de la vie quotidienne et des zones de déplacements contraints ne sont pas des motifs de déménagement fréquemment évoqués, pas plus que la réduction des dépenses de transport. Cette ignorance de l'impact des décisions de choix de localisation résidentielle sur la mobilité quotidienne et les dépenses qui en découlent est démontrée.

L'analyse des données de l'Enquête sur les Dépenses des Ménages (EDM) de 2017 explore l'influence des caractéristiques sociodémographiques, des caractéristiques du logement et de la localisation résidentielle des ménages sur divers postes de dépenses, notamment le logement, les services publics, la possession d'un véhicule, l'utilisation d'un véhicule et l'utilisation du transport en commun. Concernant les caractéristiques sociodémographiques des ménages, la motorisation joue un rôle important dans les habitudes de dépenses, en particulier en ce qui concerne le logement, ce qui peut s'expliquer par le fait que les ménages motorisés ont tendance à rechercher

des logements dotés d'un stationnement. L'impact négatif de la motorisation sur la part du budget allouée à l'utilisation des véhicules pourrait s'expliquer par le fait que les ménages non motorisés utilisent des services de covoiturage plus coûteux. La présence d'enfants dans un ménage a une influence positive sur tous les postes de dépenses, à l'exception de l'utilisation du TP, la possession et l'utilisation d'un véhicule étant particulièrement importantes en raison de l'augmentation des besoins en matière de transport. Les caractéristiques du logement jouent également un rôle crucial dans la répartition des dépenses. Le fait de vivre dans un appartement, par rapport à une maison, se traduit par une proportion plus faible du revenu alloué au logement, les appartements étant généralement plus abordables que les maisons individuelles ou jumelées et offrant une meilleure accessibilité, ce qui réduit les coûts de possession et d'utilisation d'un véhicule. La taille du logement influence la part du revenu allouée aux coûts de possession de la voiture et au logement, la relation entre l'allocation et cette dernière n'étant pas linéaire car, en général, les ménages à faibles revenus occupent des logements plus petits et les ménages aisés des logements plus grands. Les caractéristiques de la localisation résidentielle, en particulier la proximité des transports publics, ont un impact significatif sur les dépenses. Une plus grande proximité des transports publics entraîne une diminution des coûts de possession et d'utilisation de la voiture, car les ménages disposent d'un plus grand nombre d'options de transport alternatives à la voiture pour leurs déplacements quotidiens. En outre, une plus grande proximité des transports publics réduit la part de revenu allouée à l'utilisation des transports publics, peut-être parce que les ménages vivant dans des zones peu accessibles aux transports publics ont besoin d'abonnements ou de tickets plus coûteux. Les prévisions de l'étude soulignent que les ménages résidant dans des zones très bien desservies par les transports en commun peuvent être confrontés à des situations de vulnérabilité, dans le contexte actuel, car l'allocation de leur revenu au logement et au transport dépasse le seuil de 45 %. Toutefois, à long terme, lorsque les prêts hypothécaires sont remboursés et que le bien immobilier est possédé, les ménages des zones à faible proximité des transports dépensent davantage pour le logement et les transports. En outre, les ménages bénéficiant d'une bonne proximité au TC profitent de la possession de biens immobiliers dont la valeur de marché est plus élevée. Ce changement de tendance peut être attribué aux coûts de transport plus élevés supportés par les ménages fortement dépendants de la voiture. Contrairement aux investissements dans le logement, les dépenses de transport n'ont pas le même impact positif à long terme. Les simulations

d'augmentation du prix des carburants soulignent davantage l'influence de l'utilisation de l'automobile sur les coûts résidentiels des ménages dans les zones moins accessibles.

7.2 Contributions

Cette étude a également établi un cadre méthodologique pour la conception d'un calculateur de coût résidentiel personnalisable, qui permet d'envisager le développement d'un outil similaire dans d'autres contextes géographiques. En effet, le calculateur repose principalement sur l'utilisation de données publiques disponibles à grande échelle, ce qui rend sa mise en œuvre plus accessible. Les données utilisées, telles que les coûts de logement, les tarifs de transport et les informations géographiques, peuvent être obtenues auprès d'organismes gouvernementaux ou d'autres sources fiables. Ainsi, en adaptant les paramètres et les spécificités locales, il est possible de créer des calculatrices de coûts résidentiels similaires dans différentes régions. Cette approche méthodologique facilite la diffusion et l'adoption de tels outils, permettant ainsi de sensibiliser un plus grand nombre de ménages aux liens entre la localisation résidentielle, les coûts de transport et l'abordabilité.

Finalement, la présente étude apporte des contributions significatives dans le domaine de l'analyse de la répartition du budget des ménages entre les dépenses de transport et d'habitation. Tout d'abord, l'utilisation de données géolocalisées au niveau fin de l'îlot de diffusion constitue une avancée majeure. En se concentrant exclusivement sur la région métropolitaine de Montréal, cette approche permet de contrôler de manière précise l'impact de la localisation résidentielle sur la répartition des dépenses. La distinction entre le centre-ville et la périphérie offre une vision fine des effets de la localisation sur les choix budgétaires des ménages. De plus, une autre contribution majeure de cette étude réside dans la création et la modélisation de différents scénarios d'évolution plausible du secteur des transports. Ces scénarios influencent la répartition de certaines dépenses sur le long terme, ouvrant ainsi une réflexion sur les implications futures des choix de transport dans les décisions budgétaires des ménages ainsi que sur les situations de vulnérabilité qui peuvent découler de ces décisions. En intégrant ces scénarios dans le modèle MDCEV, cette recherche propose une approche novatrice pour évaluer l'impact des évolutions du secteur des transports sur la répartition des dépenses de transport et d'habitation des ménages.

7.3 Limites

Les études réalisées dans le cadre de ce mémoire comportent plusieurs limites, qui touchent principalement aux méthodes employées et aux données utilisées.

Lors de l'élaboration de notre calculateur, la plus grande limite que nous avons identifiée réside dans l'estimation des coûts de possession de véhicules, en particulier pour les véhicules usagés. Les coûts de possession de véhicules représentent un pourcentage significatif des coûts de transport des ménages mais leur estimation est souvent difficile et entachée d'incertitudes. L'estimation des coûts de possession des véhicules usagés est une tâche complexe et qui comporte plusieurs hypothèses. Bien que la CAA fournisse des estimations intéressantes sur les coûts de possession sur 5 ans, ces estimations ont des lacunes lorsqu'il s'agit des véhicules usagés. En effet, l'estimation des coûts de possession de véhicules usagés nécessite de nombreuses hypothèses qui peuvent affecter la précision des résultats. Par exemple, l'âge, le kilométrage, l'état et l'historique d'entretien du véhicule sont autant de caractéristiques à prendre en compte pour estimer les frais de réparation, les coûts d'assurance et la valeur résiduelle liés à la possession d'un véhicule usagé. Par conséquent, il est difficile d'établir des estimations précises des coûts de possession des véhicules usagés. Cela est particulièrement important pour les ménages montréalais en situation de relocalisation, car ils sont susceptibles de posséder des véhicules usagés. Par conséquent, les hypothèses utilisées pour estimer les coûts de possession de véhicules usagés ont un impact considérable sur la précision des estimations des coûts résidentiels (B. Milord, communication personnelle, 9 mars 2023). En outre, dans le cadre d'un calculateur de coûts résidentiels destiné aux ménages, il est important de pouvoir estimer les coûts de possession annuels à long terme pour pouvoir comparer adéquatement les coûts de transport et de logement sur une période de 25 ans. Cependant, les estimations de la CAA, qui fournissent des estimations sur une période de 5 ans, ne sont pas suffisantes pour atteindre cet objectif. Ainsi, des hypothèses supplémentaires sont nécessaires pour permettre au calculateur de fournir des estimations fiables sur le long terme. Cela implique de prendre en compte les cycles de maintenance, les réparations imprévues, les coûts de carburant et d'assurance automobile, ainsi que l'évolution des prix de l'essence et des primes d'assurance au fil du temps. En intégrant ces hypothèses, le calculateur sera en mesure de fournir des estimations précises et utiles pour aider les ménages à prendre des décisions éclairées en matière de choix résidentiel (B. Milord, communication personnelle, 9 mars 2023).

De plus, nous avons constaté un manque de données transversales sur le logement et la mobilité, qui complique l'estimation précise des coûts résidentiels. En effet, la plupart des données sur le logement et la mobilité sont recueillies séparément, ce qui rend difficile l'évaluation précise des coûts résidentiels. L'Enquête Origine-Destination (OD) fournit des données précieuses sur les déplacements des ménages, mais ne fournit pas d'informations sur les caractéristiques et les coûts du logement. D'autre part, l'Enquête Canadienne sur le Logement (ECL) et le recensement fournissent des informations détaillées sur les caractéristiques et les coûts du logement, mais ne fournissent pas de données précises sur les coûts de transport. A ce jour, les seules données qui offrent des renseignements à la fois sur les coûts du logement et du transport, sont celles de l'Enquête sur les Dépenses des Ménages (EDM). Bien que ces enquêtes soient une source de renseignements précieuse sur l'allocation du budget des ménages aux postes de transport et d'habitation, ces bases de données présentent des limites importantes. En effet, s'il est relativement facile pour les ménages d'estimer précisément leurs dépenses d'habitation, car il s'agit en général de montants fixés en amont (remboursement d'un prêt, paiement d'un loyer) ou indiqués sur des factures facilement consultables (eau, combustibles et électricité), il est beaucoup plus difficile pour ces derniers d'estimer leurs dépenses de transport, particulièrement à long terme. On remarque par exemple que la dépréciation (la réduction de valeur d'un véhicule subie pendant la période de propriété) et les intérêts non-perçus (intérêts nets d'inflation qui auraient été perçus au cours d'une certaine période si le capital n'avait pas été immobilisé pour posséder une voiture) ne sont pas considérés dans les coûts de possession de véhicule(s), bien qu'ils soient deux facteurs importants lorsque l'on considère l'évolution des dépenses de transport sur le long terme (Cadus, 2013; Inbakaran & Shin, 2010). Les ménages ont donc tendance à sous-estimer leurs dépenses de transport, en particulier pour les coûts indirects (Andor et al., 2020; Canadian Automobile Association, 2018). Le manque de données transversales sur le logement et la mobilité soulignent l'importance d'une coopération interdisciplinaire pour l'élaboration de modèles plus précis et complets.

7.4 Perspectives

Afin de pallier ces limites, plusieurs options peuvent être envisagées. Cette étude représente une première contribution à l'analyse des composantes du coût résidentiel dans la région de Montréal. Par conséquent, certaines tâches n'ont pas été accomplies, ce qui laisse de nombreuses possibilités pour les futurs chercheurs dans ce domaine.

7.4.1 Pistes de solutions aux limites

Afin de pallier le manque de données transversales sur le logement et la mobilité, une solution intéressante serait d'intégrer aux enquêtes sur les déplacements des questions portant sur les caractéristiques et les coûts du logement. Une approche de ce type est en cours d'expérimentation en France, dans les métropoles de Grenoble et Clermont-Ferrand. Pour ces deux cas, un module expérimental sur le coût résidentiel a récemment été introduit aux Enquêtes Mobilité Certifiées Cerema (EMC²) (*OBS'ELUS | Modes de vie & mobilités*, 2022). Ces enquêtes pourraient aider à estimer les coûts de transport en utilisant des modèles pour calculer les distances parcourues et les coûts associés. La combinaison de ces données permettrait d'avoir une meilleure estimation des coûts résidentiels réels des ménages afin d'en brosser un portrait fiable à l'échelle du territoire.

Les pistes de solutions et perspectives d'études envisagées pour améliorer la précision et la fiabilité des estimations des coûts de possession des véhicules usagés, et pour proposer des estimations de coûts de possession sur un plus long terme, sont les suivantes :

- Mener des études sur les coûts de possession des véhicules usagés qui considèrent les caractéristiques spécifiques des véhicules et les habitudes de conduite de leurs propriétaires, en se concentrant sur des échantillons représentatifs et diversifiés de la population, qui tiennent compte des différences géographiques, socio-économiques et culturelles.
- Développer des modèles de simulation pour estimer l'évolution des coûts de possession des véhicules qui tiennent compte de l'évolution des prix des carburants et des primes d'assurance au fil du temps, ainsi que des intérêts non-perçus et de l'inflation et éventuellement un changement de véhicule (sur le long terme).
- Examiner l'impact des innovations technologiques telles que les véhicules électriques et autonomes sur les coûts de possession des véhicules, en analysant les coûts liés à la recharge des batteries, à la maintenance des composants électroniques, etc.
- Investiguer l'effet des politiques publiques, telles que les programmes de rabais pour l'achat de véhicules plus propres, sur les coûts de possession des véhicules et sur les comportements d'achat des consommateurs.

7.4.2 Futures explorations

Notre étude sur les enquêtes COVID-19 de 2020 et 2021 a permis d'identifier certaines tendances en matière de relocalisation et de caractériser les ménages les plus susceptibles de vouloir se relocaliser. Cependant, avec l'avènement de nouvelles données depuis la réalisation de notre enquête, notamment l'enquête COVID-19 de 2022, il serait intéressant de voir si les tendances observées pour les années 2020 et 2021 se poursuivent en 2022. De plus, des données sur les déménagements effectivement réalisés sont désormais disponibles, notamment grâce au recensement de la population de 2021 réalisé par Statistique Canada. Il serait ainsi pertinent de vérifier si les conclusions de notre étude se reflètent dans les comportements réels de relocalisation. En d'autres termes, il conviendrait de déterminer si les ménages qui ont exprimé le souhait de se relocaliser ont effectivement agi en conséquence. Cette analyse permettrait de valider la pertinence de notre recherche et de vérifier si les désirs de relocalisation des ménages sont un simple souhait ou s'ils se traduisent par des actions concrètes.

Pour assurer une large diffusion et une utilisation optimale de l'outil de calcul des coûts résidentiels, il est essentiel de mettre en place une stratégie de publicité et de sensibilisation appropriée. Une campagne de communication ciblée visant à informer les ménages sur l'existence et les avantages de cet outil pourrait jouer un rôle crucial dans sa diffusion. De plus, il serait pertinent d'explorer les possibilités de partenariats avec des acteurs clés du secteur immobilier tels que les agences immobilières, les promoteurs et les courtiers afin d'intégrer l'outil dans leurs pratiques et de le rendre accessible aux futurs acheteurs et locataires. Parallèlement, les planificateurs urbains et les décideurs politiques devraient également être impliqués dans l'utilisation de cet outil. Il pourrait servir de support à l'élaboration de politiques et de plans d'aménagement du territoire visant à promouvoir des quartiers plus durables et à réduire les impacts environnementaux liés à la mobilité. Une collaboration étroite entre les chercheurs, les urbanistes et les décideurs permettrait de maximiser l'impact de cet outil sur la prise de décision et sur les politiques urbaines. En outre, il serait intéressant de réaliser des études approfondies sur l'efficacité et l'impact réel de cet outil sur les décisions prises par les ménages en matière de choix de logement et de mobilité. Des enquêtes longitudinales pourraient être mises en place pour suivre les comportements des ménages avant et après avoir utilisé l'outil, afin d'évaluer son influence sur leurs décisions. Cela permettrait d'obtenir des données empiriques solides et d'affiner continuellement l'outil pour le rendre plus pertinent et efficace.

En somme, pour maximiser l'impact de cet outil de calcul des coûts résidentiels, des efforts de diffusion et de sensibilisation devront être entrepris auprès des ménages, des acteurs du secteur immobilier et des planificateurs urbains. Des études supplémentaires seront nécessaires pour évaluer l'efficacité de l'outil et mesurer son impact réel sur les choix des ménages. Ces perspectives d'études futures contribueront à renforcer la pertinence et l'application pratique de cet outil dans la prise de décision en matière de logement et de mobilité.

Les résultats de notre étude, qui éclairent la relation complexe entre la localisation résidentielle, les dépenses de transport et d'habitation, peuvent orienter les politiques publiques visant à promouvoir des choix plus durables en matière de logement et de transport, en informant les ménages sur les coûts réels de leurs décisions. Des prises de décisions plus éclairées permettraient d'éviter des situations de vulnérabilité financière et de réduire les conséquences environnementales des déplacements quotidiens. En fin de compte, cette étude contribue à une meilleure compréhension de la relation complexe entre la localisation résidentielle, les dépenses de transport et d'habitation, et ouvre la voie à de nouvelles pistes de recherche et d'action dans le domaine de l'abordabilité et de la durabilité urbaine.

RÉFÉRENCES

- Abogo : Transportation costs made transparent.* (s. d.). Consulté 24 mai 2023, à l'adresse <http://abogo.cnt.org/>
- Albert, P., & Agha, P. (2009). *Analyse des coûts globaux logement-transport sur deux aires urbaines de la région Midi-Pyrénées—Rapport final de la phase 1.* Bureau d'étude ARTEMIS. <https://side.developpement-durable.gouv.fr/Default/doc/SYRACUSE/338330/analyse-des-couts-globaux-logement-transport-sur-deux-aires-urbaines-de-la-region-midi-pyrenees-rapp>
- Albrecht, M., Krueger, T., & Marggraf, U. (2009). „Einmal im Leben ...“. Informations für private Haushalte über die Folgekosten neuer Wohnstandorte mit Hilfe des WoMo-Rechners. *Institut allemand d'urbanisme -Difu-, Berlin, 3*, 145-154.
- Algorithme APriori. (2021). In *Wikipédia*. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Algorithme_APriori&oldid=179912531
- Allard, M., Feyt, G., Fourny, M.-C., & Talandier, M. (2014). Raising Awareness on Mobility Costs for Households: A Lever for Changing Residential Choices and Improving Local Governance? Experimentation in the French Alpine Metropolitan Area. *Transportation Research Procedia, 4*, 255-270. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.11.020>
- Andor, M. A., Gerster, A., Gillingham, K. T., & Horvath, M. (2020). Running a car costs much more than people think—Stalling the uptake of green travel. *Nature, 580*(7804), 453-455. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01118-w>

- Anowar, S., Eluru, N., & Miranda-Moreno, L. (2018). How household transportation expenditures have evolved in Canada : A long term perspective. *Transportation*, 45, 1297-1317. <https://doi.org/10.1007/s11116-017-9765-3>
- Aydin, E., & Kurschner Rauck, K. (2022). *Low-emission zones, modes of transport and house prices : Evidence from Berlins commuter belt*. <https://doi.org/10.1007/s11116-022-10295-8>
- Besselièvre, M. (2019). *Prise en compte du coût résidentiel par les professionnels privés impliqués dans les recherches immobilières des ménages*. ENTPE.
- Bhat, C. R. (2008). The multiple discrete-continuous extreme value (MDCEV) model : Role of utility function parameters, identification considerations, and model extensions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 42(3), 274-303. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2007.06.002>
- Bhat, C. R. (2015). A comprehensive dwelling unit choice model accommodating psychological constructs within a search strategy for consideration set formation. *Transportation Research Part B: Methodological*, 79, 161-188. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.05.021>
- Bonne, N. (2018). *Outils de coûts résidentiel, analyse de l'outil Mobicost* (p. 21). Cerema.
- Bonne, N., & Cauhopé, M. (2018). *Mobilisation de la notion de coût résidentiel dans les études locales*. Cerema Territoires et Ville.
- Brandt, S., & Maennig, W. (2012). The impact of rail access on condominium prices in Hamburg. *Transportation*, 39(5), 997-1017. <https://doi.org/10.1007/s11116-011-9379-0>
- Burnley, I. H., Murphy, P. A., & Jenner, A. (1997). Selecting Suburbia : Residential Relocation to Outer Sydney. *Urban Studies*, 34(7), 1109-1127. <https://doi.org/10.1080/0042098975754>

- Cadus, S. (2013). *A Housing and Mobility Cost Calculator for the Province of Salzburg* [Paris-Lodron University of Salzburg]. https://www.researchstudio.at/wp-content/uploads/2020/05/masterthesis_cadus_2013.pdf
- Calculateur Mobilité.* (s. d.). Wallonie Mobilité. Consulté 25 mai 2023, à l'adresse <http://mobilite.wallonie.be/home/outils/calculateur-mobilite.html>
- Calculatrice domestique MORECO/ASTUS 2.0.* (s. d.). Consulté 25 mai 2023, à l'adresse <https://ispacevm58.researchstudio.at/haushaltsrechner/#/start>
- Canadian Automobile Association. (s. d.). *CAA Driving Costs Calculator*. Consulté 24 mai 2022, à l'adresse <https://carcosts.caa.ca/>
- Canadian Automobile Association. (2013). *Coûts d'utilisation d'une automobile 2013*. Canadian Automobile Association.
- Canadian Automobile Association. (2018, mai 24). *Canadians unclear about the true cost of owning a vehicle*. CAA National. <https://www.caa.ca/news/canadians-unclear-about-the-true-cost-of-owning-a-vehicle/>
- Caubel, D. (2017). *Outils de coûts résidentiel—Analyse de l'outil e-mob.fr*. Cerema Centre-Est.
- Center for Neighborhood Technology. (2017). *H + T Index Methods*. Center for Neighborhood Technology.
- Cervero, R., & Gorham, R. (1995). Commuting in Transit Versus Automobile Neighborhoods. *Journal of the American Planning Association*, 61(2), 210-225. <https://doi.org/10.1080/01944369508975634>

- Clark, W. A. V. (2013). Life course events and residential change : Unpacking age effects on the probability of moving. *Journal of Population Research*, 30(4), 319-334.
<https://doi.org/10.1007/s12546-013-9116-y>
- Communauté métropolitaine de Montréal. (2023, février 23). Tarification kilométrique : Le contrat de l'étude de faisabilité octroyé à la firme Aviséo Conseil. *Communauté métropolitaine de Montréal - CMM*. <https://cmm.qc.ca/communiqués/tarification-kilometrique-le-contrat-de-letude-de-faisabilite-octroye-a-la-firme-aviseo-conseil/>
- Crozy, J. (s. d.). *Le coût résidentiel : De quoi parle-t-on ? (L'essentiel)*. Cerema Territoires et Ville.
- Currie, G., & Delbosc, A. (2009). Car ownership and low income on the urban fringe—Benefit or hindrance? *Social Research in Transport (SORT) Clearinghouse*.
- De Groot, C., Mulder, C., Das, M., & Manting, D. (2011). Life Events and the Gap Between Intention to Move and Actual Mobility. *Environment and Planning A*, 43, 48-66.
<https://doi.org/10.1068/a4318>
- Deka, D. (2015). Relationship between Households' Housing and Transportation Expenditures : Examination from Lifestyle Perspective. *Transportation Research Record*, 2531(1), 26-35.
<https://doi.org/10.3141/2531-04>
- Desjardins, X., & Mettetal, L. (2012). L'habiter périurbain face à l'enjeu énergétique. *Flux*, 89-90(3-4), 46-57. <https://doi.org/10.3917/flux.089.0046>
- Devalière, I. (2012). L'inconfort thermique au cœur des inégalités entre les ménages. Appui sur l'Enquête Nationale Logement 2006. *Flux*, 89-90(3-4), 58-66.
<https://doi.org/10.3917/flux.089.0058>

- Dittrich-Wesbuer, A., & Osterhage, F. (2008). Wohnstandortentscheidungen in der Stadtregion : Das Beispiel „Bergisches Land“. *ILS – Institut für Landes - und Stadtentwicklungsforschung*, 02/08.
- Dube, J., Theriault, M., & Des Rosiers, F. (2013). Commuter rail accessibility and house values : The case of the Montreal South Shore, Canada, 1992-2009. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 54, 49-66. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2013.07.015>
- Dumont, M. (2023, août 19). *La taxation de l'essence : Augmentation, confusion et inflation*. Le Journal de Montréal. <https://www.journaldemontreal.com/2023/08/19/la-taxation-de-lessence-augmentation-confusion-et-inflation>
- Duretz, M. (2020, février 23). Pour se rendre au travail à vélo, cinq règles d'or. *Le Monde.fr*. https://www.lemonde.fr/m-perso/article/2020/02/23/velotafer-s-y-mettre-et-ne-pas-decrocher_6030501_4497916.html
- Efthymiou, D., & Antoniou, C. (2013). How do transport infrastructure and policies affect house prices and rents? Evidence from Athens, Greece. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 52, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2013.04.002>
- Eluru, N., Sener, I. N., Bhat, C. R., Pendyala, R. M., & Axhausen, K. W. (2009). Understanding Residential Mobility. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2133(1), 64-74. <https://doi.org/10.3141/2133-07>
- Fabre, L. (2018). *Développement d'une typologie de ménages pour enrichir la prévision de la demande de transport* [Masters, École Polytechnique de Montréal]. <https://publications.polymtl.ca/3192/>

- Ferdous, N., Pinjari, A. R., Bhat, C. R., & Pendyala, R. M. (2010). A comprehensive analysis of household transportation expenditures relative to other goods and services : An application to United States consumer expenditure data. *Transportation*, 37(3), 363-390. <https://doi.org/10.1007/s11116-010-9264-2>
- Foley, M. (s. d.). 8.1 *Classification Tree* | *My Data Science Notes*. bookdown. Consulté 7 avril 2023, à l'adresse <https://bookdown.org/mpfoley1973/data-sci/classification-tree.html>
- Gouvernement du Canada, S. C. (2022, novembre 14). *Enquête sur les dépenses des ménages (EDM)*. https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p2SV_f.pl?Function=getSurvey&Id=1491861
- Government of Canada, S. C. (2020, avril 17). *Proximity Measures Database*. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/17-26-0002/172600022020001-eng.htm>
- Government of Canada, S. C. (2022, février 9). *Le Quotidien—La croissance et l'étalement des grands centres urbains du Canada se poursuivent*. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/220209/dq220209b-fra.htm>
- Guerra, E., & Kirschen, M. (2016). Housing Plus Transportation Affordability Indices : Uses, Opportunities, and Challenges. *International Transport Forum Discussion Papers*, Article 2016/14. <https://ideas.repec.org//p/oec/itfaab/2016-14-en.html>
- Guo, Y., Agrawal, S., Peeta, S., & Somenahalli, S. (2016). Impacts of property accessibility and neighborhood built environment on single-unit and multiunit residential property values. *Transportation Research Record*, 2568, 103-112. <https://doi.org/10.3141/2568-15>
- Haas, P. M., Makarewicz, C., Benedict, A., & Bernstein, S. (2008). Estimating Transportation Costs by Characteristics of Neighborhood and Household. *Transportation Research Record*, 2077(1), 62-70. <https://doi.org/10.3141/2077-09>

- Hamidi, S., & Ewing, R. (2015). Is Sprawl Affordable for Americans? : Exploring the Association Between Housing and Transportation Affordability and Urban Sprawl. *Transportation Research Record*, 2500(1), 75-79. <https://doi.org/10.3141/2500-09>
- Hamidi, S., Ewing, R., & Renne, J. (2016). How Affordable Is HUD Affordable Housing? *Housing Policy Debate*, 26(3), 437-455. <https://doi.org/10.1080/10511482.2015.1123753>
- Hamidi, S., Jahan, J., & Moazzeni, S. (2018). Does Location Matter? Performance Analysis of the Affordable Housing Programs with Respect to Transportation Affordability in Dallas Fort Worth (DFW) Metropolis. *Transportation Research Record*, 2672(3), 194-205. <https://doi.org/10.1177/0361198118790838>
- Hawkins, J., & Nurul Habib, K. (2018). A Spatio-Temporal Hedonic Price Model to Investigate the Dynamics of Housing Price in Contexts of Urban Form and Transportation Services in Toronto. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, Forthcoming. <https://doi.org/10.1177/0361198118774153>
- Heyman, A., Chen, X., Manum, B., Nowell, M., & Barton, D. (2017, juillet 4). *Attributes of location and housing prices in Oslo : A monetary valuation with spatial configuration in mind*. 11th Space Syntax Symposium, Lisbon, Portugal.
- Hickey, R., Lubell, J., Haas, P., & Morse, S. (2012). *Losing Ground : The Struggle of Moderate-Income Households to Afford the Rising Costs of Housing and Transportation*. Center for Housing Policy, Center for Neighborhood Technology. http://cnt.org/sites/default/files/publications/CNT_LosingGround.pdf

- Hunt, J. D. (2010). Stated Preference Examination of Factors Influencing Residential Attraction. In F. Pagliara, J. Preston, & D. Simmonds (Éds.), *Residential Location Choice : Models and Applications* (p. 21-59). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12788-5_2
- Inbakaran, C., & Shin, E. (2010). Travel expenditure of Melbourne households—Spatial variation by purpose. *33rd Australasian Transport Research Forum, ATRF 2010, September 29, 2010 - October 1, 2010*.
- Kortum, K., Paleti, R., Bhat, C. R., & Pendyala, R. M. (2012). Joint Model of Residential Relocation Choice and Underlying Causal Factors. *Transportation Research Record*, 2303(1), 28-37. <https://doi.org/10.3141/2303-04>
- Lee, B. H. Y., & Waddell, P. (2010). Residential mobility and location choice : A nested logit model with sampling of alternatives. *Transportation*, 37(4), 587-601. <https://doi.org/10.1007/s11116-010-9270-4>
- Lefebvre-Ropars, G.-L. (2017). *Analyse de la contribution des indicateurs de marchabilité à la modélisation de la demande piétonne* [Masters, École Polytechnique de Montréal]. <https://publications.polymtl.ca/2714/>
- Loiseau, C. (2023, juin 20). Explosion des prix des loyers au Québec : Une hausse record de 13,7% en un an. *Le journal de Montréal*. <https://www.journaldemontreal.com/2023/06/20/explosion-des-loyers-au-quebec--une-hausse-record-de-139-en-un-an>
- Ma, J., Ye, X., & Pinjari, A. R. (2019). Practical Method to Simulate Multiple Discrete-Continuous Generalized Extreme Value Model : Application to Examine Substitution Patterns of

- Household Transportation Expenditures. *Transportation Research Record*, 2673(8), 145-156. <https://doi.org/10.1177/0361198119842819>
- Maresca, B. (2013, mars). La précarité énergétique pose la question du coût du logement en France. *CREDOC, Consommation et modes de vie*(258), 4.
- Marshall, W. E., & Henao, A. (2015). The Shock Heard round the Suburbs : Assessing the Vulnerability, Resilience, and Transportation Affordability of Higher Fuel Price Scenarios. *Transportation Research Record*, 2531(1), 63-75. <https://doi.org/10.3141/2531-08>
- Miller, E. J., Roorda, M. J., Haider, M., & Mohammadian, A. (2004). Empirical Analysis of Travel and Housing Expenditures in the Greater Toronto, Canada, Area. *Transportation Research Record*, 1898(1), 191-201. <https://doi.org/10.3141/1898-23>
- Mobicost. (s. d.). Consulté 25 mai 2023, à l'adresse <https://mobicost.univ-grenoble-alpes.fr/>
- MORECO Tool for settlement assessment. (s. d.). Consulté 25 mai 2023, à l'adresse <http://ispacevm03.researchstudio.at/moreco-fr/>
- Morency, C., Tremblay-Racicot, F., & Milord, B. (2022). *L'abordabilité intégrée des localisations résidentielles : État des connaissances scientifiques, des données, des indicateurs et des outils*. 57.
- Morency, C., & Verreault, H. (2020). Assessing the Efficiency of Household Residential Location Choices. *Transportation Research Record*, 2674(11), 455-465. <https://doi.org/10.1177/0361198120946023>
- Nelson, A. C. (2017). Transit and Real Estate Rents. *Transportation Research Record*, 2651(1), 22-30. <https://doi.org/10.3141/2651-03>

OBS'ELUS | Modes de vie & mobilités : Qu'est-ce que le coût résidentiel ? - Partager - Article.

(2022, novembre 7). L'Agence d'urbanisme de la région grenobloise.
<https://www.aurg.fr/article/355/2205-obs-elus-modes-de-vie-mobilites-qu-est-ce-que-le-cout-residentiel.htm>

Pelé, N., Morency, C., & Nicolas, J.-P. (2016). *Le périurbain : Des territoires et des dépenses de mobilité quotidienne contrastés – Application au cas de Lyon (France)*. 13e Colloque de la Relève VRM, Montréal, Québec.

Poirier, C. (2021). *Évaluation de la qualité et de la diversité des alternatives de transport en commun*. Polytechnique Montréal.

Prinz, T., & Allard, M. (2014). *Informations et conseils : MORÉCO - Outil de simulation de distances à parcourir*.

Rashidi, T. H., & Mohammadian, A. (2011). Behavioral housing search choice set formation : A hazard-based screening model of property value and work distance. *T and DI Congress 2011: Integrated Transportation and Development for a Better Tomorrow - Proceedings of the 1st Congress of the Transportation and Development Institute of ASCE*, 919-937.
[https://doi.org/10.1061/41167\(398\)88](https://doi.org/10.1061/41167(398)88)

Rashidi, T. H., Mohammadian, A., & Koppelman, F. S. (2011). Modeling interdependencies between vehicle transaction, residential relocation and job change. *Transportation*, 38(6), 909-932. <https://doi.org/10.1007/s11116-011-9359-4>

Rethinking Mortgages. (2015, avril 2). Center for Neighborhood Technology.
<https://cnt.org/projects/rethinking-mortgages>

- Revington, N., & Townsend, C. (2016). Market Rental Housing Affordability and Rapid Transit Catchments : Application of a New Measure in Canada. *Housing Policy Debate*, 26(4-5), 864-886. <https://doi.org/10.1080/10511482.2015.1096805>
- Rudd, J., & Priestley, J. (2017). *A Comparison of Decision Tree with Logistic Regression Model for Prediction of Worst Non-Financial Payment Status in Commercial Credit*.
- Schrenk, M., Eizinger, C., Krejci, P., & Dorrzapf, L. (2012). Implementation of the online tool « Mobility pass for residential real estate ». *19th Intelligent Transport Systems World Congress, ITS 2012, October 22, 2012 - October 26, 2012*, EU-00621.
- Shaheen, S., Cohen, A., Zohdy, I., & Kock, B. (2016). *Shared Mobility : Current Practices and Guiding Principles*. <https://escholarship.org/uc/item/0gz3b3fx>
- Smith, B., & Olaru, D. (2011). Validating stated preference surveys through the use of hedonic regression models with an application to housing prices around transit oriented developments. *17th International Conference on Urban Transport and the Environment - UT 2011, June 6, 2011 - June 8, 2011*, 116, 303-313. <https://doi.org/10.2495/UT110261>
- Statistique Canada. (2014, avril 23). *Migration from central to surrounding municipalities in Toronto, Montréal and Vancouver*. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/11-008-x/2010002/article/11159-eng.htm>
- Stone, M. E. (2006). What is housing affordability? The case for the residual income approach. *Housing Policy Debate*, 17(1), 151-184. <https://doi.org/10.1080/10511482.2006.9521564>
- The H+T Affordability Index*. (s. d.). H+T Affordability Index. Consulté 24 mai 2023, à l'adresse <https://htaindex.cnt.org/>

- Tillema, T., van Wee, B., & Ettema, D. (2010). The influence of (toll-related) travel costs in residential location decisions of households : A stated choice approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(10), 785-796. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2010.07.009>
- Tischler, St., & Mailer, M. (2016a). NaWo—A Tool for More Sustainable Residential Location Choice. *Transportation Research Procedia*, 19, 109-118. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.12.072>
- Tischler, St., & Mailer, M. (2016b). NaWo—A Tool for More Sustainable Residential Location Choice. *Transportation Research Procedia*, 19, 109-118. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.12.072>
- Torzewski, M. (2020). Public transport accessibility and the prices of nearby properties : The case of the first metro line in Warsaw. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 20(2), Article 2. <https://doi.org/10.18757/ejtir.2020.20.2.3979>
- Vandersmissen, M.-H., Séguin, A.-M., Thériault, M., & Claramunt, C. (2009). Modeling propensity to move after job change using event history analysis and temporal GIS. *Journal of Geographical Systems*, 11(1), 37-65. <https://doi.org/10.1007/s10109-009-0076-x>
- Ville de Montréal. (2018). *Dépenses annuelles moyennes des ménages des villes et arrondissements de l'agglomération de Montréal 2016*. http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/MTL_STATS_FR/MEDIA/DOCUMENTS/CLASSEMENTECONOMIQUEDEPENSESMENAGES2016.PDF
- Walk Score. (2022, septembre 24). Wikipedia. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Walk_Score&oldid=1112032983

- WalkScore*. (s. d.). Walk Score. Consulté 24 mai 2023, à l'adresse <https://www.walkscore.com/>
- Wang, F., Mao, Z., & Wang, D. (2020). Residential relocation and travel satisfaction change : An empirical study in Beijing, China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 135, 341-353. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.03.016>
- Wang, L., Miwa, T., Jiang, M., & Morikawa, T. (2022). Household Lifecycle, Daily Travel Behavior, and Residential Location : Case in Aichi, Japan. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4227683>
- Yang, J. (2006). Transportation Implications of Land Development in a Transitional Economy : Evidence from Housing Relocation in Beijing. *Transportation Research Record*, 1954(1), 7-14. <https://doi.org/10.1177/0361198106195400102>
- Yi, C., & Kim, K. (2018). A Machine Learning Approach to the Residential Relocation Distance of Households in the Seoul Metropolitan Region. *Sustainability*, 10(9), 2996 (19 pp.). <https://doi.org/10.3390/su10092996>
- Yi, C., & Lee, S. (2014). An empirical analysis of the characteristics of residential location choice in the rapidly changing Korean housing market. *Cities*, 39, 156-163. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2014.03.002>
- Yu, H., Zhang, M., & Pang, H. (2017). Evaluation of transit proximity effects on residential land prices : An empirical study in Austin, Texas. *Transportation Planning and Technology*, 40(8), 841-854. <https://doi.org/10.1080/03081060.2017.1355880>
- Yu Jianhui, Dong Guanpeng, Zhang Wenzhong, & Li Jiaming. (2015). Study on the synergy between intra-urban resident's migration and job change in Beijing. *Journal of Geographical Sciences*, 25(8), 978-990. <https://doi.org/10.1007/s11442-015-1214-7>