

Titre: Méthodes de simulation de scénarios macroscopiques de
Title: densification résidentielle à Montréal

Auteur: Quentin Chevalier
Author:

Date: 2017

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Chevalier, Q. (2017). Méthodes de simulation de scénarios macroscopiques de
densification résidentielle à Montréal [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique
de Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/2669/>
Citation:

Document en libre accès dans PolyPublie

Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/2669/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Catherine Morency
Advisors:

Programme: Génie civil
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

MÉTHODES DE SIMULATION DE SCÉNARIOS MACROSCOPIQUES DE
DENSIFICATION RÉSIDENTIELLE À MONTRÉAL

QUENTIN CHEVALIER

DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

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

JUIN 2017

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

MÉTHODES DE SIMULATION DE SCÉNARIOS MACROSCOPIQUES DE
DENSIFICATION RÉSIDENTIELLE À MONTRÉAL

présenté par : CHEVALIER Quentin

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

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

M. TRÉPANIER Martin, Ph. D., président

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

Mme SIOUI Louiselle, Ph. D., membre

DÉDICACE

*À ceux qui recherchent le chemin long et sinueux vers des fontaines
qui étanchent la soif,*

*Je dédicace ce mémoire aux personnes en quête de sens, à celles
qui se sentent aliénées dans un monde qui ne leur laisse rien choisir de
plus qu'une marque de voiture ou de vêtement.*

*Que chacun puisse trouver sa voie dans le souci de l'autre, du
vivant dans son ensemble.*

REMERCIEMENTS

Je remercie en premier lieu ma directrice de recherche, Catherine Morency, pour avoir accepté d'encadrer mon parcours de recherche à Polytechnique Montréal, pour son suivi et ses orientations tout au long de ce cheminement. Je la remercie surtout de vivre ses activités avec un tel enthousiasme. Même si j'envisage d'autres orientations à l'issue de cette expérience, je trouve plaisant de travailler avec des personnes passionnées et souriantes. Si j'aurais souhaité avoir plus d'occasions de partager mes motivations et mes engagements les plus sincères, j'apprécie que ceux-ci aient pu être écoutés au moment où j'en avais le plus besoin et que nous ayons pu envisager un virage de sortie dans des conditions satisfaisantes. Merci aussi pour tes relectures attentives !

Je remercie aussi chaleureusement Patrick Morency, chercheur en santé publique, et son équipe de la Direction de la Santé Publique de Montréal avec qui j'ai eu l'occasion de collaborer pendant mes activités de recherche à Polytechnique. Je suis heureux d'avoir eu l'occasion de découvrir une autre facette du monde de la recherche en venant dans les locaux de la DSP. J'ai apprécié avoir à jouer un rôle en aparté d'un encadrement académique formel pendant ces rencontres. Merci aussi à tous ceux qui ont rendu possible mon projet de recherche, ceux qui en sont à l'origine comme ceux qui l'ont rendu possible sur le plan financier, le CRSNG, les IRSC, le Fond Vert et l'institut EDDEC.

Naturellement, j'adresse tous mes remerciements à Hubert Verreault, assistant de recherche à la chaire Mobilité, pour ses conseils techniques à différents stades de notre projet de recherche. Un grand merci aussi à Charles Poitras, diplômé de Polytechnique Montréal qui m'a appris à maîtriser Excel il y a quelques années, ainsi qu'à Pierre-Léo Bourbonnais, assistant de recherche à la chaire Mobilité, pour m'avoir inspiré une mise à niveau satisfaisante en programmation. J'avoue que ma progression aurait été bien plus difficile sans leurs apports respectifs.

Je veux aussi remercier M. Pierre Baptiste, Directeur des études supérieures de Polytechnique Montréal, pour m'avoir finalement permis de transférer un cours de ma session probatoire vers mon programme de Maîtrise où j'avais obtenu la note maximale. En tant qu'étudiant en double-diplôme venant d'une école d'ingénieur française, je souhaite que ce traitement devienne la norme et que ne soient plus avantagés certains étudiants selon leur école de provenance par quelques critères subjectifs. Je souhaite aussi qu'un meilleur équilibre soit trouvé entre le fardeau des cours et les obligations de recherche dans le cadre d'un double-diplôme.

J'ai aussi une pensée de gratitude pour l'INSA de Lyon qui m'a permis de réaliser ce séjour de deux ans à Montréal dans des conditions avantageuses. À ce titre, j'adresse aussi mes remerciements à tous ceux qui œuvrent à la démocratisation de l'accès à une formation et, en particulier, à toutes celles et ceux qui participent aux bonnes relations franco-qubécoises dont j'ai bénéficié. Le seul souhait que j'ai et l'exigence que je voudrais porter, est que nous puissions élargir les domaines de formation valorisés par nos sociétés respectives et nous dégager de la périlleuse escalade vers des niveaux de qualification de plus en plus astronomiques et des spécialisations de plus en plus spécialisées.

Je suis reconnaissant à la souplesse du cheminement d'études québécois pour m'avoir permis de prendre mon dernier cours de Maîtrise à l'extérieur de mon établissement d'attache et ainsi d'avoir suivi le séminaire de Yves-Marie Abraham sur la décroissance soutenable à HEC Montréal. Cette expérience a été pour moi très enrichissante et s'est avérée décisive sur le plan de mes engagements pour le futur. Je remercie très sincèrement Yves-Marie pour toutes les perspectives de réflexion qu'il m'a apportées et son engagement bienveillant et militant.

Enfin, et c'est à eux que j'adresse le plus grand des remerciements, je témoigne toute ma gratitude aux proches qui m'ont accompagné dans cette dernière épreuve académique comme aux personnes qui m'ont transmises une part de leur humanité. Ma conjointe et colocataire de bureau, Lila Benzid, pour le plus grand des soutiens, le partage de mes états d'âmes et les réflexions qu'elle m'a proposées progressivement depuis que nous nous connaissons. M. Gilbert Raudrant, professeur de Mathématiques, pour la passion qu'il incarnait quand je l'ai connu et son tempérament hors-norme, Miguel Martinez et mes autres amis de la résidence Jussieu pour leur soutien implacable et les innombrables moments de partage l'année où je préparais mon départ à Montréal, et aussi mon cousin Oscar Aubry et mes amis ardéchois qui m'ont permis de tenir le coup à maintes reprises. Enfin, merci aux glaneurs en tout genre qui m'ont aidé à mettre un sens concret sur les questions du gaspillage et de la spéculation. À tous ceux qui se reconnaissent dans le désir d'améliorer les relations entre les personnes, qui œuvrent pour la paix et voient de la beauté en tout être, qui encouragent chacun à exprimer sa personnalité et à créer le monde dont nous rêvons, j'adresse le plus grand des mercis. Je remercie aussi chaleureusement ma famille proche pour les efforts qu'ils font en essayant de me supporter et pour leur amour inconditionnel largement éprouvé. Merci enfin à toi, lecteur, qui rend ce mémoire moins austère !

RÉSUMÉ

Dans le contexte d'un projet qui vise à étudier les impacts des transports sur la santé de la population à Montréal, cette recherche étudie différentes approches méthodologiques propres à simuler des scénarios de répartition de la population sur le territoire de l'agglomération et à estimer leurs impacts en termes de mobilité. Les scénarios qui ont été expérimentés cherchent à augmenter la densité de ménages ou de personnes à proximité du centre-ville ou des nœuds de transport en commun. De telles perspectives de développement sont communes à un nombre important de villes de pays industrialisés et sont mentionnées dans le plan d'aménagement de la région montréalaise (PMAD). Cette recherche est inscrite dans le contexte du développement durable en transport, qui dénonce les impacts négatifs de la surutilisation de l'automobile et cherche à proposer des alternatives basées sur les concepts d'environnement, d'économie et de social. La question des impacts des transports sur la santé telle qu'elle est envisagée dans le projet est inscrite dans ce paradigme.

Ce travail de recherche apporte un élément de réponse à la problématique de simuler des éléments de rupture importants dans un paradigme alternatif à celui qui regroupe traditionnellement les instances chargées de la planification des transports et de l'urbanisme à Montréal, comme dans beaucoup d'autres villes. Les outils traditionnels, s'ils peuvent être qualifiés de robustes et sont supposés assez fiables, sont davantage orientés vers des estimations tendancielles et ne proposent pas d'évaluer des scénarios contrastés d'aménagement du territoire. Là n'est pas leur mandat en général. Cette recherche est aussi intéressante sur le plan de sa démarche qui s'inscrit dans la recherche d'un raffinement progressif au fur et à mesure de l'avancement du projet, en s'amorçant justement par des tentatives de simulation de scénarios aux hypothèses contrastées pour aller vers l'intégration progressive des orientations d'aménagement de la métropole.

Cette recherche propose essentiellement d'étudier trois alternatives de modélisation d'une densification résidentielle. Sa contribution principale relève d'une formalisation algorithmique dans un ensemble d'organigrammes qui pourraient servir de support au développement d'un outil de simulation plus performant et plus facile d'utilisation que celui qui a été développé dans le cadre de notre implication sur le projet. En outre, cette recherche propose de formaliser le concept de simulateur d'une densification résidentielle en trois étapes principales, soit les définitions de cibles de densités, la relocalisation de la population et l'affectation d'un comportement de mobilité.

Toutes les approches envisagées proposent des alternatives d’implémentation basées sur ces trois concepts.

Après avoir discuté des différentes possibilités de modélisation d’une densification résidentielle, orientée vers le centre-ville ou vers les nœuds de transport collectif, ce mémoire propose d’évaluer les scénarios par un ensemble d’indicateurs pertinents en termes de développement durable et d’étude d’impacts sur la santé. Les différentes méthodes visent à augmenter la densité de secteurs résidentiels de la région montréalaise en relocalisant les ménages de secteurs périphériques vers des secteurs centraux en se basant sur l’échantillon de l’enquête Origine-Destination (OD) de 2008. Les simulations reposent donc sur le déplacement des ménages et des personnes et ceci a pour effet de vider les secteurs périphériques pour remplir les secteurs centraux. Suite à une approche de modélisation préliminaire basée sur la modification des facteurs de pondération des personnes de l’enquête OD de 2008 afin de simuler une concentration de la population dans les secteurs proches du centre économique de la région d’étude, nous proposons une méthode alternative pour simuler une relocalisation des ménages et pour transmettre des comportements de mobilité aux personnes qui les composent. Dans cette deuxième approche, les ménages relocalisés et leur secteur d’accueil sont sélectionnés par un tirage aléatoire et les comportements de mobilité sont attribués à l’aide d’une technique d’échantillonnage artificiel (méthode de la transformée inverse). Enfin, notre dernière approche de modélisation cherche à reproduire des objectifs fixés dans le PMAD (Plan métropolitain d’aménagement et de développement) en termes de densités de logements à proximité des nœuds de transports collectifs, dans des zones appelées TOD (*Transit Oriented Development*). Même s’ils sont encourageants au regard des hypothèses préalables en termes d’utilisation des différents modes de transport et d’attractivité des différents secteurs de la métropole, les résultats des simulations présentés doivent être considérés comme des résultats préliminaires du fait qu’ils reposent sur une seule simulation et qu’ils n’intègrent aucun modèle d’affectation à l’équilibre sur le réseau et aucun modèle de choix modal. En particulier, on observe une utilisation accrue du transport en commun et des modes de transport actifs dans les simulations de densification qui ont été réalisées, que ce soit en direction du centre-ville de Montréal ou des zones TOD du PMAD. En moyenne, les heures de départ pour les différentes activités et les distances de déplacement sont aussi impactées par les procédures de densification résidentielle mises en œuvre dans ce travail. Des recherches futures devraient contribuer à valider notre approche en la complétant sur ces derniers points.

ABSTRACT

Embedded in a project studying transportation health impacts in Montreal, this research examines different methodological processes in order to simulate scenarios of population distribution in the urban area and to estimate their impacts in terms of mobility. Scenarios that have been tested seek to increase density of households or people close to the downtown area or transit nodes. Such development prospectives could be identified in many cities of industrialized countries and are mentioned in the Montreal Regional Development Plan (PMAD). This research is written in the context of the sustainable development of transportation, which denounces the negative impacts of automobile dependency and seeks to develop alternatives based on environmental, economic and social concepts. As considered in the project, the issue of transportation health impacts is widely part of this paradigm.

This research provides an answer to the problem of simulating important breakdowns in an alternative way comparing to traditional methods. If traditional models can be qualified as robust and are assumed to be fairly reliable, they are more oriented towards trend estimates and do not propose to evaluate contrasting spatial planning scenarios. This is not their mandate in general. This research is also interesting in terms of its progressive refinement approach. It starts with attempts to simulate scenarios with contrasted hypotheses and then move towards the gradual integration of the metropolitan planning guidelines.

This paper essentially studies three modeling alternatives of a residential densification. Its main contribution stems from an algorithmic formalization in a set of flow charts that could serve as a support for a more efficient and user-friendlier simulation tool development. In addition, this research proposes to formalize the concept of a residential densification simulator in three main steps: defining density targets, relocating the population and assigning mobility behavior. All our approaches rely on implementations based on these three concepts.

After discussing the different possibilities for modeling residential densification, this paper proposes a set of relevant indicators to evaluate the scenarios in the context of sustainable development and health impact assessment. The various methods aim to increase the density of residential areas in the Montréal region by relocating households from peripheral sectors to central sectors based on the 2008 Origin-Destination (OD) sample. The methods are based on the migration of households and people and this has the effect of emptying the peripheral sectors to fill

the central sectors. Following a preliminary modeling approach based on the modification of the weighting factors of the OD survey of 2008 in order to simulate a concentration of the population close to the economic center of the study area, we propose an alternative method to simulate relocation of households and to transmit mobility behaviors to the people who compose them. In this second approach, relocated households and their host sector are randomly selected and mobility behaviors are assigned using an artificial sampling technique (inverse transform method). Finally, our latest modeling approach seeks to replicate objectives set in the PMAD (Metropolitan Planning and Development Plan) in terms of densities of dwellings close to public transport nodes, in Transit Oriented Development (TOD) areas. Although they are encouraging regarding to our preliminary hypotheses in terms of modes utilized and sectors attractiveness, the results must be considered as preliminary. Indeed, they are only based on a single simulation and do not incorporate any network equilibrium assignment and modal choice model. In particular, there has been an increase in the use of public transit and active transportation modes in the simulations that have been carried out, whether in the direction of downtown Montréal or in the TOD zones of the PMAD. On average, departure times for different activities and travel distances are also affected by the residential densification procedures implemented in this work. Future research is needed to validate our approach by complementing it on these last points.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	III
REMERCIEMENTS	IV
RÉSUMÉ.....	VI
ABSTRACT	VIII
TABLE DES MATIÈRES	X
LISTE DES TABLEAUX.....	XV
LISTE DES FIGURES.....	XX
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XXIV
LISTE DES ANNEXES	XXVI
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Contexte de l'étude.....	1
1.2 Problématique.....	3
1.3 Objectif général	4
1.4 Situation de l'étude par rapport au projet transport-santé	5
1.5 Objectifs spécifiques et hypothèses sur les résultats de simulation	7
1.5.1 Objectifs spécifiques	8
1.5.2 Hypothèse sur les résultats de simulation	8
1.6 Structure du mémoire	8
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE ET CADRE THÉORIQUE.....	10
2.1 Les impacts des transports sur la santé des personnes	10
2.1.1 Exposition à des polluants chimiques ou physiques	10
2.1.2 Accidents de la route	11

2.1.3	Sédentarité.....	11
2.2	Études des liens entre morphologie urbaine et mobilités.....	13
2.3	Le modèle de Bussière (1972).....	14
2.4	Prévision tendancielle de la demande de transport à Montréal.....	17
2.4.1	Les enquêtes Origine-Destination (OD) de la GRM.....	17
2.4.2	Pondération des données d'enquêtes Origine-Destination (OD)	18
2.4.3	Utilisation des facteurs de pondération pour des fins d'analyse	20
2.4.4	Utilisation des facteurs de pondération pour des fins de modélisation	20
2.5	Échantillonnage artificiel et modèles d'activité en planification	22
2.5.1	Méthode de la transformée inverse	22
2.5.2	Application aux modèles de transport basés sur les activités.....	25
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE.....		31
3.1	Objectifs des simulations	31
3.2	Les données d'enquêtes Origine-Destination (OD) de Montréal	32
3.2.1	Territoire d'enquête et découpage spatial	32
3.2.2	Données nécessaires aux modèles.....	33
3.3	Notions de densité et de densification résidentielle	34
3.4	Hypothèses de simulation.....	35
3.4.1	Définition du centre-ville de Montréal.....	35
3.4.2	Définition de la distance au centre-ville (DCV).....	35
3.4.3	Capacités d'accueil.....	36
3.5	Les grandes étapes des procédures de densification	36
3.5.1	Cibles de densité.....	36
3.5.2	Relocalisation de la population	37

3.5.3	Adoption d'un comportement de mobilité	38
3.6	Schéma méthodologique général	39
3.7	Interface de programmation	40
CHAPITRE 4	PREMIÈRE MÉTHODE DE MODÉLISATION : SIMULATION BASÉE SUR LES FACTEURS DE PONDÉRATION.....	41
4.1	Méthodologie spécifique	41
4.2	Remarques préliminaires.....	43
4.2.1	Perspective centrée sur les personnes ou sur les ménages ?	43
4.2.2	Outil de simulation développé pour cette méthode	43
4.3	Les étapes du modèle	44
4.3.1	Cibles de densité de personnes.....	44
4.3.2	Relocalisation des personnes et adoption d'un comportement de mobilité	52
4.4	Retour sur les hypothèses du modèle et perspectives	53
4.4.1	Contrôle des caractéristiques sociodémographiques.....	53
4.4.2	Adaptation de la méthode à une perspective ménage	58
4.5	Conclusion du Chapitre 4.....	62
CHAPITRE 5	DEUXIÈME MÉTHODE DE MODÉLISATION : SIMULATION PAR TIRAGES ALÉATOIRES ET MIMÉTISME.....	63
5.1	Méthodologie spécifique	64
5.2	Cibles de densité de ménages et surplus de ménages.....	66
5.3	Relocalisation de la population de ménages par sélection aléatoire	67
5.3.1	Segmentation des secteurs et des ménages	68
5.3.2	Sélection aléatoire de ménages candidats à une relocalisation	68
5.3.3	Sélection aléatoire d'un secteur d'accueil pour les ménages relocalisés	69
5.3.4	Sélection aléatoire d'une nouvelle adresse de résidence.....	70

5.3.5	Organigramme synthèse de l'algorithme de relocalisation des ménages.....	71
5.3.6	Validation qualitative de la relocalisation aléatoire des ménages candidats.....	72
5.4	Adoption d'un comportement de mobilité par mimétisme	74
5.4.1	Première approche de mimétisme : sélection aléatoire d'un ménage cible similaire à proximité du nouveau lieu de résidence	75
5.4.2	Deuxième approche de mimétisme : tirage aléatoire des attributs du déplacement dans une distribution observée	86
5.5	Conclusion du Chapitre 5.....	100
CHAPITRE 6 SPÉCIFICATION EXOGÈNE DES CIBLES DE DENSITÉ ET SCÉNARIO DE DENSIFICATION RÉSIDENTIELLE ALIMENTÉ PAR LES POLITIQUES D'AMÉNAGEMENT		102
6.1	Méthodologie spécifique	103
6.2	Cibles de densité de ménages.....	104
6.2.1	Hypothèses de simulation du PMAD	104
6.2.2	Calcul des surplus de ménages dans les secteurs receveurs.....	107
6.2.3	Calcul des surplus de ménage dans les secteurs donneurs	110
6.2.4	Mise à jour de la table de données des surplus par secteur municipal	111
6.3	Relocalisation de la population de ménages par sélection aléatoire	112
6.4	Adoption d'un comportement de mobilité par mimétisme	112
6.5	Conclusion du Chapitre 6.....	113
CHAPITRE 7 RÉSULTATS ET ANALYSE DES SCÉNARIOS		115
7.1	Scénario de densification résidentielle orientée vers le centre-ville	115
7.1.1	Distribution des densités par secteur municipal	117
7.1.2	Comportements de mobilité	118
7.1.3	Distances moyennes	122

7.2	Scénario de densification résidentielle orientée vers les TOD.....	123
7.2.1	Distribution des densités par secteur municipal	124
7.2.2	Comportements de mobilité	125
7.2.3	Distances moyennes	128
7.3	Discussion des résultats et conclusion du Chapitre 7.....	129
CHAPITRE 8 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE.....		131
8.1	Contributions	131
8.2	Limites.....	133
8.2.1	Utilisation du modèle de Bussière.....	133
8.2.2	Factorisation des données de l'enquête OD de 2008	134
8.2.3	Relocalisations par sélection aléatoire	134
8.2.4	Affectation de comportements par mimétisme	134
8.2.5	Prise en compte des projections démographiques.....	135
8.2.6	Répartition des lieux d'activité et développement des infrastructures.....	135
8.3	Perspectives de recherche.....	135
8.3.1	Perfectionnement des modèles	136
8.3.2	Densification polycentrique automatisée	136
8.3.3	Relocalisations optimales des personnes et des lieux d'activité	139
BIBLIOGRAPHIE		141
ANNEXES		147

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 : Répertoire et définition des données requises pour les modèles de simulation étudiés	33
Tableau 4.1 : Valeurs estimées pour le modèle de Bussière appliqué à la population totale de personnes par la méthode des moindres carrés à l'aide du solveur d'Excel	48
Tableau 4.2 : Extrait de la table de données utilisée pour le calcul des paramètres du modèle de Bussière dans Excel (Tableau 4-1) et pour générer les courbes de la Figure 4-4	48
Tableau 4.3 : Extrait des densités de personnes associées au trois courbes de la Figure 4-5 résultant d'une redistribution proportionnelle de la population dans les secteurs municipaux (SM)...	51
Tableau 4.4 : Ampleur du problème de modification du genre des individus par la procédure de densification par ajustement des facteurs de pondération des personnes (sans segmentation)	56
Tableau 4.5 : Ampleur du problème de modification du groupe d'âge des individus par la procédure de densification par ajustement des facteurs de pondération des personnes (sans segmentation)	56
Tableau 4.6 : Validation du contrôle du genre des individus dans le cas du déménagement des personnes successivement selon le genre.....	58
Tableau 4.7 : Extrait des densités de ménages associées au trois courbes de la Figure 4-8 résultant d'une redistribution proportionnelle de la population dans les secteurs municipaux (SM)...	60
Tableau 4.8 : Extrait des facteurs de correction ménage appliqués aux facteurs de pondération des ménages selon leur secteur de résidence, pour les huit secteurs le plus proches du centre-ville	61
Tableau 5.1 : Extrait des surplus de ménages pour les huit secteurs municipaux les plus proches du centre-ville.....	67
Tableau 5.2 : Définition des tables de données segmentées pour les secteurs et les ménages (cf. ANNEXE A)	68
Tableau 5.3 : Groupes d'âge selon la terminologie du MTMDET dans le fichier OD2008 et agrégation en cinq groupes en vue de simplifier la typologie de ménages	77

Tableau 5.4 : Illustration de la procédure de construction d'un nouvel identifiant des personnes pertinent pour l'application de la procédure de mimétisme ; les couleurs permettent de faciliter la lecture des données et d'expliciter la procédure de concaténation utilisée	82
Tableau 5.5 : Illustration de la procédure de construction d'une clé de recherche des attributs de la personne cible sur le modèle de la construction d'un nouvel identifiant exposée dans le Tableau 5-4.....	84
Tableau 5.6 : Simplification de la typologie des ménages en trois classes : mono, fami, colo	88
Tableau 5.7 : Définition des groupes d'âge de personnes utilisés pour la pondération des données (à ne pas confondre avec les groupes d'âge du Tableau 5-3 qui agrègent ceux du MTMDET)	89
Tableau 5.8 : Simplification de la segmentation des motifs de déplacements en 8 classes	89
Tableau 5.9 : Calcul des distances du KS-test pour chaque classe d'heures de départ et sélection de la distance maximale (1,97%)	91
Tableau 5.10 : Résultats du KS-test appliqué aux heures de départ pour trois seuils de tolérance, avec $n1 = 6,70 * 106$ et $n2 = 2,51 * 106$ et une distance maximum de 1,97% (cf. Tableau 5-9)	92
Tableau 5.11 : Résultats du KS-test appliqué aux ZAT de destination pour trois seuils de tolérance, avec $n1 = 6,70 * 106$ et $n2 = 2,51 * 106$ et une distance maximum de 34,04%	92
Tableau 5.12 : Résultats du KS-test appliqué aux modes de transport pour trois seuils de tolérance, avec $n1 = 6,70 * 106$ et $n2 = 2,51 * 106$ et une distance maximum de 3,18%	92
Tableau 5.13 : Extrait de la table de données « <code>depl_reloc</code> ».....	93
Tableau 5.14 : Extrait des distributions de groupes d'heures de départ (déplacements de motifs 1 à 7 réalisés par des hommes de 15 à 24 ans résidant en colocation dans le secteur receveur 101). Cette table est nommée « <code>distrib_grphred_cv2</code> » dans la macro « <code>genere_grphred_new_v3()</code> »	95
Tableau 5.15 : Typologie de modes de transports relatifs à une paire Origine-Destination (prise en compte de l'ensemble des modes déclarés : mode1 à mode10 selon la terminologie du MTMDET)	98

Tableau 6.1 : Caractéristiques des secteurs municipaux liés à la présence de zones TOD et densité de ménages selon les données de l'enquête OD de 2008	106
Tableau 6.2 : Définition des densités cibles dans les TOD et calcul des aires cumulées de zones TOD dans les secteurs municipaux (extrait de données)	108
Tableau 6.3 : Extrait du calcul du nombre de ménages à prélever dans les secteurs donneurs en vue de remplir les secteurs receveurs aux niveaux relatifs à la modélisation du PMAD	111
Tableau 7.1 : Écarts des distributions de groupes d'heures de départ avant et après simulation (densification résidentielle orientée vers le centre-ville de Montréal, méthode du Chapitre 5)	119
Tableau 7.2 : Écarts des distributions de classe de mode de transport avant et après simulation (densification résidentielle orientée vers le centre-ville de Montréal, méthode du Chapitre 5)	121
Tableau 7.3 : Évolution des distances pondérées moyennes par motif de déplacements entre le statu quo (Stq) et le scénario de densification orientée vers le centre-ville de Montréal ($1/b = 4\text{km}$)	123
Tableau 7.4 : Évolution des distances pondérées moyennes par mode de transport entre le statu quo (Stq) et le scénario de densification orientée vers le centre-ville de Montréal ($1/b=4\text{km}$) ..	123
Tableau 7.5 : Évolution des distributions de groupes d'heures de départ avant et après simulation d'une densification résidentielle orientée vers les TOD selon la méthode du Chapitre 6 ...	126
Tableau 7.6 : Évolution des distributions de classe de mode de transport avant et après simulation d'une densification résidentielle orientée vers les TOD selon la méthode du Chapitre 6 ...	128
Tableau 7.7 : Évolution des distances pondérées moyennes par motifs de déplacements entre le statu quo (Stq) et le scénario de densification orientée vers les TOD.....	129
Tableau 7.8 : Évolution des distances pondérées moyennes par mode de transport entre le statu quo (Stq) et le scénario de densification orientée vers les TOD	129
Tableau A.1 : Extrait de la table de données « smlog_surplus » dans le cas d'une simulation de densification au seuil défini par le paramètre $b = 0,00015$ (soit une distance $1/b = 6,66\text{ km}$)	148

Tableau A.2 : Extrait de la table de données « men_don » dans le cas d'une simulation de densification au seuil défini par le paramètre $b = 0,00015$ (soit une distance $1/b = 6,66$ km)	148
Tableau A.3 : Extrait de la table de données « smlog_don_surplus_cv » dans le cas d'une simulation de densification au seuil défini par le paramètre $b = 0,00015$ (soit une distance $1/b = 6,66$ km)	149
Tableau A.4 : Extrait de la table de données « smlog_rec_surplus_cv » dans le cas d'une simulation de densification au seuil défini par le paramètre $b = 0,00015$ (soit une distance $1/b = 6,66$ km)	149
Tableau A.5 : Extrait de la table de données « men_don_cv » dans le cas d'une simulation de densification au seuil défini par le paramètre $b = 0,00015$ (soit une distance $1/b = 6,66$ km)	150
Tableau A.6 : Extrait de la table de données « men_rec_cv » dans le cas d'une simulation de densification au seuil défini par le paramètre $b = 0,00015$ (soit une distance $1/b = 6,66$ km)	151
Tableau B.1 : Extrait de la table de données « men_smlog_new » dans le cas d'une simulation de densification au seuil défini par le paramètre $b = 0,00015$ (soit une distance $1/b = 6,66$ km)	152
Tableau C.1 : Extrait de la table de données "men_smlog_new" bonifiée du nouveau secteur de domicile pour chaque ménage « mobile »	156
Tableau D.1 : Extrait de la table de données « men_smlog_new » bonifiée de l'identifiant du ménage d'ancrage pour chaque ménage « mobile » dans le cas d'une simulation de densification au seuil défini par le paramètre $b = 0,00025$ (soit une distance $1/b = 4,00$ km)	159
Tableau D.2 : Extrait de la table de données « men_smlog_new » bonifiée des nouvelles coordonnées MTM8 pour chaque ménage « mobile » dans le cas d'une simulation de densification définie par le paramètre $b = 0,00025$ (soit une distance $1/b = 4,00$ km)	160

Tableau D.3 : Extrait de la table de données « men_rec_cv » dans le cas d'une simulation de densification définie par le paramètre $b = 0,00025$ (soit une distance $1/b = 4,00$ km)	160
--	-----

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Schéma méthodologique du projet de développement d'un modèle intégré transport-urbanisme-santé pour la GRM et situation de la contribution du présent mémoire au projet (encadrés pointillés orange)	5
Figure 2.1 : Exemple de modélisation de la population cumulée en fonction de la distance au centre-ville (courbe bleue) par la fonction définie par Bussière (courbe orange)	15
Figure 2.2 : Schéma de principe de la méthode de la transformée inverse pour générer un échantillon artificiel représentatif d'une variable aléatoire discrète X (Schéma adapté à partir de (Le Gauffre, 2016))	23
Figure 2.3 : Schéma de principe de la méthode de la transformée inverse pour générer un échantillon artificiel représentatif d'une variable aléatoire continue X (Schéma adapté à partir de (Le Gauffre, 2016))	24
Figure 2.4 : Schématisation de la génération imbriquée d'un nombre de déplacements, d'une heure de départ et d'une durée d'activité pour un motif de déplacement et un segment de population donnés, dans le cas d'un nombre de déplacements égal à 1.....	27
Figure 2.5 : Schématisation de la génération imbriquée d'un nombre de déplacement, d'une heure de départ et d'une durée d'activité pour un motif de déplacement et un segment de population donnés, dans le cas d'un nombre de déplacements égal à 2.....	27
Figure 2.6 : Génération imbriquée d'un nombre de déplacements, d'une heure de départ et d'une durée d'activité pour un motif de déplacement et un segment de population donnés dans le cas d'un nombre de déplacements égal à zéro.	28
Figure 3.1 : Schéma méthodologique général d'une simulation de densification résidentielle orientée vers le centre-ville de Montréal (SM : secteurs municipaux ; DCV : distance au centre-ville)	39
Figure 4.1 : Schéma méthodologique d'une simulation de densification résidentielle théorique extrême orientée vers le centre-ville de Montréal et basée sur les facteurs de pondération des personnes.....	42

Figure 4.2 : Courbe de population cumulée en fonction de la distance au centre-ville (DCV) pour la population totale des personnes de la GRM (aucune segmentation réalisée)	45
Figure 4.3 : Représentation du centre-ville de Montréal par rapport aux infrastructures lourdes de transport collectif.....	46
Figure 4.4 : Population cumulée en fonction de la distance au centre-ville pour la population totale (courbe bleue), modélisation selon la fonction définie par Bussière (courbe orange)	47
Figure 4.5 : Évolution de la population cumulée en fonction de la distance au centre-ville pour la population totale de personnes (courbe bleue), modélisation selon la fonction de Bussière (courbe orange) et perturbation du modèle pour simuler une densification résidentielle (courbe grise).....	50
Figure 4.6 : Ampleur du problème de modification de l'âge des individus par la procédure de densification par ajustement des facteurs de pondération des personnes au regard des corrections reflétées par la procédure de pondération initiale (aucune segmentation)	57
Figure 4.7 : Importance du changement d'objet d'étude (perspective personne ou ménage) sur l'évolution de la population cumulée en fonction de la distance au centre-ville.....	59
Figure 4.8 : Évolution de la population cumulée en fonction de la distance au centre-ville pour la population totale de ménages (courbe bleue), modélisation selon la fonction de Bussière (courbe orange) et perturbation du modèle pour simuler une densification résidentielle (courbe grise).....	60
Figure 5.1 : Schéma méthodologique d'une simulation de densification résidentielle théorique orientée vers le centre-ville de Montréal par tirages aléatoires et mimétisme	65
Figure 5.2 : Diagramme algorithmique de la fonction « men_select() »	69
Figure 5.3 : Diagramme algorithmique de la fonction « genere_nouveau_smlog() »	70
Figure 5.4 : Diagramme algorithmique de la fonction « ancrage_select_v2() ».....	71
Figure 5.5 : Diagramme algorithmique de la fonction « demenagements() » ; synthèse de l'algorithme d'implémentation de l'étape de relocalisation de la population de ménages	72

Figure 5.6 : Test de concordance entre la courbe de population cumulée modélisée et perturbée et la courbe obtenue après déménagement des ménages de périphérie par sélection aléatoire dans le cas d'une simulation de densification définie par le paramètre $b = 0,00015$	73
Figure 5.7 : Test de concordance entre la courbe de population cumulée modélisée et perturbée et la courbe obtenue après déménagement des ménages de périphérie par sélection aléatoire dans le cas d'une simulation de densification définie par le paramètre $b = 0,00025$	73
Figure 5.8 : Schéma méthodologique d'une simulation de densification résidentielle théorique orientée vers le centre-ville de Montréal par tirages aléatoires et mimétisme (première approche).....	76
Figure 5.9 : Extrait de la répartition des enregistrements de ménages et des ménages pondérés selon la typologie de ménages « <i>typo_code</i> »	78
Figure 5.10 : Extrait de la répartition des enregistrements de ménages et des ménages pondérés selon la typologie de ménages « <i>typo_code_2</i> »	79
Figure 5.11 : Diagramme algorithmique de la fonction « <i>mimetisme()</i> ».....	80
Figure 5.12 : Schéma méthodologique d'une simulation de densification résidentielle théorique orientée vers le centre-ville de Montréal par tirages aléatoires et mimétisme (deuxième approche).....	86
Figure 5.13 : Courbes cumulatives des personnes par groupes d'heures de départs utilisées pour estimer les distances maximales du KS-test sur les heures de départ	91
Figure 5.14 : Diagramme algorithmique de la fonction « <i>genere_grphred_new()</i> ».....	94
Figure 5.15 : Diagramme algorithmique de la fonction « <i>genere_ZT08_dest_new()</i> ».....	97
Figure 5.16 : Diagramme algorithmique de la fonction « <i>genere_modeU_new()</i> »	98
Figure 5.17 : Diagramme algorithmique de la fonction « <i>mimetisme_approche2</i> » ; synthèse de l'algorithme d'implémentation d'adoption d'un comportement de mobilité par la deuxième approche de mimétisme.....	100
Figure 6.1 : Schéma méthodologique d'une simulation de densification résidentielle orientée vers les noeuds de transport collectif basé sur l'étude des projets de développement de l'agglomération	103

Figure 6.2 : Cartographie des zones TOD par densité minimale de logements à l'hectare et segmentation des secteurs municipaux selon la présence de stations de train ou de métro.	105
Figure 6.3 : Recouvrement des secteurs municipaux par les zones TOD et mouvement de migration des ménages (flèches rouges)	109
Figure 7.1 : Cartographie de l'évolution des densités de ménages dans chaque secteur municipal en lien avec les distances critiques du modèle de Bussière original (8km) et perturbé (4km)	117
Figure 7.2 : Cartographie de l'évolution de l'attractivité des secteurs municipaux entre le statu quo et le scénario de densification résidentielle orientée vers le centre-ville de Montréal.....	120
Figure 7.3 : Cartographie de l'évolution des densités de ménages dans chaque secteur municipal entre le statu quo et le scénario de densification résidentielle orienté vers les TOD	125
Figure 7.4 : Cartographie de l'évolution de l'attractivité des secteurs municipaux entre le statu quo et le scénario de densification résidentielle orientée vers les TOD.....	127
Figure 8.1 : Représentation schématique de centres secondaires et de leur zone d'influence respective définies par les polygones de Voronoï de l'ensemble des nœuds.....	137
Figure 8.2 : Représentation schématique des polygones de Voronoi pour un ensemble de centres secondaires et construction de zones concentriques à l'intérieur d'un polygone.....	138
Figure B.1 : Diagramme algorithmique de la fonction « MEN_SELECT() »	154
Figure C.1 : Diagramme algorithmique de la fonction « GENERE_NOUVEAU_SMLOG() »	157
Figure D.1 : Diagramme algorithmique de la fonction « ANCRAGE_SELECT_V2() »	159
Figure F.1 : Diagramme algorithmique de la fonction « MIMETISME() »	163

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AMT	Agence Métropolitaine de Transport
AVCI	Année de vie corrigée du facteur invalidité (équivalent du DALY en anglais)
BAU	<i>Business As Usual</i> : Scénario de laisser faire
CBD	<i>Central Buisness District</i> (quartier des affaires d'une métropole)
CMM	Communauté métropolitaine de Montréal
DCV	Distance au centre-ville de Montréal
FOD	<i>Fractal Oriented Developement</i> : Scénario de développement fractal
GRG	Gradient Réduit Généralisé (<i>Generalized Reduced Gradient</i> en anglais)
GRM	Grand Région de Montréal
IRSC	Instituts de recherche en santé du Canada (désigné en anglais par CIHR)
ISQ	Institut de la statistique de Québec
MTMDET	Ministère des Transports, de la Mobilité Durable et de l'Électrification des transports
MTQ	Ministère des Transport du Québec (Ancien nom du MTMDET)
OD	Origine-Destination (enquête OD signifie « enquête Origine-Destination »)
OMS	Organisation Mondiale de la Santé (désigné en anglais par WHO)
PMAD	Plan Métropolitain d'Aménagement et de Développement
PSQ	Procédure Séquentielle Classique (modélisation de la demande de transport)
QGIS	Logiciel <i>Quantum GIS</i>
RUC	Renouvellement urbain compact
SIG	Système d'Information Géographique
SM	Secteur municipal dans les enquêtes Origine-Destination de Montréal (OD)
TC	Transport en commun (ou transport collectif)

TOD	<i>Transit Oriented Development</i> (développement orienté vers le transport collectif)
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i> (nom du langage de programmation sur Excel)

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A – Détails procéduraux pour la méthode de relocalisation de la population de ménages par sélection ALÉATOIRE - Etape de « Segmentation des secteurs et des ménages »	147
ANNEXE B – Détails procéduraux pour la méthode de relocalisation de la population de ménages par sélection ALÉATOIRE - étape de « Sélection aléatoire de ménages candidats à une relocalisation »	152
ANNEXE C – Détails procéduraux pour la méthode de relocalisation de la population de ménages par sélection ALÉATOIRE - Etape de « Sélection aléatoire d'un secteur d'accueil pour les ménages relocalisés »	155
ANNEXE D – Détails procéduraux pour la méthode de relocalisation de la population de ménages par sélection ALÉATOIRE - Etape de « Sélection aléatoire d'une nouvelle adresse de résidence ».....	158
ANNEXE E – Détails procéduraux pour l'attribution d'un type à chaque ménage dans la première approche de mimétisme.....	161
ANNEXE F – Détails procéduraux pour la recherche d'un ménage similaire dans la premiere approche de mimétisme.....	162

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

L'objectif de ce premier chapitre est de présenter les éléments préalables à notre contribution de recherche. Avant de poser clairement la problématique et l'objectif général soutenus par ce mémoire dans les paragraphes 1.2 et 1.3 de cette section, nous nous attacherons à introduire les principaux éléments du cadre contextuel dans lequel cette contribution trouve ses racines (paragraphe 1.1). La plupart des éléments introduits seront repris et étayés dans le deuxième chapitre de ce mémoire, qui présente le cadre théorique sur lequel nous nous appuyons en parallèle d'une revue de littérature thématique rattachée à notre sujet. Les définitions utiles à la compréhension de ce mémoire par le plus grand nombre de personnes seront ensuite précisées dans les premières sections du CHAPITRE 3, consacré à la présentation de la méthodologie du projet retranscrit dans ce document.

Suite aux sections 1.2 et 1.3 consacrées à la problématique et à l'objectif général de cette recherche et avant de décliner ce dernier en une série d'objectifs spécifiques auxquels nous tâcherons de répondre à travers le corps du développement de ce mémoire (paragraphe 1.5), nous proposons de clarifier la position de notre contribution dans le cadre d'un projet de recherche plus large dont l'objectif est d'estimer les impacts des mobilités montréalaises sur la santé publique (paragraphe 1.4). Cette mise au point devrait clarifier davantage le contexte formel de notre étude tout en offrant aux membres de l'équipe de recherche la possibilité de tirer un meilleur parti de la lecture de ce mémoire. Enfin, nous conclurons ce chapitre d'introduction par une section didactique précisant la structure générale du document afin d'en rendre la lecture la plus facile et la plus productive possible (paragraphe 1.6).

1.1 Contexte de l'étude

Le développement progressif des réseaux de transport urbain a eu un impact considérable sur la forme des villes et sur notre rapport au déplacement entre chacune de nos activités (Bourbonnais, 2016; Illich, Giard, & Dupuy, 1973). À partir de petites cités que l'on pouvait généralement traverser à pied en moins d'une heure (Bourbonnais, 2016), ou bien *ex-nihilo* pour les plus récentes, nous avons forgé de véritables mégapoles devenues de plus en plus infranchissables (Illich et al., 1973; Marconis & Vivier, 2009; Pérez López, 2015). Comme l'a remarqué Ivan Illich dans ses recherches et particulièrement dans l'étude du transport qu'il présente dans son ouvrage « Énergie

et Équité » (Illich et al., 1973) il y a déjà plus de quarante ans, nous voilà face à une forme de paradoxe où nous sommes devenus prisonniers de technologies de transport sophistiquées pour nous déplacer parfois plus lentement encore que nous ne le faisions avant d'amorcer notre rupture avec des millénaires de marche à pied comme seul moyen d'appréhender notre espace-temps quotidien. En particulier, l'avènement du « règne de l'automobile » a fait qu'il est aujourd'hui très difficile de s'en défaire quand bien même ses effets néfastes ont été maintes fois dénoncés et analysés.

Outre cette relative « contre-productivité » du transport motorisé que dénonce Illich (1973), il ne faut pas chercher bien loin pour avoir accès à une masse importante de travaux qui dénoncent l'impact des transports sur l'environnement, la société et l'économie. En particulier, l'impact des mobilités sur la santé publique fait partie des diagnostics à réaliser de façon urgente dans la perspective des objectifs gouvernementaux en matière de « développement durable » (Gouvernement du Québec, 2006, 2007). Un nombre important d'études montre d'ores et déjà la panoplie de maladies largement influencées par les comportements de mobilité et l'industrie des transports (Cicolella, 2013; Smargiassi, Morency, Morency, Hatzopoulou, & Eluru, 2014). Ces impacts peuvent être directs, lorsqu'ils sont imputables aux émissions de polluants (chimiques, visuels ou sonores) par les véhicules (Health Effects Institute, 2010) et aux accidents de la route (Smargiassi et al., 2014; World Health Organization, 2013), ou indirects, comme dans le cas de l'obésité, où une mobilité plus active pourrait constituer un bon outil pour améliorer la situation (Demers & Forest, 2008; Espinassous, 2010; Le Breton, 2012; Morency, Trépanier, & Demers, 2011; Rissel, Curac, Greenaway, & Bauman, 2012; Smargiassi et al., 2014; World Health Organization, 2010). C'est dans le contexte de cette impasse qu'une équipe de chercheurs s'est constituée dans l'optique de développer un outil de modélisation intégrant les transports, l'urbanisme et la santé dans la région métropolitaine de Montréal, en s'adaptant à ses enjeux particuliers. À terme, l'objectif est qu'un tel modèle puisse apporter une estimation des impacts des mobilités actuelles et futures sur la santé des montréalais, avec un premier objectif de prévision pour l'horizon 2031. En ce qui concerne notre participation particulière à ce projet, elle s'inscrit dans l'étude des liens entre la morphologie urbaine et les mobilités par le développement des méthodes de simulations macroscopiques de scénarios de densification résidentielle (cf. paragraphe 3.3). Nous reviendrons sur cette articulation particulière dans la section 1.4 qui propose une présentation générale de la méthodologie du projet de recherche en santé-transport.

Selon Antoni et al. (2013), la question de l'impact de la forme urbaine sur la mobilité est largement débattue dans la littérature depuis l'étude de Newman et Kenworthy (1989) sur la dépendance à l'automobile. Dans ce contexte, notre étude s'attachera à développer une méthodologie de simulation de scénarios de densification résidentielle afin de simuler des ruptures tendancielles ou des options d'aménagement exprimées dans les documents de planification de la métropole (CMM, 2011; Ville de Montréal, 2008). Parmi les deux interprétations principales de la notion d'aménagement, nous précisons que notre étude s'intéressera seulement au niveau de l'aménagement global du territoire (type de développement, densités, fonctions et usages au sol) et non au niveau local qui traite de l'arrangement de l'espace utilisé pour la mobilité (aménagement d'un trottoir, d'une piste cyclable, d'une voie réservée, etc.). On peut dire que ces objectifs de densification résidentielle sont généralement mis de l'avant dans les visions de développement d'un nombre important de métropoles de pays industrialisés à travers le monde. À certains égards, ce projet proposera des éléments de réflexions face à des enjeux sociaux d'actualité et contribuera potentiellement à orienter les politiques urbaines liées au transport de personnes vers une meilleure soutenabilité, en cohérence avec les prescriptions gouvernementales (Gouvernement du Québec, 2006, 2007). Par ailleurs, la méthodologie déployée pourrait être adaptée dans le cas de plusieurs villes du Québec et du Canada procédant à des enquêtes de mobilité similaires à celles réalisées à Montréal.

1.2 Problématique

Le développement de scénarios de mobilité liés à la forme urbaine dans le cas de la Grande Région de Montréal (GRM) est déjà courant dans les services de modélisation du ministère des Transports (MTMDET)¹; Dans ce contexte il apparaît légitime de se demander ce que peuvent être les bénéfices engendrés par notre étude. En fait, celle-ci ne prend de sens que lorsque l'on considère les deux éléments suivants.

¹ En particulier, la plateforme ES-3 du MTMDET permet de réaliser des projections démographiques qui prennent en compte, dans une certaine mesure, les contraintes d'aménagement (Desgagnés, 2004; Patterson, Damant-Sirois, & El-Geneidy, 2014).

D'une part, il n'y a actuellement aucun modèle global qui intègre les problématiques de santé publique à un modèle de transport dans le cas de la région montréalaise. Si l'influence des transports sur la santé a largement été démontrée dans la littérature, l'articulation entre les modèles de transports à l'échelle métropolitaine et les modèles d'estimation des impacts sur la santé n'a pour le moment jamais été établie dans le contexte de l'agglomération montréalaise. D'autre part, et c'est ce point qui se rapporte le plus au contenu de notre contribution, les simulations réalisées par les instances en charge de la planification des transports sont en général assez long à déployer en raison du niveau de précision visé et de la lourdeur du processus de modélisation. Ces modèles sont conçus pour être très robustes et répondent essentiellement à des objectifs de planification opérationnelle des transports dans la métropole.

C'est donc dans l'optique de compléter la démarche de modélisation existante, orientée davantage sur l'étude des projets en cours ou prévus que sur la simulation de scénarios contrastés, que notre projet cherche à apporter sa contribution. La problématique qui articule cette recherche est donc de concevoir une approche de modélisation propre à simuler des ruptures importantes dans la localisation des personnes et des ménages sur le territoire. Notre ambition se concentrera sur la simulation macroscopique de scénarios contrastés, propres à enrichir le débat autour de la forme urbaine à Montréal. Ce n'est pas tant le réalisme que le souhait d'analyser le potentiel d'une rupture de forme urbaine sur les indicateurs de mobilité qui nous intéresse ici. Notre problématique consiste aussi à envisager une approche de modélisation qui puisse permettre d'évaluer plusieurs scénarios, en fonction des objectifs du modélisateur. Enfin, notre souhait est de souligner l'intérêt d'une approche macroscopique dans le but purement pragmatique d'un développement méthodologique.

1.3 Objectif général

L'objectif général de cette recherche est de développer une méthode macroscopique de simulation de scénarios de densification résidentielle et de proposer des indicateurs visant à estimer quels seront les impacts de tels scénarios sur la mobilité de la grande région montréalaise. Les simulations réalisées devront pouvoir alimenter les procédures d'estimation des conséquences des choix de mobilité sur la santé à Montréal. En particulier, les données générées par notre approche devront servir d'entrée à un modèle de choix modal ou de transfert modal. Par ailleurs, les entrées du modèle devraient pouvoir s'adapter à des spécifications de développement exogènes en termes de densités cibles.

1.4 Situation de l'étude par rapport au projet transport-santé

Le schéma de la Figure 1.1 présente la méthodologie générale du projet de modélisation intégrée transport-urbanisme-santé dans lequel s'insère notre contribution particulière, liée à l'étude des liens entre forme urbaine et mobilité à Montréal. Globalement, le projet se décompose en trois grandes étapes, représentées par les encadrés bleus du schéma de la Figure 1.1. Les phases directement liées à notre contribution ont été encadrées par des pointillés orange.

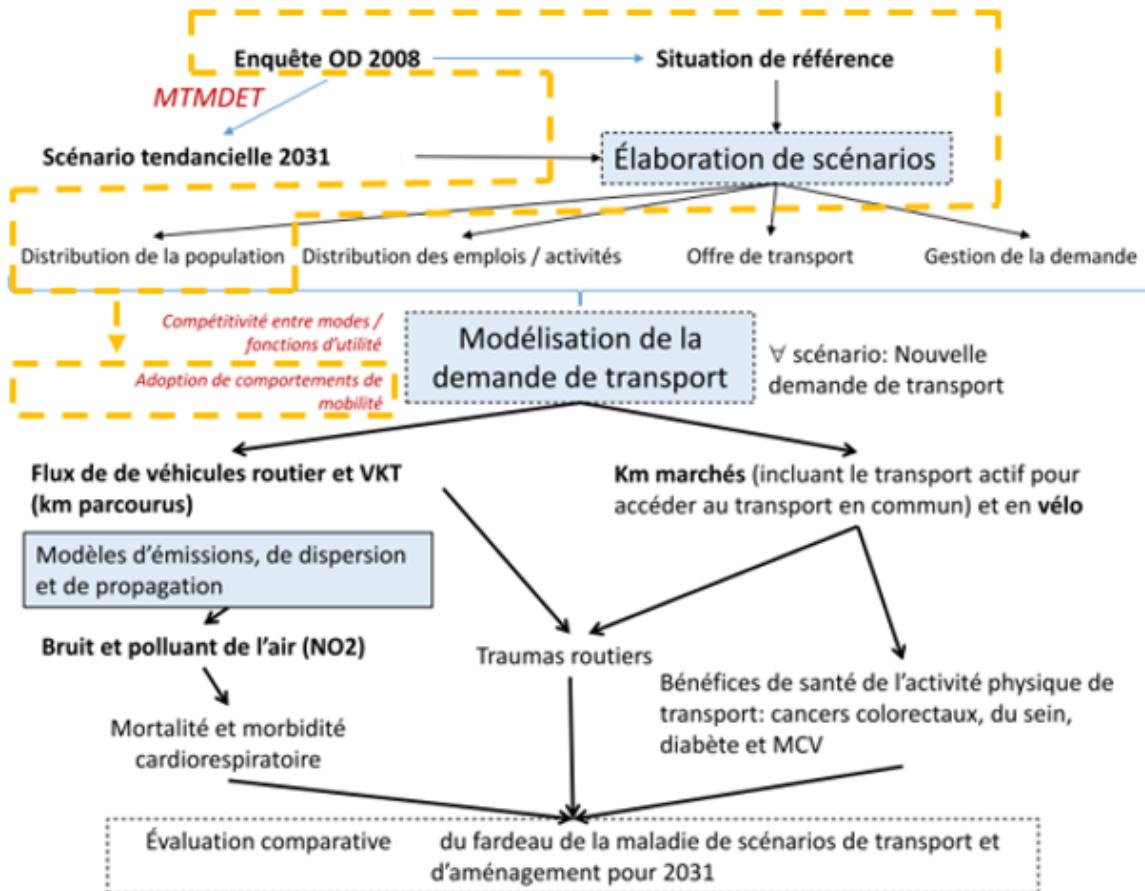


Figure 1.1 : Schéma méthodologique du projet de développement d'un modèle intégré transport-urbanisme-santé pour la GRM² et situation de la contribution du présent mémoire au projet (encadrés pointillés orange)

² Ce schéma méthodologique est issu de la présentation faite devant un comité de suivi le 18 Janvier 2017 par les membres du projet de recherche financé par le CRSNG, les IRSC et le Fonds Vert dont les PI sont Morency C, Morency P, Hatzopoulou M, Eluru N et Smargiassi A.

La première étape du modèle (Figure 1.1) consiste à élaborer et formuler des scénarios qui pourraient avoir une certaine influence sur le portrait de transport moyen de l'agglomération montréalaise. Sur la base de l'expertise des chercheurs impliqués et de leur connaissance des visions de développement de la région, quatre composantes ont été identifiées comme des composantes intéressantes à simuler du point de vue d'une modification sensible de la mobilité dans l'agglomération. Ainsi, la formulation des scénarios fera appel à une réorganisation de la population et des lieux d'activité sur le territoire, mais aussi à une modification de l'offre de transport et des mécanismes de gestion de la demande. Dans tous les cas, ces scénarios s'appuieront sur les données de l'enquête Origine-Destination de 2008 (cf. paragraphe 2.4.1). Ces données fournissent un cadre de référence pour la mobilité observée durant un « jour moyen de semaine d'automne » dans la Grande Région de Montréal (GRM). Selon les objectifs, deux possibilités sont offertes. Si l'on cherche avant tout à simuler l'impact relatif de scénarios contrastés par rapport à la situation de référence de 2008, on pourra se baser directement sur les données de l'enquête OD de 2008 non projetées. Sinon, si l'objectif visé est de chercher à estimer les impacts potentiels des plans d'aménagement et de transport par rapport à une situation de laisser-faire, alors la modélisation devra s'appuyer sur une projection démographique et des hypothèses de mobilité à l'horizon d'étude (2031). C'est principalement dans le cadre de cette première phase du projet de recherche que s'inscrit la contribution de ce mémoire.

La deuxième étape du projet (Figure 1.1) traite l'aspect de modélisation de la demande de transport appliquée aux différents scénarios qui ont été élaborés dans la première phase du projet. La modélisation de la demande de transport est un vaste sujet, abondamment traité dans la littérature depuis la deuxième moitié du 20^e siècle et qui constitue un champ de recherche encore privilégié aujourd'hui. À ce sujet, nous renvoyons simplement le lecteur vers les textes de Patrick Bonnel (Bonnel, 2002, 2004) qui proposent une revue des principaux modèles développés, leurs contraintes, leurs enjeux, leurs limites et les perspectives qui leur sont associées. Ben-Akiva et Lerman (1985), Domencich et MacFadden (1975), Manheim (1984) et Ortuzar et Willumsen (2001) doivent aussi être cités comme des auteurs clés sur la question de la modélisation de la demande de transport, notamment pour leurs contributions aux différentes étapes de la Procédure Séquentielle Classique (PSC). Dans le projet transport-santé, l'étape de modélisation de la demande de transport, abordé par une approche différente de la PSC, permet de garantir la fiabilité des simulations en allouant des comportements de mobilité et des choix de trajets et de modes de

transports dans le prolongement de ceux que l'on observe avec les données actuelles. Dans un paradigme de modélisation qui s'inscrit dans la discipline de l'économie des transports, l'hypothèse fondamentale qui devra être formulée à ce stade est de considérer que le modèle d'un individu économiquement rationnel (*Homo oeconomicus*), cherchant à maximiser son utilité, s'applique et pourra encore s'appliquer dans la perspective de l'horizon d'étude (2031). En tout et pour tout, la contribution de ce mémoire se bornera à tenter d'apporter une solution au problème d'attribution d'un comportement de mobilité aux personnes, dans la perspective de scénarios basés sur la répartition de la population. Il faudra s'assurer, par la suite, que l'agrégation de ces comportements alloués n'induit pas une utilisation déséquilibrée de l'offre de transport disponible. C'est pourquoi un modèle de choix ou de transfert modal ainsi qu'un modèle d'affectation à l'équilibre devront être impliqués pour tenir compte des temps de transport induits par l'utilisation des différents modes et de la capacité des infrastructures.

À l'issue de cette seconde étape du modèle, les chercheurs disposeront d'un ensemble d'indicateurs décrivant la mobilité à l'échelle de la région métropolitaine, dans le cas de plusieurs scénarios alternatifs. La phase finale du projet consistera à traduire ces paramètres de mobilité en effets sur la santé. Cette évaluation, qui fera appel à des modèles statistiques liant le kilométrage en transport en commun, en automobile et en mode actif, avec l'occurrence de différentes maladies ou de traumas, sera gérée par des chercheurs et praticiens de la santé publique à Montréal. En ce qui concerne les problèmes de santé liés au transport, le présent mémoire se cantonnera à renvoyer le lecteur aux principales thèses qui traitent de ce sujet dans la littérature. Le premier paragraphe de notre revue de littérature (2.1) abordera quelques grands points à ce sujet.

Jusqu'ici, avant d'aborder le lien entre le projet d'étude des impacts des transports sur la santé et notre contribution particulière, nous avons présenté le contexte de la recherche, sa problématique et son objectif général. Les deux sections qui suivent complètent cette section d'introduction en précisant nos objectifs spécifiques et en clarifiant la structure générale du document.

1.5 Objectifs spécifiques et hypothèses sur les résultats de simulation

Dans cette cinquième partie, nous présentons d'abord les objectifs spécifiques de cette recherche avant de formuler une hypothèse sur les résultats des simulations.

1.5.1 Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques qui ont impulsé cette recherche et auxquels nous tâcherons de répondre dans le corps du développement de ce mémoire sont les suivants :

1. Contribuer à l'élaboration d'une méthodologie générale pour le projet de recherche en santé-transport (cf. paragraphe 1.4) ;
2. Développer une première approche de simulation d'une densification résidentielle basée sur un modèle théorique de forme urbaine et sur la factorisation des données ;
3. Développer une deuxième approche de simulation d'une densification résidentielle qui s'affranchisse du principe de factorisation des données au profit d'une meilleure transparence et d'une plus grande marge de manœuvre du côté du modélisateur ;
4. Adapter la formulation théorique des cibles de densité dans le but de simuler les orientations d'aménagement présentées dans les documents de planification de la métropole ;
5. Proposer un ensemble d'indicateurs pertinents pour évaluer les conséquences des scénarios de densification résidentielle sur la mobilité dans un contexte de développement durable et d'étude des impacts sur la santé.

1.5.2 Hypothèse sur les résultats de simulation

Nous supposons que la densification résidentielle induit des modifications significatives de la mobilité observée au niveau macroscopique dans l'aire métropolitaine de la Grande Région de Montréal (GRM). En particulier, la concentration de la population dans des zones bien desservies par les transports en commun (TC) devrait favoriser leur utilisation par rapport à l'automobile.

1.6 Structure du mémoire

Pour répondre aux objectifs de notre recherche, ce mémoire est organisé en huit chapitres. Les deux prochains chapitres viennent en complément de cette introduction et proposent d'étudier une revue de littérature thématique (CHAPITRE 2) ainsi que notre méthodologie générale de recherche (CHAPITRE 3). Dans le chapitre de revue de littérature, nous présentons différents éléments en

lien avec notre sujet en plus des éléments théoriques qui structurent notre développement méthodologique.

Les parties suivantes (CHAPITRE 4 à CHAPITRE 7) constituent le cœur de notre contribution et doivent être considérées comme les résultats de recherche en réponse aux objectifs annoncés dans la section précédente. Le CHAPITRE 4 présente la méthode de simulation préliminaire que nous avons développée en réponse à notre deuxième objectif. Les éléments qui y sont présentés servent de base à l'élaboration d'une seconde méthode de simulation, développée dans le CHAPITRE 5, qui offre une perspective plus flexible et transparente aux modélisateurs. Ce chapitre est une réponse à notre troisième objectif spécifique.

Ensuite, le CHAPITRE 6 s'intéresse à une formulation alternative des cibles de densité par rapport à la méthode théorique utilisée dans les méthodes des CHAPITRE 4 et CHAPITRE 5. Les cibles de densité sont construites en s'appuyant sur les documents de planification de la métropole montréalaise mais d'autres formulations de cibles de densité pourraient facilement être proposées en se basant sur une approche similaire. Ce chapitre répond au quatrième objectif spécifique énoncé dans la section 1.5. Enfin, avant de passer à une conclusion générale (CHAPITRE 8) qui rappellera les éléments les plus significatifs et les principales limites de ce travail, tout en ouvrant des perspectives pour les prochaines recherches sur notre sujet, le CHAPITRE 7 proposera une série d'indicateurs pertinents pour évaluer les impacts des scénarios qui auront été simulés au regard du développement durable et de la santé publique. Ce chapitre répondra à notre dernier objectif de recherche tout en assumant le caractère préliminaire des résultats annoncés.

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE ET CADRE THÉORIQUE

La revue de littérature présentée dans cette section s'articule en cinq temps. La première partie s'inscrit davantage dans le contexte de notre recherche en santé-transport que dans notre contribution particulière et démontre l'utilité et la pertinence du sujet étudié en lien avec la santé publique (paragraphe 2.1). Dans un deuxième temps, nous présentons quelques recherches qui étudient le lien entre la forme urbaine et les mobilités (paragraphe 2.2). Nous abordons ensuite quelques aspects du modèle de Bussière (Bonnel, Bouzouina, & Monchambert, 2013) appliqué à l'étude de la répartition concentrique de la population (paragraphe 2.3) et auquel nous feront appel par la suite dans ce rapport.

La section suivante (paragraphe 2.4) aborde l'approche de prévision tendancielle de la demande de transport à Montréal, notamment l'utilisation des facteurs de pondération des enquêtes Origine-Destination (OD) pour des fins de modélisation. Cette approche a été une source d'inspiration pour le développement de notre première méthode de simulation d'une densification résidentielle basée sur une technique de factorisation (CHAPITRE 4). Enfin, la section 2.5 présente en substance la philosophie des modèles d'activité et, surtout, le principe de génération des activités que nous avons adopté dans l'une de nos approches pour modéliser des comportements de mobilité.

2.1 Les impacts des transports sur la santé des personnes

En ce qui concerne la mise en évidence des impacts des choix de mobilité sur la santé, la littérature permet de relever trois axes principaux d'influence que sont, d'une part, l'exposition à des polluants chimiques ou physiques, d'autre part, les accidents de la route et, enfin, la sédentarité.

2.1.1 Exposition à des polluants chimiques ou physiques

Plusieurs recherches ont montré que l'exposition à des polluants chimiques ou physique générés par le secteur des transports a une influence sur le niveau de santé. En 2010, la pollution de l'air représentait environ 3% de l'indice AVCI³ utilisé par l'OMS pour chiffrer le coût de l'invalidité pour le système de santé et l'économie (Lim et al. (2013) tel que cité par Smargiassi et al. (2014)).

³ Année de vie corrigée du facteur invalidité, ou *disability-adjusted life years* (DALY) en langue anglaise

D'après Smargiassi et al. (2014), les véhicules motorisés constituent des sources non négligeables de bruit et d'émissions polluantes dont les impacts sanitaires ont fait l'objet d'une littérature abondante. Par exemple, il a été montré que le bruit augmente le sentiment d'agacement par Miedema et Oudshoorn (2001) ainsi que les troubles du sommeil (Pirrera, De Valck, & Cluydts, 2010) ou l'hypertension (Babisch, 2008). À long terme, selon le Health Effects Institute (2010), tel que référé par Smargiassi et al. (2014), l'exposition à la circulation de véhicules motorisés est aussi corrélée avec l'apparition puérile de l'asthme, le disfonctionnement des poumons et une augmentation de la mortalité liée à des problèmes cardio-respiratoires. D'autres impacts sur la santé des populations concernent en outre le niveau de stress ou d'anxiété et des problèmes liés à la grossesse (bébés prématurés, fausses couches).

2.1.2 Accidents de la route

Les accidents de la route sont aussi une conséquence des choix de transport portés par notre société. Au Québec, en 2016, on dénombrait un total de 351 personnes décédées sur les routes, 1 476 personnes grièvement blessées et 35 826 légèrement blessées (SAAQ, 2016). Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), ces accidents comptent pour la majorité des décès enregistrés dans la tranche d'âge des 15-29 ans (World Health Organization (2013) tel que cité par Smargiassi et al. (2014)). Selon le même rapport de sécurité routière, les collisions qui mettent en jeu des cyclistes, des piétons et des automobilistes constituent une préoccupation majeure de santé publique. L'aménagement de l'espace urbain en vue de faciliter les interactions entre les différents usagers est une priorité. En particulier, la recherche de Miranda-Moreno, Morency et El-Geneidy (2011) montre que la conception des routes influence le niveau d'accidents en modifiant le débit et la vitesse des véhicules ainsi que le nombre de conflits potentiels. En ce qui concerne la gravité de ces accidents, l'analyse de Mohamed, Saunier, Miranda-Moreno et Ukkusuri (2013) sur des données New-Yorkaises et Montréalaises, tel que cité par Martin (2016), montre que l'environnement urbain (présence de trottoirs, aménagement de pistes cyclables, etc.) a aussi une influence sur la gravité des accidents de la route.

2.1.3 Séentarité

Enfin, un troisième aspect lié à l'impact des transports sur la santé se rapporte au niveau d'activité physique. En effet, la littérature en santé montre qu'une activité physique régulière induit des

bénéfices sur la santé des personnes en réduisant la sédentarité. Smargiassi et al. (2014) relève dans la littérature les impacts suivants liés à la pratique régulière d'une activité physique :

- Réduction des risques de maladies cardiovasculaires (Sattelmair et al. (2011) tel que cité par Smargiassi et al. (2014)),
- Réduction du diabète (Jeon, Lokken, Hu et Van Dam (2007) tel que cité par Smargiassi et al. (2014)),
- Réduction des risques de cancer du sein (Wu, Zhang et Kang (2013) tel que cité par Smargiassi et al. (2014)), ou du colon (Wolin, Yan, Colditz et Lee (2009) tel que cité par Smargiassi et al. (2014)),
- Amélioration de la santé mentale, réduction du stress et amélioration du sommeil (Paluska et Schwenk (2000) tel que cité par Smargiassi et al. (2014)).

Encore selon Smargiassi et al. (2014), le livre « *The geography of transport systems* » de Rodrigue, Comtois et Slack (2013) témoigne du fait que la promotion du transport public et des modes de déplacements actifs est de plus en plus considéré comme une opportunité d'améliorer la santé publique dans les villes des pays industrialisés. Par ailleurs, selon Smargiassi et al. (2014) qui cite entre autres (De Nazelle et al., 2011; Frank, Andresen, & Schmid, 2004; Giles-Corti & Donovan, 2003; Oja et al., 2011; Sallis et al., 2009), la mobilité active constitue un levier non négligeable pour lutter contre la progression de l'obésité dans les pays industrialisés, au même titre qu'une activité physique régulière. Smargiassi et al. (2014) cite aussi (Ewing, Schmid, Killingsworth, Zlot, & Raudenbush, 2003; Lopez, 2004) qui montrent que les personnes qui se déplacent le plus souvent en véhicule motorisé sont plus enclines à développer de l'hypertension et à être atteintes d'obésité. Selon une étude de l'OMS, l'inactivité physique est aussi dite responsable d'environ un quart des cas de cancers respiratoires ou de cancers du côlon, de diabètes et de maladies cardiovasculaires (World Health Organization, 2010).

Dans l'optique d'une amélioration du niveau moyen d'activité physique à l'échelle métropolitaine, l'influence du transport collectif n'est pas non plus à négliger. Morency et al. (2011) ont proposé une méthode d'estimation de la distance parcourue à pied dans le cadre d'un déplacement en transport en commun et estiment qu'un déplacement aller-retour conduit en moyenne à 25% du volume d'activité physique recommandé par jour. De leur côté, Rissel et al. (2012) suggèrent

qu'une utilisation accrue du transport en commun permettrait d'augmenter l'activité physique des individus entre une dizaine et une trentaine de minutes par jour.

Certains travaux ont cherché à évaluer le potentiel d'une augmentation de l'activité physique suite à une modification des comportements de mobilité peu contraignante pour les individus. Dans cette lignée, Poliquin, Morency et Demers (2014) estiment que plus de 10% des déplacements en mode motorisé à Montréal « *auraient pu se faire à pied en 2008* » et qu'en moyenne, 13% des enfants réalisent des déplacements de moins d'un kilomètre en transport motorisé. La dévalorisation du transport actif joue donc un rôle important dans le niveau d'activité physique à l'échelle métropolitaine. Des études suggèrent enfin l'importance du rôle de l'aménagement dans le choix de se déplacer à pied ou à vélo (Cloutier et al., 2014; Saunier & Rabion, 2014; Sisiopiku & Akin, 2003). Outre l'impact sur le choix d'utiliser ou non un mode de transport motorisé, l'aménagement du territoire et l'offre de transport doivent aussi être pensés en termes d'accessibilité à différents services. Dans cette optique, Reyes, Páez et Morency (2014) proposent une méthodologie pour évaluer l'accessibilité des parcs urbains pour une population d'enfants résidant sur l'île de Montréal. Un aménagement qui favorise l'accessibilité aux espaces verts a des chances d'infléchir favorablement le niveau d'activité physique puisque les parcs offrent une bonne opportunité de dépenser son énergie (Chiesura, 2004; Cutts, Darby, Boone, & Brewis, 2009; Espinassous, 2010, 2014; Potestio et al., 2009; Reyes et al., 2014; Ries et al., 2009; Witten, Hiscock, Pearce, & Blakely, 2008).

2.2 Études des liens entre morphologie urbaine et mobilités

Outre la littérature abondante qui se rattache au contexte sanitaire de notre étude et que nous avons tâché de présenter dans le paragraphe 2.1, plusieurs recherches antérieures présentent des manières variées d'étudier l'impact de la forme urbaine sur les mobilités. Par exemple, Pouyanne (2004) a étudié quels sont les avantages d'une ville compacte en termes de mobilité en s'intéressant à l'interaction entre la forme urbaine et les mobilités dans un contexte de valorisation de la densité par les documents de planification urbaine, dans plusieurs villes de pays industrialisés. Le projet français Vilmodes (Antoni et al., 2013), qui réunit les laboratoires ThéMA (Univ. De Franche-Comté, Besançon, France), le Laboratoire d'Économie des transports (ENTP, Lyon, France) et le laboratoire « Ville Mobilité, Transport » de l'IFSTTAR (École des Ponts, Marne-la-Vallée, France) est aussi particulièrement intéressant puisque ses objectifs sont similaires aux nôtres. Pour

les chercheurs impliqués, un « *aménagement intégré combinant une réflexion sur la forme urbaine, les politiques de transport et les stratégies de localisation des activités* » (Antoni et al., 2013) pourrait apporter une alternative à l'étalement urbain qui s'observe dans la majorité des villes, toutes plus ou moins assujetties à l'industrie des transports motorisés (Illich et al., 1973). Leur projet s'appuie sur la modélisation informatique, en combinant une série de modèles existants. Ils utilisent les modèles *MorphoLim* (étude des « agglomérats urbains ») et *Fractalopolis* (aménagement fractal) pour déterminer la forme urbaine dans le cas de scénarios de laisser faire (BAU : *Business As Usual*), de renouvellement urbain compact (RUC) et de développement fractal (FOD : *Fractal Oriented Development*). Il s'agit de trois grands modèles de formes urbaines que l'on observe dans la réalité ou dans les plans d'aménagements de différentes villes. Le potentiel d'urbanisation des différentes formes urbaines envisagées est ensuite évalué à l'aide du modèle *MUP-City*, puis les conséquences en termes de mobilité sont évaluées à l'aide d'un modèle de type LUTI (*Land-Use and Transport Interaction*) au sujet duquel on pourra trouver beaucoup d'informations dans la littérature en transport et en aménagement. Ils utilisent le modèle LUTI *MobiSim* pour Besançon et la plateforme *Simbad* pour Lyon.

Dans le cadre de notre recherche, il a aussi été envisagé de coupler plusieurs modèles existants afin d'évaluer les impacts des décisions d'aménagement sur les mobilités et sur la santé. En particulier, le modèle nommé ES-3 (Desgagnés, 2004) établit un lien entre la forme urbaine et le choix d'un lieu de résidence par la définition d'un indice de similarité entre différentes zones d'analyse démographique. Toujours dans le contexte montréalais, le rapport de recherche de Patterson et al. (2014) s'intéresse aux différents cadres de modélisation intégrée du développement urbain et des transports et propose des recommandations pour le ministère des Transports quant à la prise en compte du développement urbain dans ses approches de modélisation. L'étude réalisée par Théberge-Barrette (2013) dans son mémoire de maîtrise est aussi pertinente puisqu'elle fait le lien entre l'offre de logement et la demande de transport à Montréal. Enfin, une étude comme celle de Lopez (2004) est intéressante dans la perspective de notre projet puisqu'elle établit un lien direct entre la forme urbaine et des impacts sur la santé, comme l'obésité dans ce cas.

2.3 Le modèle de Bussière (1972)

Les recherches de Schéou (1998), Enault (2003) et Bonnel et al. (2013) abordent plusieurs aspects liés à la modélisation de la répartition de la population par rapport au centre-ville. Ces recherches

discutent notamment d'une méthodologie proposée par Bussière dans les années 1970⁴. Dans ses recherches, ce dernier a proposé un modèle de régression pour estimer l'évolution concentrique de la population cumulée de personnes par rapport au centre d'une ville. L'estimation des paramètres et leur étude temporelle a notamment été utilisée pour mettre en évidence le phénomène d'étalement urbain, ou de mitage selon les termes de Kaufmann (2008). L'expression du modèle proposé par Bussière (voir Figure 2.1) se présente sous la forme suivante, où A est la densité théorique au centre-ville et $1/b$ la distance à partir de laquelle la densité de population décroît (point d'inflexion de la courbe modélisée, courbe orange en Figure 2.1) :

$$\text{Population cumulée (distance } r \text{ au centre - ville)} = \frac{2\pi A}{b^2} (1 - (1 + br)e^{-br})$$

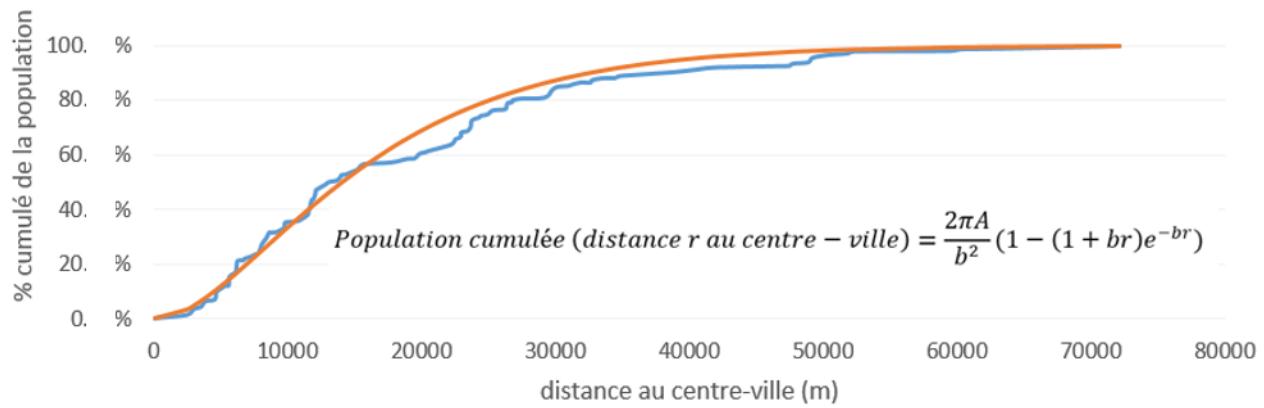


Figure 2.1 : Exemple de modélisation de la population cumulée en fonction de la distance au centre-ville (courbe bleue) par la fonction définie par Bussière (courbe orange)

En pratique, les deux paramètres du modèle de Bussière s'obtiennent numériquement par la méthode des moindres carrés non linéaire. Selon le jeu de données, il peut être utile d'initialiser les paramètres en estimant préalablement les paramètres de la dérivée de la fonction de Bussière. Selon Bonnel et al. (2013), cela revient à estimer les paramètres du modèle de Bleicher dont l'expression est $D(r) = Ae^{-br}$ où r représente la distance au centre-ville (DCV) et $D(r)$ la densité de population à la distance r du centre-ville. Pour estimer les paramètres A et b au sens des moindres

⁴ Une application du modèle de Bussière au cas de la population Montréalaise (données de l'enquête OD2008) sera détaillée plus en aval, dans le cadre de la présentation du premier modèle de simulation envisagé (paragraphe 4.3.1)

carrés, on cherche à minimiser la somme des carrés des écarts entre les valeurs observées et les valeurs théoriques, soit la fonction E définie par :

$$E(A, b) = \sum_{i=1}^{i=n} (g_{A,b}(x_i) - y_i)^2 \text{ où } g_{A,b}(x) = \frac{2*\pi*A}{b^2} * (1 - (1 + b * x) * e^{-b*x})$$

représente la fonction continue de buissière à la DCV x et $(x_i, y_i)_{i \in IN}$ représentent les points de la courbe de population cumulée non modélisée, construite à partir des données disponibles.

Comme E est une fonction convexe de A et b , elle présente un minimum unique pour un couple (A_0, b_0) pouvant être déterminé numériquement. On montre mathématiquement que ce minimum est atteint lorsque les deux dérivées partielles de $E(A, b)$ s'annulent, soit :

$$\begin{cases} \frac{\partial E(A, b)}{\partial A} = 0 \\ \frac{\partial E(A, b)}{\partial b} = 0 \end{cases}$$

Comme la fonction $g_{A,b}(x)$ n'est pas linéarisable aisément, le problème se réduit à la résolution d'un système d'équation non linéaire par une méthode numérique. Ce système se déduit des équations précédentes et peut être résolu informatiquement.

Dans la littérature, plusieurs limites ont été identifiées concernant le modèle de Bussière. D'une part, le fait de modéliser le cumul de la population, même si ceci favorise la qualité de la régression, fait qu'il est délicat d'utiliser ce modèle pour des fins de prévision de la répartition de la population dans le futur. En effet, même si l'on peut prédire l'évolution de la population cumulée en fonction de la distance au centre-ville, la courbe projetée ne peut que difficilement permettre de prédire le nombre de personnes que l'on projette dans des secteurs de planification déjà définis. D'autre part, comme le montre Enault (2003), la répartition autour d'un centre unique (monocentrique) n'est pas adaptée à toutes les villes et le modèle nécessite quelques adaptations, comme dans le cas de la ville de Dijon où deux centres distincts peuvent être identifiés. Enfin, la thèse de (Morency, 2005) discute d'une application du modèle de Bussière à la région métropolitaine de Montréal. En particulier, celle-ci propose d'utiliser un découpage sectoriel pour améliorer la pertinence du modèle à Montréal.

2.4 Prévision tendancielle de la demande de transport à Montréal

Contrairement à un grand nombre de villes, la planification des transports montréalaise n'a jamais reposé sur le très répandu « modèle à quatre étapes »⁵ mais s'est forgée sur une toute autre approche, basée sur les données d'enquête Origine-Destination historiquement bien établies dans la région métropolitaine (Morency, 2015). L'objet de cette section est de proposer une synthèse de l'approche de modélisation de la demande de transport typiquement utilisée au MTMDET afin de nous l'approprier dans le cadre de notre développement méthodologique lié à la simulation de scénarios. Cette approche, dite de factorisation, repose essentiellement sur une déformation des facteurs de pondération pour reconstituer la population à l'horizon d'étude.

2.4.1 Les enquêtes Origine-Destination (OD) de la GRM

Depuis 1970, les collectivités de la Grande Région de Montréal (GRM) ont mis au point une forme d'enquête auprès des résidents pour obtenir des informations sur l'utilisation moyenne des réseaux de transports (Trépanier & Chapleau, 2001). Les premières pages du document « *Enquête Origine-Destination 2008, la mobilité des personnes dans la région de Montréal* » produit par le Secrétariat aux enquêtes Origine-Destination métropolitaines (AMT, 2009) permettent de cerner les principes généraux, les objectifs et la méthodologie de l'enquête réalisée en 2008 sur laquelle nous avons basé nos recherches. Nous renvoyons le lecteur à ce document pour obtenir davantage d'informations sur cette enquête régionale qu'il ne pourra en trouver dans le présent rapport.

Tous les cinq ans, pendant l'automne, une entreprise a la charge de contacter aléatoirement des résidents de la GRM (5% des résidents environ) et de les questionner à propos de leurs déplacements du jour ouvrable précédent (origines, destinations, heures de départs, modes de transport utilisés...), de leur situation personnelle (âge, genre, type d'emploi, possession d'un permis de conduire...) et de la situation de leur ménage (taille du ménage, nombre d'automobiles à disposition, revenu...). Pendant l'entretien, qui se déroulait au téléphone pour l'enquête de 2008, on demande aussi à la personne enquêtée de répondre au questionnaire pour tous les autres

⁵ Aussi appelé « Procédure Séquentielle Classique » (PSC), voir en particulier (Bonnel, 2002, 2004)

membres de son ménage. Suite à la collecte et à un traitement des données, on dispose d'une base de données regroupant trois tables en relation par l'identifiant des personnes et des ménages.

Par l'intermédiaire des données récoltées, on est capable de décrire les déplacements de chaque personne enquêtée et de situer le ménage de cette personne avec ses caractéristiques propres. C'est en grande partie sur ces données, qui représentent la mobilité métropolitaine durant un « jour moyen de semaine d'automne » que s'appuient les différents organismes publics du transport ou les opérateurs de transport en commun à Montréal pour avoir une idée jugée représentative de la demande de transport dans la GRM. Dans le but d'extrapoler les données collectées à l'ensemble des habitants de la Grand Région de Montréal (GRM) et afin de tenir compte de certains écarts des caractéristiques globales de l'échantillon et de la population réelle, un poids est attribué à chaque personne et à chaque ménage enregistré dans la base de données. La méthode de calcul de ce poids s'appuie, pour l'enquête OD de 2008, sur les données du recensement canadien de 2006 (AMT, 2009), mais il faut noter que celle-ci n'est pas invariante d'une enquête à l'autre (notamment entre 2003 et 2008 (AMT, 2009)). Dans les données qui nous ont été fournies par le MTMDET, le facteur de pondération utilisé se base sur un estimé de la population en 2008 réalisé par l'Institut de la statistique du Québec (ISQ).

2.4.2 Pondération des données d'enquêtes Origine-Destination (OD)

Dans les enquêtes Origine-Destination (OD), la pondération des personnes et des ménages intervient pour tenter de corriger les données du fait que la population échantillonnée ne présente pas exactement les mêmes caractéristiques que la population à l'étude pour permettre l'inférence statistique à l'ensemble de la population de référence⁶. À supposer, par exemple, que l'on ait interrogé une proportion trop importante de personnes âgées par rapport à la proportion réelle de cette catégorie particulière dans la population de la région d'étude, on risquerait alors d'avoir des résultats faussés en extrapolant les comportements observés dans l'enquête du fait de la spécificité du comportement de mobilité de cette classe particulière de la population. Dans cet exemple, pour corriger le biais d'échantillonnage induit par le nombre trop important de représentants d'une classe

⁶ La population échantillonnée représente environ 5% de la population de la GRM dans les cas des enquêtes OD. L'ensemble des habitants de la GRM comptent environ 4 millions de personnes en 2008.

donnée, on cherchera à diminuer le poids des personnes âgées par rapport au poids des autres personnes. Au final, chaque personne de l'échantillon se voit attribuer un poids en fonction de ses attributs sociodémographiques dans l'optique de représenter au mieux la population de référence.

En théorie, le facteur de pondération d'un certain segment région-groupe d'âge sexe de population (hommes de 30 à 40 ans, femmes de 80 à 90 ans, femme de 40 à 50 ans qui réside dans le Plateau-Mont-Royal, etc.) s'obtient facilement dès lors que l'on connaît par ailleurs la proportion de ce segment de population dans la population à l'étude. Par exemple, si 70 000 hommes ont été échantillonnés parmi 150 000 personnes échantillonnées au total (répondants directs, ou personnes dans le ménage d'un répondant), soit 47% d'hommes dans l'échantillon d'enquête, et que l'on observe par ailleurs, avec une source externe de données fiable, que la proportion d'hommes dans la Grande Région de Montréal (GRM) est de 50%, soit 2 000 000 de personnes de sexe masculin parmi 4 000 000 de résidents, alors on va faire en sorte d'obtenir 50% d'hommes dans l'échantillon pondéré en attribuant un poids de 28,57 aux hommes alors que les femmes auront un poids de 25 seulement puisqu'elles représentent 80 000 personnes de l'échantillon. Ainsi, on reconstitue la population totale étudiée en appliquant les facteurs de pondération à chaque personne enquêtée : $28,57 * 70\,000 + 25 * 80\,000 = 4\,000\,000$ de personnes à l'arrondi prêt du facteur de pondération.

En pratique, le recensement canadien produit des données de référence pour les personnes ainsi que les ménages et la méthode de pondération peut ainsi être appliquée en tenant compte de différentes caractéristiques des personnes échantillonnées et de la structure de leur ménage. Selon le document « *Enquête Origine-Destination 2008, la mobilité des personnes dans la région de Montréal* » produit par le Secrétariat aux enquêtes Origine-Destination métropolitaines (AMT, 2009), la méthode de pondération de l'enquête Origine-Destination de 2008 s'effectue en deux temps : c'est d'abord l'ensemble des ménages qui fait l'objet d'un redressement, afin de garantir des proportions de typologies de ménages (selon la taille du ménage et l'âge des membres du ménage) conformes à celles du recensement de 2006, puis un poids est attribué à chaque enregistrement de personnes afin de respecter les proportions de personnes par groupe d'âge (AMT, 2009).

2.4.3 Utilisation des facteurs de pondération pour des fins d'analyse

Les facteurs de pondération sont utilisés pour toute analyse reposant sur les données d'enquêtes OD. Les facteurs de pondération des ménages s'appliquent dès que l'on cherche à établir une statistique relative à la mobilité des ménages de la GRM, comme par exemple le nombre de ménages motorisés dans un secteur particulier de Montréal ou encore le nombre de ménages dans une tranche de revenus particulière. Les facteurs de pondération des personnes, eux, s'appliquent pour le calcul de toute statistique portant sur la mobilité ou les caractéristiques des personnes de la GRM. Enfin, ce sont aussi les facteurs de pondération des personnes qui sont utilisés pour estimer des statistiques propres aux déplacements des personnes. Si une personne enregistrée s'est vue attribuer un poids de 25, par exemple, alors les déplacements qu'elle aura déclarés (ou que le membre répondant dans son ménage aura déclaré à sa place) compteront pour 25 déplacements identiques dans la GRM. En particulier, le mode de transport utilisé pour un des déplacements de cette personne comptera pour 25 déplacements dans ce mode de transport pour la GRM et si le motif de ce déplacement était d'aller travailler, alors on dénombrera 25 déplacements supplémentaires pour le motif « travail ».

2.4.4 Utilisation des facteurs de pondération pour des fins de modélisation

Au cœur d'une des méthodes que nous avons cherché à développer dans notre recherche, l'idée de jouer sur les facteurs de pondération à des fins de simulation n'est pas une idée nouvelle. En effet, le ministère des Transports (MTMDET) utilise déjà une telle méthode de factorisation afin d'établir des prévisions tendancielles sur la mobilité métropolitaine à travers son modèle de « *prévision de la demande en transport des personnes* » (MTQ, 2016).

Pour tenir compte de la tendance de vieillissement de la population montréalaise entre les années 2008 et 2031⁷ dans leurs prévisions, par exemple, la méthode employée consiste à corriger les facteurs de pondération des personnes en fonction de l'âge (augmentation du poids des personnes âgées et diminution du poids des personnes plus jeunes) et résulte ainsi à un calage de la courbe de fréquence des âges observés dans l'échantillon à des données démographiques prévisionnelles

⁷ Cette tendance peut être observée et quantifiée par l'analyse des fichiers des enquêtes Origine-Destination successives entre 1970 et 2008

(provenant d'une analyse tendancielle ou d'une autre source de données) pour l'horizon 2031. En reconstituant la population que l'on pense vraisemblablement observer à un horizon de court ou moyen terme par l'intermédiaire des facteurs de pondération et en supposant que les comportements de mobilité ne changeront pas (analyse tendancielle), on obtient une estimation des mobilités à l'échelle métropolitaine pour l'horizon souhaité.

En pratique, les facteurs de pondération sont altérés en tenant compte non seulement de l'évolution de la démographie, mais aussi des statuts d'activité et de la motorisation dans des segments de population construits sur la base d'une agrégation par secteur de résidence, par genre et par groupe d'âge de 5 ans. Si l'on est capable d'estimer le nombre de personnes d'un certain segment de population à l'horizon de planification, ainsi que le nombre de travailleurs et le taux de motorisation dans ce segment, alors le nouveau facteur de pondération s'obtient en multipliant le facteur initial par les quotients des différentes variables (rapport des valeurs projetées et des valeurs courantes). La formule suivante, issue d'une présentation du MTQ (2016), résume le calcul du facteur de pondération à l'horizon 2031, basé sur l'enquête Origine-Destination de 2008 :

$$F_{tsg}^{2031} = F_{tsg}^{2008} * \left(\frac{P_{tsg}^{2031}}{P_{tsg}^{2008}} \right) * \left(\frac{S_{tsg}^{2031}}{S_{tsg}^{2008}} \right) * \left(\frac{M_{tsg}^{2031}}{M_{tsg}^{2008}} \right)$$

Où : P = Population ; S = Satut de la personne ; M = motorisation

Et : t = territoire de résidence ; s = sexe ; g = groupe d'âge

Suite à la mise à jour des facteurs de pondération selon la formule précédente, un algorithme de Furness est appliqué dans le but de redistribuer les déplacements à motif « travail » pour garantir la cohérence des prévisions avec l'évolution prévisionnelle de l'emploi dans les différents secteurs de la région métropolitaine. L'engouement pour le transport actif et le transport collectif est modélisé par une facteur d'ajustement indépendant appliqué aux nouveaux facteurs d'expansion (MTQ, 2016).

En théorie, cette approche de prévision par factorisation des données pourrait faire appel à d'autres variables pertinentes pour infléchir la mobilité métropolitaine. Les données disponibles peuvent cependant demander de privilégier certaines variables plutôt que d'autres dans le modèle. Dans le modèle de prévision du MTMDET, les variables sont aussi sélectionnées pour leur robustesse dans le paradigme d'une modélisation tendancielle la plus objective et la plus neutre possible.

2.5 Échantillonnage artificiel et modèles d'activité en planification

Cette dernière partie de recension de la littérature s'organise en deux temps. La première section que nous présentons vise à expliquer le déroulement d'un algorithme de génération d'un ensemble de nombres aléatoires distribués de manière quelconque. Cette méthode, dite « *méthode de la transformée inverse* » (Touzin, 2013), peut s'envisager dans le cas d'une distribution théorique discrète ou continue de la variable aléatoire dont on souhaite construire numériquement un échantillon représentatif. Nous verrons ensuite que ce principe peut s'appliquer dans le cadre d'une modélisation de la demande de transport basée sur les activités dont un des enjeux est de générer un programme d'activités pour chaque individu modélisé. Les concepts théoriques abordés dans cette section seront réemployés dans la suite de ce mémoire puisqu'ils ont servi à générer des comportements de mobilité dans le cadre d'une méthodologie de densification résidentielle orientée vers le centre-ville de Montréal.

2.5.1 Méthode de la transformée inverse

Le développement théorique de cette partie s'appuie sur les travaux de Devroye (1986), Le Gauffre (2016) et Touzin (2013). D'une manière générale, la « méthode de la transformée inverse » peut-être utilisée afin de générer une série de nombres aléatoires qui s'organise selon une certaine distribution connue à l'avance. Dans le cas où l'on se donne une fonction de probabilité f et sa fonction de répartition F , telle que pour tout x réel on a $F(x)$ compris entre 0 et 1, la méthode de la transformée inverse peut être utilisée pour générer un ensemble de nombres aléatoires dont les fréquences sont distribuées selon la loi de densité de probabilité f . Les sections qui suivent présentent la méthode dans le cas d'une variable aléatoire discrète puis d'une variable continue.

2.5.1.1 Cas d'une variable aléatoire discrète

Supposons, comme le fait Le Gauffre (2016), que l'on cherche à simuler un tirage de n réalisations de la variable aléatoire discrète X définie par les probabilités suivantes :

$$\begin{cases} P(X = 11) = 10\% \\ P(X = 12) = 40\% \\ P(X = 13) = 40\% \\ P(X = 14) = 10\% \end{cases}$$

Par ailleurs, on suppose être en mesure de générer un ensemble de nombres aléatoires distribués uniformément entre 0 et 1, nommés N_i pour i variant de 1 à n . Ceci peut se faire par l'intermédiaire d'un langage de programmation ou d'une méthode congruentielle (Le Gauffre, 2016). Pour toute réalisation N_i de la variable aléatoire uniforme N , on associera la réalisation x_i de la variable aléatoire discrète X tel que :

$$\begin{cases} 0 \leq N_i < 0,1 \rightarrow x_i = 11 \\ 0,1 \leq N_i < 0,5 \rightarrow x_i = 12 \\ 0,5 \leq N_i < 0,9 \rightarrow x_i = 13 \\ 0,9 \leq N_i < 1 \rightarrow x_i = 14 \end{cases}$$

En procédant ainsi pour un nombre important de tirages, on s'assure d'approcher les probabilités précédentes pour les différentes réalisations possibles de la variable aléatoire discrète X . Le schéma présenté en Figure 2.2 résume les explications précédentes pour un tirage hypothétique de 20 valeurs N_i dans une distribution uniforme.

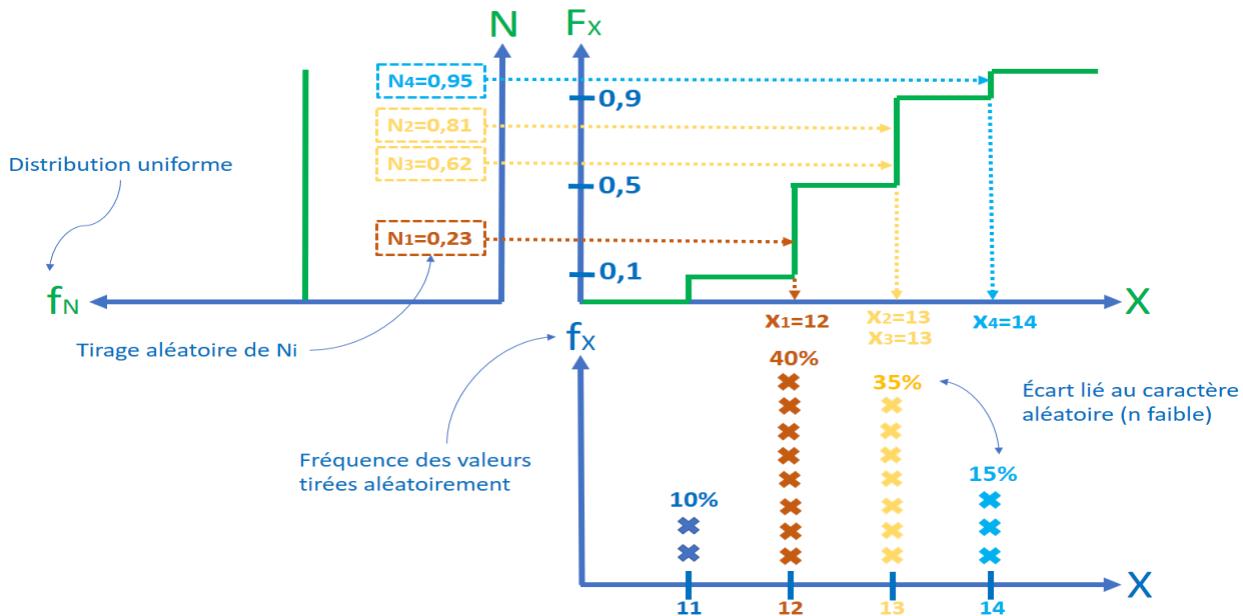


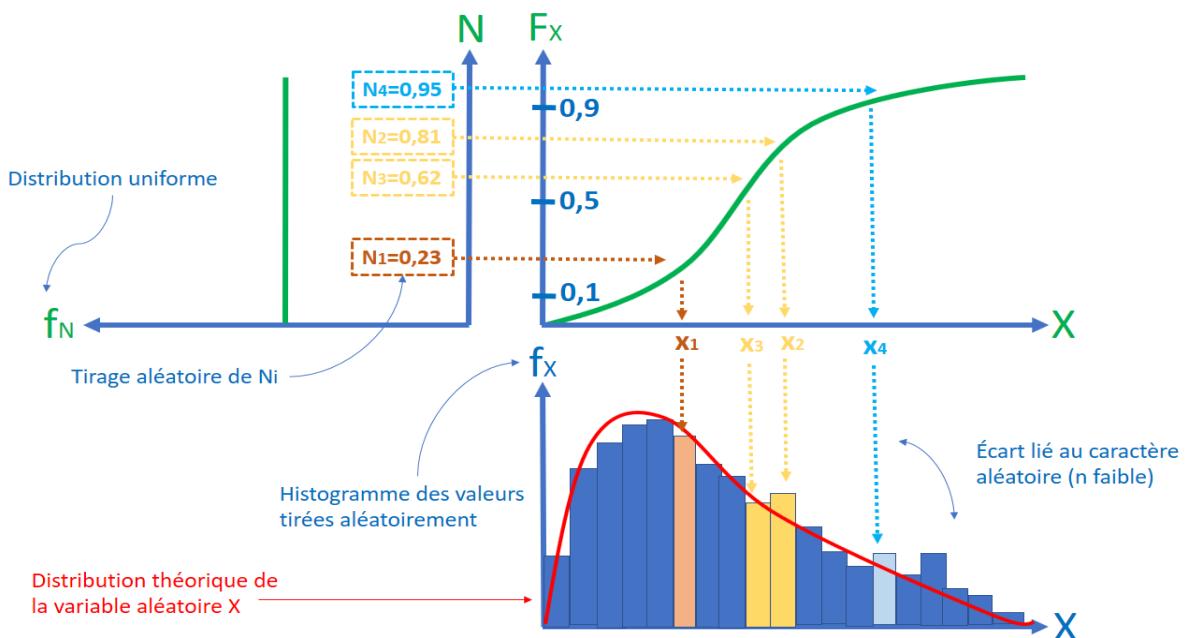
Figure 2.2 : Schéma de principe de la méthode de la transformée inverse pour générer un échantillon artificiel représentatif d'une variable aléatoire discrète X (Schéma adapté à partir de (Le Gauffre, 2016))

Trois graphes sont représentés sur ce schéma. Le premier, en haut à gauche, représente la distribution uniforme de la variable aléatoire N dans laquelle on tire aléatoirement un ensemble de $n = 20$ valeurs N_i toutes comprises entre 0 et 1. Pour chaque réalisation N_i de la variable aléatoire

uniforme N , on associe une valeur x_i de la variable aléatoire discrète X à l'aide de la fonction de répartition de X (deuxième graphe du schéma, en haut à droite). En procédant ainsi un certain nombre de fois ($n = 20$ dans l'exemple), on obtient une distribution empirique de la variable aléatoire discrète X (troisième graphe du schéma, en bas à droite). Du fait du caractère aléatoire de la méthode, on observera toujours un écart entre la distribution théorique de la variable aléatoire X et la distribution empirique. Cet écart ne sera pas important pourvu que le nombre de tirages réalisé soit grand.

2.5.1.2 Cas d'une variable aléatoire continue

La génération d'un ensemble de réalisations (échantillon artificiel) de la variable aléatoire continue X se fait selon une méthode similaire à celle d'une variable aléatoire discrète. Le problème, schématisé en Figure 2.3, se résume par la recherche de l'inverse de la fonction de répartition F de la variable aléatoire continue X (Le Gauffre, 2016).



Si la densité de X suit une loi de probabilité usuelle, on peut en général exprimer analytiquement une réalisation x_i de X en fonction d'un nombre aléatoire N_i tiré dans une distribution uniforme.

Si non, le problème se traite par une méthode numérique (Touzin, 2013). En tirant un nombre suffisant de valeurs x_i par la méthode de la transformée inverse et en agrégeant les valeurs dans des classes de même longueur, on obtient un histogramme qui approche la loi de densité de probabilité de la variable aléatoire X . Cela est représenté sur le troisième graphe (en bas, à droite) de la Figure 2.3.

2.5.2 Application aux modèles de transport basés sur les activités

L'objet de cette dernière section n'est pas de présenter en détail les modèles de transport qui se basent sur les activités. La littérature est relativement abondante à ce sujet depuis un regain d'intérêt dans les années 1990, où les modèles de prévision jusqu'alors employés⁸ ne convenaient plus pour évaluer les effets de nouvelles mesures de transport (Patterson et al., 2014). Dans sa thèse de doctorat, Nouri (2016) renvoie aux travaux de (Ben-Akiva & Bowman, 1998; Pas, 1997; Roorda & Miller, 2006) pour plus de détails sur les modèles d'activité. Le rapport de recherche de Morency et Trépanier (2013) et les thèses de Yasmin (2016) et de Ma (2007) constituent aussi des sources d'information pertinentes au sujet des modèles de transport basés sur les activités.

2.5.2.1 Les grandes composantes du modèle TASHA

Le modèle TASHA de génération d'un programme d'activité a été choisi pour illustrer le propos, particulièrement sur le problème de génération des activités pour les agents du modèle. Le module TASHA s'insère dans un modèle de transport complet, désagrégé et basé sur les activités, en développement par une équipe de chercheurs de l'Université de Toronto, dirigée par le professeur Miller (Morency & Trépanier, 2013). Son utilisation dans le cas de la région métropolitaine de Montréal a été étudiée par Morency et Trépanier (2013) ainsi que Yasmin (2016) qui ont cherché à évaluer l'hypothèse d'invariance temporelle des distributions fréquentielles utilisées par le modèle. Selon Morency et Trépanier (2013), le module TASHA s'exécute en cinq grandes étapes consécutives :

- 1) **La génération d'activités**, incluant le nombre d'activités de chaque motif, l'heure de départ et la durée de l'activité ;

⁸ Ces modèles sont basés sur les déplacements, comme le modèle à quatre étapes (Bonnel, 2002, 2004)

- 2) **Le choix d'un lieu pour réaliser les activités**, déterminé par un modèle d'entropie considérant le lieu de résidence, le lieu d'occupation et l'attractivité des zones ;
- 3) **La génération d'un horaire d'activités** pour la journée en modifiant les contraintes de début d'activité et de durées déterminés à la première étape. Cela implique la création de chaînes de déplacement pour chaque individu ;
- 4) **Allocation des outils de mobilité**, identification des déplacements en covoiturage, affectation d'un mode de transport ;
- 5) **Affectation des déplacements sur le réseau.**

En ce qui a trait aux quatre dernières étapes de la liste précédente (étapes 2 à 5), nous renvoyons le lecteur aux travaux de recherche cités précédemment, notamment ceux de Morency et Trépanier (2013) et Yasmin (2016) ainsi que les travaux du professeur Miller. Seule la première étape (génération des caractéristiques des activités pour chaque agent) est intéressante dans la perspective de la présente recherche. En effet, nous ferons appel plus en aval de ce mémoire au concept de tirage aléatoire dans des distributions observées, à la manière du modèle de génération des activités dans TASHA.

2.5.2.2 Illustration de l'étape de génération des activités dans TASHA

Les différents histogrammes présentés dans les schémas des Figure 2.4, Figure 2.5 et Figure 2.6 illustrent le déroulement du module de génération des activités dans TASHA pour trois agents hypothétiques du modèle. L'objectif est d'attribuer à chaque agent de la simulation un programme d'activités en se basant sur une série de distributions empiriques pour des motifs de déplacement et des segments de population donnés. Dans le cas du développement initial de TASHA, ce sont les données de l'enquête de transport torontoise TTS (Tomorrow Transportation Survey) de 1996 qui ont été utilisées pour construire des distributions similaires à celles présentées sur les Figure 2.4, Figure 2.5 et Figure 2.6 (Morency & Trépanier, 2013). Yasmin (2016) et Morency et Trépanier (2013) ont ensuite cherché à adapter le modèle aux données d'enquête Origine-Destination de la Grande Région de Montréal (GRM). Ces données permettent de générer les distributions fréquentielles utilisées pour définir le programme d'activités d'un agent du modèle.

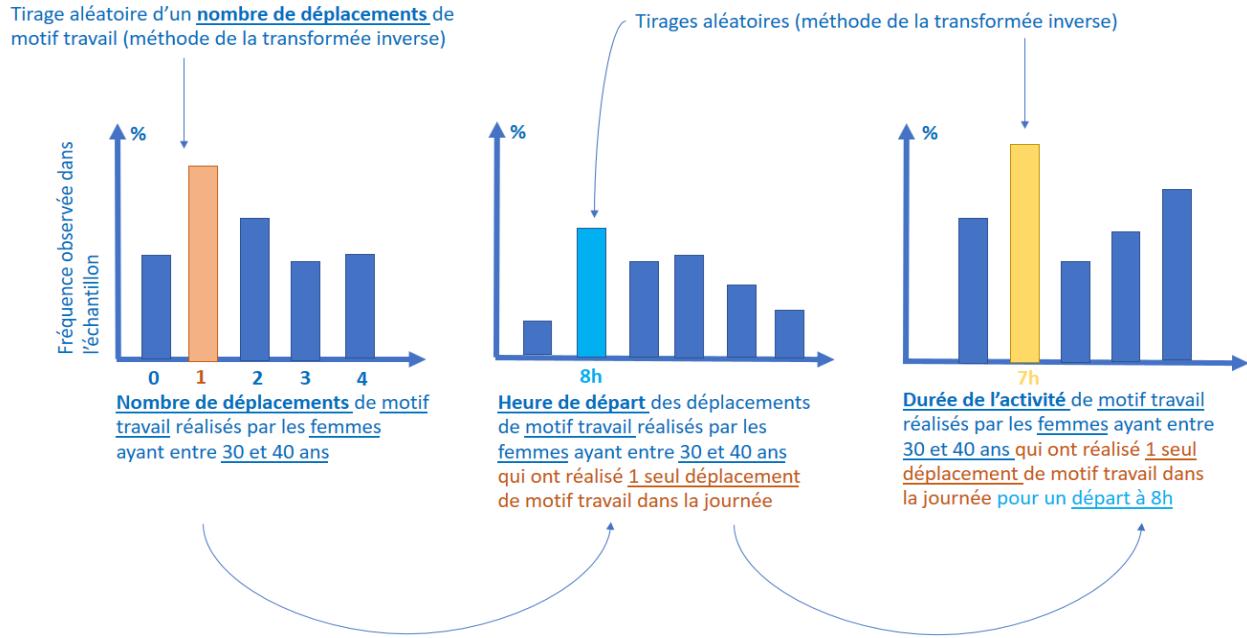


Figure 2.4 : Schématisation de la génération imbriquée d'un nombre de déplacements, d'une heure de départ et d'une durée d'activité pour un motif de déplacement et un segment de population donnés, dans le cas d'un nombre de déplacements égal à 1.

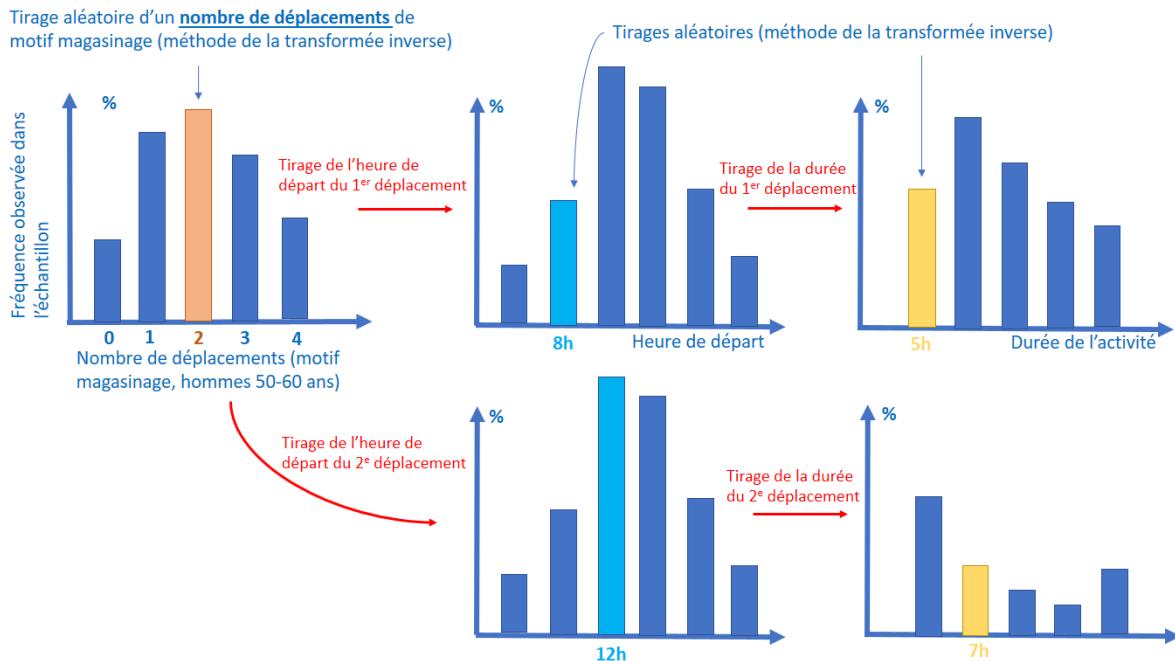


Figure 2.5 : Schématisation de la génération imbriquée d'un nombre de déplacement, d'une heure de départ et d'une durée d'activité pour un motif de déplacement et un segment de population donnés, dans le cas d'un nombre de déplacements égal à 2.

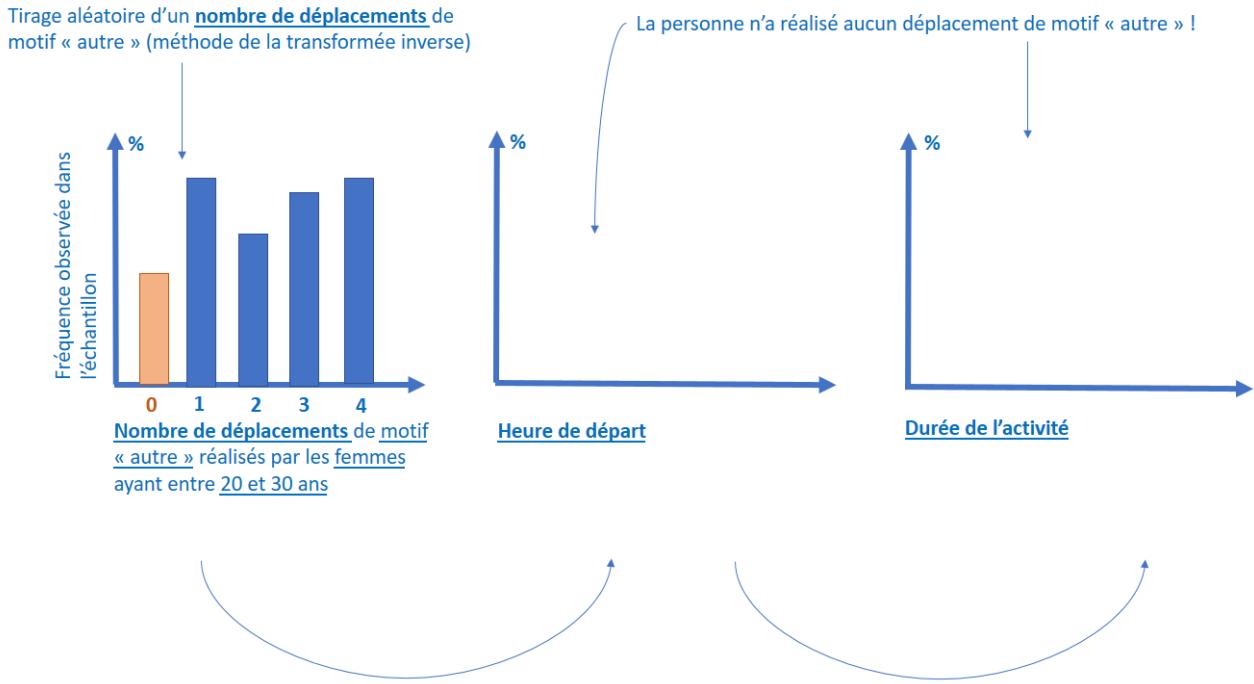


Figure 2.6 : Génération imbriquée d'un nombre de déplacements, d'une heure de départ et d'une durée d'activité pour un motif de déplacement et un segment de population donnés dans le cas d'un nombre de déplacements égal à zéro.

Pour chaque agent du modèle de simulation, la première étape du processus de génération des activités consiste à attribuer un nombre de déplacements de chaque motif (Travail, Magasinage, Autre, Retour au domicile) en tenant compte du segment de population auquel l'individu est identifié (prise en compte de l'âge et du genre de l'agent modélisé). En Figure 2.4, on suppose, à titre d'exemple, que l'individu est une femme ayant entre 30 et 40 ans dont on cherche les caractéristiques des activités motivées par le travail. Dans le cas de la Figure 2.5, nous supposons que l'agent est un homme ayant entre 50 et 60 ans et on cherche à lui affecter des caractéristiques pour ses activités de magasinage. Enfin, le cas de la Figure 2.6 suppose un agent de sexe féminin ayant entre 20 et 30 ans à qui on cherche à attribuer des caractéristiques pour les activités de type « autre ». Le choix du nombre de déplacements d'un certain motif réalisé par un agent d'un certain segment de population se fait selon la méthode de la transformée inverse adaptée à une variable aléatoire discrète et basée sur la distribution fréquentielle observée du nombre de déplacements pour l'activité choisie, dans le segment de population de l'agent. On distingue ensuite plusieurs cas selon le nombre de déplacements attribué aléatoirement à l'agent d'un segment de population spécifique, pour un motif de déplacement donné. Nous avons tenté d'illustrer les différentes

possibilités sur les schémas des Figure 2.4, Figure 2.5 et Figure 2.6. Les trois cas représentés se distinguent essentiellement dans le nombre qui a été tiré aléatoirement lors de l'affectation d'un nombre de déplacements pour l'activité considérée, en se basant sur la distribution relative au segment de population de l'agent en cours de traitement.

Dans le premier cas (Figure 2.4), on suppose que le tirage aléatoire par la méthode de la transformée inverse a renvoyé la valeur 1 (premier graphe, à gauche, surligné en orange). Dans ce cas, les étapes suivantes de la procédure de génération des activités consistent à affecter une heure de départ (deuxième graphe, au milieu), puis une durée d'activité (troisième graphe, à droite) selon le même principe qui a été appliqué pour le tirage d'un nombre de déplacements pour l'activité considérée. Par exemple, le schéma de la Figure 2.4 illustre un cas où l'on a tiré aléatoirement un instant de départ à 8h (surligné en bleu) pour l'unique activité du motif considéré, puis une durée d'activité de 7h (surligné en jaune) pour cette activité dont le déplacement a été initié à 8h. Il faut bien comprendre que les tirages sont réalisés de façon dépendante. Ainsi, la distribution des heures de départ (deuxième graphe, au milieu) est relative à une activité qui n'a motivé qu'un seul déplacement (tirage aléatoire du chiffre 1 lors de la génération du nombre de déplacements, premier graphe, à gauche). Pour le même segment de population et le même motif de déplacement, les distributions des heures de départ et des durées d'activités auraient été différentes si le tirage aléatoire du nombre de déplacements avait renvoyé la valeur 2.

Les Figure 2.5 et Figure 2.6 présentent deux autres cas possibles en fonction du tirage du nombre de déplacements d'un motif donné lors de la première étape de la génération des activités. Les schémas sont construits sur le même modèle que le schéma de la Figure 2.4 explicité précédemment ; seul le nombre de déplacements découlant du premier tirage par la méthode de la transformée inverse diffère. Lorsque le nombre de déplacements attribué à un agent d'un certain type pour une activité donnée est supérieur à 1 (cas illustré par la Figure 2.5), alors il faut procéder au tirage d'une heure de départ puis d'une durée d'activité autant de fois qu'il y a eu de déplacements motivés par l'activité considérée. Si l'on a attribué deux déplacements pour l'activité considérée lors du premier tirage (cas de la Figure 2.5), il faudra affecter une heure de départ et une durée d'activité pour chacune des deux activités qui en résultent. Dans ce cas, les distributions d'heures de départ sont identiques, mais les distributions de durée d'activité peuvent varier si les heures de départ tirées aléatoirement sont distinctes (voir Figure 2.5). Enfin, le dernier cas qui peut se produire résulte du tirage d'un nombre de déplacements égal à 0 pour le motif considéré (cas de la Figure 2.6). Dans

ce cas, aucun tirage d'heure de départ ou de durée d'activité n'est réalisé (il n'y a pas de déplacement) et l'on considère les autres motifs de déplacement pour le même agent. Dans tous les cas, quel que soit le nombre de déplacements attribué à un agent pour un motif donné, il faudra traiter l'ensemble des motifs possibles pour cet agent afin de lui allouer un programme d'activités complet pour la journée. Si les activités d'un agent ne sont pas compatibles temporellement dans l'espace d'une journée, des adaptations sont faites en modifiant les heures de départ et les durées d'activités après qu'ait été choisis les lieux de ces activités par un modèle d'entropie et les temps de déplacement en découlant.

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE

Suite aux deux premières parties de ce mémoire qui ont posé les fondements contextuels et théoriques de notre étude, l'objet de ce chapitre est de présenter les grandes lignes des méthodes de simulation qui ont été expérimentées et qui seront détaillées entre les CHAPITRE 4 et CHAPITRE 6 en réponse aux objectifs spécifiques définis à la section 1.5.

Les quatre premières sections de ce chapitre précisent les objectifs des simulations (paragraphe 3.1), les données requises (paragraphe 3.2), la notion de densification (paragraphe 3.3) et les hypothèses de calcul (paragraphe 3.4). Les trois grandes étapes communes à l'ensemble des méthodes de simulation expérimentées sont ensuite explicitées dans le paragraphe 3.5 et schématisées dans un diagramme méthodologique général qui présente les alternatives ayant été envisagées pour implémenter les différentes étapes du modèle (paragraphe 3.6). Ce chapitre se conclue par le paragraphe 3.7 qui présente l'interface de modélisation que nous avons utilisée tout au long de notre étude.

Cette recherche relevant avant tout d'une contribution méthodologique, ce chapitre n'a pas vocation à rentrer dans le détail des méthodes de simulation dont la formulation et l'implémentation ont constitué le cœur de notre travail. Le propos de ce chapitre est donc plutôt de chercher à regrouper les différentes méthodes dans un modèle conceptuel commun, synthétisé par le schéma méthodologique présenté dans la section 3.6. Les différentes méthodes que nous avons imaginées seront ensuite décrites complètement dans les CHAPITRE 4, CHAPITRE 5 et CHAPITRE 6 de ce mémoire. En particulier, chacun de ces chapitres présente un schéma méthodologique spécifique à mettre en relation avec le schéma méthodologique général explicité dans la section 3.6.

3.1 Objectifs des simulations

Les différentes méthodes développées dans le cadre de nos travaux cherchent à simuler une densification résidentielle (cf. paragraphe 3.3) pour en estimer les impacts en termes de mobilité. La densification résidentielle orientée vers le centre-ville de Montréal sera d'abord abordée en se basant sur une formulation théorique de cibles de densité dans les différents secteurs avant d'inclure des prescriptions propres à la région d'étude, définis dans le PMAD. En ce qui concerne les modèles théoriques de densification résidentielle, nous rendrons compte de deux procédures qui ont été étudiées successivement et qui constituent les sujets des CHAPITRE 4 et CHAPITRE 5.

Même si la deuxième méthode devrait être préférée pour sa transparence et pour la logique de son déroulement, la première méthode théorique que nous présentons permet de tirer certains enseignements et d'aborder différents concepts réemployés par la suite dans ce travail. Dans la démarche chronologique du projet, il apparaissait important de disposer rapidement d'une méthode systématique assez simple pour évaluer les possibilités de mise en œuvre de la méthodologie générale et pour fournir une ébauche de résultats afin de tester les étapes suivantes du modèle et la méthodologie générale du projet d'impacts des transports sur la santé (cf. paragraphe 1.4).

3.2 Les données d'enquêtes Origine-Destination (OD) de Montréal

Les différentes méthodes déployées dans le cadre de nos travaux s'appuient sur les données de l'enquête Origine-Destination de 2008 (OD2008) de Montréal. Le paragraphe 2.4.1 s'est déjà attardé à exposer les principes fondamentaux de ces enquêtes de mobilité. Certains points utiles à la compréhension des analyses développées par la suite méritent cependant d'être présentés plus en détail et c'est là l'objet des sections suivantes. Dans l'ensemble de ce document, nous tâcherons d'employer la terminologie du ministère des Transports (MTMDET) en ce qui concerne les attributs des données de l'enquête OD de 2008.

3.2.1 Territoire d'enquête et découpage spatial

Les enquêtes Origine-Destination (OD) cherchent à capter le portrait moyen de la mobilité dans l'ensemble de l'agglomération montréalaise. Pour l'étude, il a été choisi d'agréger l'ensemble de ces données de localisation par secteur municipal de l'enquête OD. Au nombre de 108 dans l'enquête de 2008, les secteurs municipaux sont des localités qui correspondent à des municipalités ou à des arrondissements de la Ville de Montréal lorsque l'on est proche du centre-ville (exemple : Plateau-Mont-Royal, Rosemont, Outremont, etc.), ou à des regroupements de municipalités lorsque l'on s'en éloigne. Pour chaque personne enregistrée dans l'enquête, on est en mesure de dire dans quel secteur municipal se situe son lieu de résidence.

Par ailleurs, certains éléments feront appel aux Zones d'Analyse Transport (ZAT), notamment lorsque nous chercherons à attribuer une destination par une méthode de mimétisme. Les ZAT constituent un découpage plus fin du territoire d'enquête (1631 zones). À l'origine, ce découpage est notamment utilisé par le MTMDET pour simuler l'utilisation des réseaux de transport dans le logiciel EMME. Ces zones ont été utilisées dans le but de faciliter la possible intégration du modèle de densification résidentielle dans le modèle général développé pour le projet santé-transport (voir paragraphe 1.4).

3.2.2 Données nécessaires aux modèles

Les modèles de simulation d'une densification résidentielle qui ont été développés s'appuient essentiellement sur les données présentées dans le Tableau 3.1 ci-dessous.

Tableau 3.1 : Répertoire et définition des données requises pour les modèles de simulation étudiés

Objet parent	Attribut	Définition de l'attribut
Ménage	Nolog	Identifiant du ménage
	Xmtmlog	Première coordonnée cartésienne du lieu de résidence dans le système de projection MTM NAD83
	Ymtmlog	Deuxième coordonnée cartésienne du lieu de résidence dans le système de projection MTM NAD83
	Smlog	Secteur municipal (SM) de résidence du ménage
	Nbper	Nombre de personnes dans le ménage
	Facmen	Facteur de pondération du ménage
Personne	Age	Age de la personne
	Genre	Genre de la personne
	Facper08	Facteur de pondération de la personne (basé sur les estimations de population de l'ISQ en 2008). Ce facteur s'applique aussi à chaque déplacement de la personne
Déplacement	Ipere	Identifiant du déplacement
	Hredep	Heure de départ du déplacement
	Motif	Motif du déplacement

Tableau 3.1 : Répertoire et définition des données requises pour les modèles de simulation étudiés (suite)

Déplacement	xmtmori	Première coordonnée cartésienne du point d'origine du déplacement dans le système de projection MTM NAD83
	ymtmori	Deuxième coordonnée cartésienne du point d'origine du déplacement dans le système de projection MTM NAD83
	xmtmdes	Première coordonnée cartésienne du point de destination du déplacement dans le système de projection MTM NAD83
	ymetmdes	Deuxième coordonnée cartésienne du point de destination du déplacement dans le système de projection MTM NAD83
	smori	Secteur municipal (SM) dans lequel se situe l'origine du déplacement
	ztori	Zone de transport (ZAT) dans lequel se situe l'origine du déplacement
	smdes	Secteur municipal (SM) dans lequel se situe la destination du déplacement
	ztdes	Zone de transport (ZAT) dans laquelle se situe la destination du déplacement
	ModeU	Classe modale du déplacement (cet attribut a été transmis par la chaire Mobilité de Polytechnique Montréal). Il regroupe les déplacements en différentes classes selon les modes de transport qui ont été utilisés. Cet attribut sera présenté plus en détail dans le paragraphe 5.4.2. Il peut être reconstruit à l'aide des attributs mode1, mode2... mode9 des données transmises par le MTMDET.

3.3 Notions de densité et de densification résidentielle

Les différentes méthodes développées dans le cadre de nos travaux cherchent à simuler une densification résidentielle pour en estimer les impacts en termes de mobilité. Selon les cas, la densité résidentielle mesure la concentration de logements, de personnes ou de ménages dans une aire géographique spécifiée. Plus cette concentration est grande dans une zone et plus la densité de cette zone est importante. Dans le développement de ce mémoire, nous serons amenés à parler de densité de personnes ou de densité de ménages dans une zone. Ces grandeurs s'expriment respectivement en nombre de personnes ou de ménages par unité de surface.

Historiquement, la notion de densification résidentielle apparaît en réaction à l'étalement urbain et à ses effets néfastes que l'on observe dans l'essentiel des grandes villes dont le développement a été largement influencé par l'engouement pour l'automobile depuis la deuxième moitié du 20^e

siècle (Bourbonnais, 2016). Nombreuses sont aujourd’hui les métropoles qui disposent d’un programme destiné à lutter contre cet étalement en espérant jouer sur la densité des populations sur le bassin urbain. Ainsi, dans les documents de la CMM (2011) et de la Ville de Montréal (2008), on trouve plusieurs fois l’idée d’augmenter les densités à proximité des points d’accès aux transports en commun afin de viser une meilleure soutenabilité du secteur des transports urbains. Dans ce mémoire, nous parlerons de densification résidentielle dans une zone lorsque nous chercherons à augmenter la valeur de la densité de personnes ou de ménages dans cette zone. En particulier, lorsque nous emploierons le terme de « densification résidentielle orientée vers le centre-ville de Montréal », nous entendrons par là une augmentation des densités de personnes ou de ménages à proximité du centre-ville de la métropole. Il serait envisageable, comme nous le proposons en particulier dans le CHAPITRE 6 et le paragraphe 8.3, d’orienter la densification résidentielle vers d’autres endroits stratégiques, comme les principaux pôles d’emplois, les nœuds de transport en commun, les centres secondaires de la métropole, etc.

3.4 Hypothèses de simulation

Les trois sections qui suivent précisent les hypothèses de simulation communes à l’ensemble des méthodes développées dans le cadre de ce mémoire. D’autres hypothèses spécifiques aux différentes approches envisagées seront amenées aux moments opportuns dans les chapitres suivants.

3.4.1 Définition du centre-ville de Montréal

Dans l’ensemble de ce mémoire, le centre-ville de Montréal est défini par le point barycentre (centroïde) du secteur municipal correspondant au quartier des affaires de la métropole. Ce secteur est identifié par le numéro 101 dans la base de données de l’enquête Origine-Destination de 2008 (OD2008).

3.4.2 Définition de la distance au centre-ville (DCV)

La distance au centre-ville (DCV) d’un secteur d’agrégation est définie comme la distance à vol d’oiseau qui sépare le centroïde géographique de ce secteur au point considéré comme le centre-ville de Montréal (cf. paragraphe 3.4.1). Par extension, on parlera de la distance au centre-ville pour un ménage en considérant simplement la DCV de son secteur de domicile (généralement, son

secteur municipal). Tous les résidents d'un même secteur ont donc la même DCV dans le cadre de cette étude.

3.4.3 Capacités d'accueil

Les capacités d'accueil des différents secteurs du territoire renseignent sur leur potentiel de développement en tenant compte de l'espace urbanisable disponible. En effet, les possibilités de développement varient d'un secteur à l'autre, notamment en raison de l'espace disponible, mais aussi selon les différentes réglementations en vigueur. Nous ferons abstraction des capacités d'accueil réelles des territoires dans l'ensemble des méthodes de simulation envisagées dans ce mémoire de recherche. Cette donnée existe mais elle n'a pas été communiquée à l'équipe de chercheurs pour des raisons de confidentialité. Cela est relativement moins important dans le cadre de notre projet qui vise essentiellement à simuler des scénarios contrastés de densification résidentielle dans un contexte de développement méthodologique.

3.5 Les grandes étapes des procédures de densification

Les trois paragraphes qui suivent présentent les grandes étapes que nous avons cherché à implémenter dans nos modèles de simulation. Ces trois étapes consistent successivement à définir des cibles de densité par secteur municipal, à relocaliser la population issue des données de l'enquête OD de 2008 et à attribuer des comportements de mobilité cohérents aux personnes relocalisées. Le schéma méthodologique de la section 3.6 permettra ensuite de clarifier le lien entre ces étapes, les choix d'implémentation retenus, les données et les hypothèses de simulation.

3.5.1 Cibles de densité

La première étape d'une simulation de densification consiste simplement à identifier les niveaux de densité (de personnes ou de ménages) souhaités dans l'ensemble des zones du territoire d'étude. Comme le précise le paragraphe 3.2.1, nous utilisons ici un découpage spatial basé sur les secteurs municipaux de l'enquête OD de 2008. Nous chercherons donc, dans un premier temps, à définir des valeurs de densité pour chacun des secteurs municipaux. Deux méthodes ont été envisagées pour ce faire.

La première méthode s'appuie sur une modélisation de la répartition de la population sur le territoire suivi d'une perturbation visant à imposer un gradient de densité plus fort en direction du

cetnre-ville tout en conservant la valeur de la densité dans le secteur centre-ville de Montréal ($smlog = 101$). L'intérêt de cette première méthode réside dans son approche automatique et dans les perspectives d'analyse qu'elle offre à propos de scénarios de densification contrastés. La deuxième méthode, quand-à-elle, cherche davantage à simuler des densités potentiellement réalisables à l'horizon d'étude. Elle consiste à définir indépendamment les densités de population dans chacun des secteurs municipaux suite à une étude des projets de développement de l'agglomération et des prévisions démographiques.

Les étapes suivantes peuvent être appliquées quelle que soit la méthode retenue pour définir les cibles de densité souhaitées pour la simulation. Même si notre étude et notre présentation ont privilégié la définition théorique des densités cibles, le CHAPITRE 6 s'attardera sur la spécification indépendante des cibles de densité en vue d'élargir les potentiels du simulateur, en se basant sur les documents de planification de la région montréalaise.

3.5.2 Relocalisation de la population

La deuxième étape d'une simulation de densification résidentielle basée sur les données de l'enquête OD de 2008 consiste à mettre à jour la base de données pour faire en sorte d'atteindre les cibles de densité fixées lors de la première étape. Deux méthodes ont encore été envisagées pour procéder à cette mise à jour des données de l'enquête. La première méthode (CHAPITRE 4) procède à la mise à jour des données en intervenant sur les facteurs de pondération des personnes en s'inspirant du principe de prévision de la demande en transport à Montréal (voir paragraphe 2.4 de la revue de littérature). En principe, il suffit d'augmenter les facteurs de pondération des personnes ayant déclaré résider dans un secteur municipal où l'on souhaite augmenter la densité par rapport aux facteurs de pondération des personnes ayant déclaré résider dans un secteur municipal où l'on souhaite baisser la densité.

Si cette méthode a l'avantage d'être simple à mettre en œuvre, elle fonctionne un peu comme une boite noire et le choix des paramètres à prendre en compte n'est pas évident. Par ailleurs, un des principaux problèmes de cette méthode est qu'elle ne permet pas de garantir la stabilité des ménages lorsque l'on joue sur le facteur de pondération des personnes. L'absence d'un lien trivial entre les facteurs de pondération des personnes et les facteurs de pondération des ménages nous a conduit à orienter nos recherches sur une approche différente. Cette deuxième approche, qui constitue le corps principal de notre étude, consiste à procéder à un tirage aléatoire de ménages

parmi les ménages enregistrés dans des secteurs municipaux où l'on souhaite réduire la densité et à leur attribuer un nouveau secteur municipal de résidence sur la base d'un second tirage aléatoire, parmi les secteurs municipaux à densifier (CHAPITRE 5).

3.5.3 Adoption d'un comportement de mobilité

Finalement, la dernière étape d'une simulation de densification résidentielle consiste à transmettre à chacune des personnes relocalisées un comportement de mobilité cohérent avec sa nouvelle situation. Dans le cas d'une relocalisation des personnes sur la base d'une modification générale des facteurs de pondération (CHAPITRE 4), l'attribution d'un comportement de mobilité n'est pas nécessaire puisque la modification des facteurs remplit déjà cette fonction de façon implicite. En effet, en augmentant le facteur de pondération d'une personne résidente d'un secteur où l'on augmente la densité, on se retrouve à augmenter le poids des déplacements de cette personne dans le portrait global de mobilité.

Dans l'autre cas, où les ménages ont été relocalisés sur la base d'une sélection aléatoire (CHAPITRE 5), nous ne pouvons pas faire l'hypothèse que ceux-ci ne changeront pas de comportement et qu'ils continueront à se déplacer dans les mêmes lieux et aux mêmes horaires pour chacune de leurs activités. C'est à ce stade de la méthode qu'apparaît la notion de mimétisme des comportements de mobilité. Le mimétisme consiste à attribuer de nouvelles valeurs à un certain nombre d'attributs des déplacements des personnes ayant été relocalisées sur la base d'un tirage aléatoire. Ces valeurs sont copiées à partir de valeurs existantes pour des motifs de déplacements similaires parmi des personnes de même type dans le voisinage du nouveau lieu de résidence. Deux approches ont été expérimentées pour implémenter la procédure de mimétisme. La première méthode (paragraphe 5.4.1) peut être vue comme une approche naïve du problème et son développement n'a finalement pas abouti. À la place, nous avons fait appel au principe de tirage aléatoire utilisé dans les modèles d'activités présentés dans notre revue de littérature. C'est finalement en combinant cette seconde approche du mimétisme (paragraphe 5.4.2) avec un tirage aléatoire des ménages à relocaliser que nous obtenons une méthode de simulation d'une densification résidentielle assez performante.

3.6 Schéma méthodologique général

Le schéma de la Figure 3.1 ci-après présente la méthodologie générale que nous proposons pour simuler une densification résidentielle à Montréal. Les trois grandes étapes des procédures de densification qui ont été explicités dans la section précédente sont représentées dans les encadrés bleus (cibles de densité par SM, relocalisation de la population, adoption d'un comportement de mobilité) et sont communes aux trois méthodes développées dans les chapitres suivants.

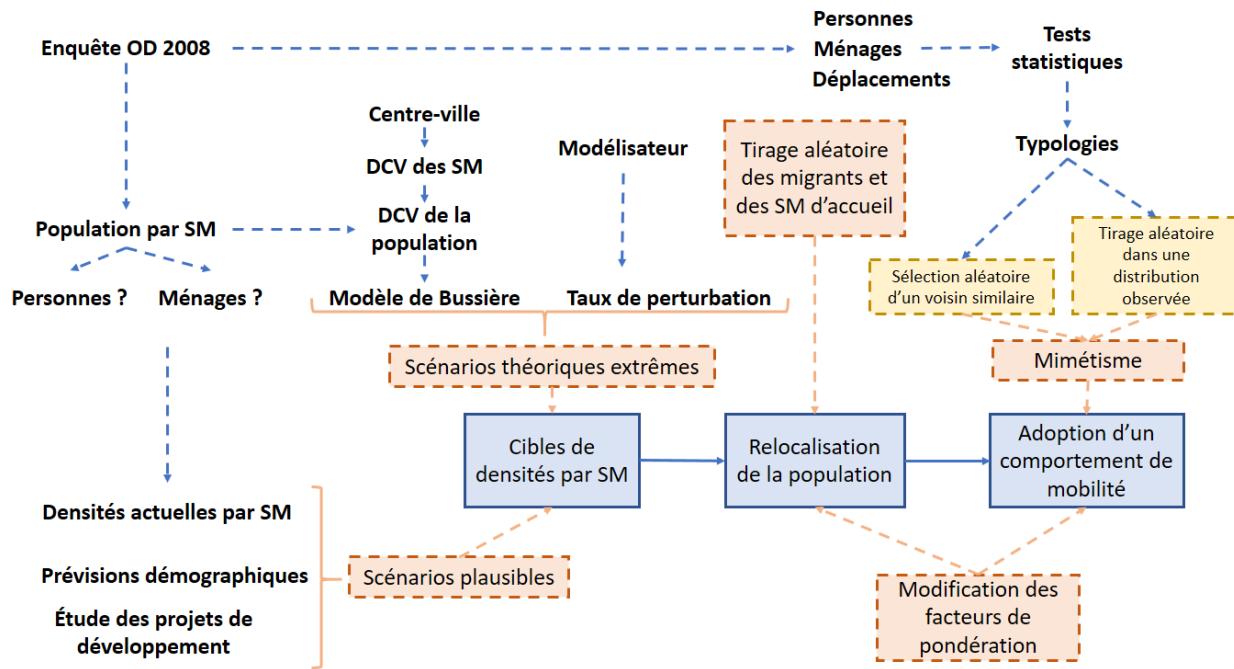


Figure 3.1 : Schéma méthodologique général d'une simulation de densification résidentielle orientée vers le centre-ville de Montréal (SM : secteurs municipaux ; DCV : distance au centre-ville)

Les méthodes qui ont été implémentées proposent un ensemble d'alternatives pour procéder à ces grandes étapes et celles-ci sont représentées dans les encadrés orange du schéma de la Figure 3.1. Pour chaque étape, il faut choisir l'un des modules qui s'y rattache, schématisé par un encadré orange. Par exemple, pour la deuxième étape du modèle (relocalisation de la population), on aura le choix entre, d'une part, procéder à une modification des facteurs de pondération de l'enquête OD et, d'autre part, effectuer un tirage aléatoire des migrants et des secteurs municipaux (SM) d'accueil. Si l'on choisit de procéder à cette étape en modifiant les facteurs de pondération, cela

exécutera dans le même temps la dernière étape du modèle, soit l'adoption d'un comportement de mobilité.

Pour la procédure de mimétisme (Figure 3.1), deux alternatives sont aussi envisageables (voir encadrés jaunes) : soit la sélection aléatoire d'un voisin similaire qui sert de modèle pour l'ensemble des caractéristiques de déplacements d'une personne relocalisée, soit le tirage aléatoire de certaines valeurs dans une distribution observée. Enfin, les mots clés non encadrés sur le schéma permettent de faire le lien entre les données (cf. paragraphe 3.2), les hypothèses de simulation (cf. paragraphe 3.4) et les différentes procédures du modèle (encadrés orange). En particulier, les procédures de mimétisme pour l'étape d'adoption d'un comportement de mobilité font appel à la construction d'une typologie de personnes, de ménages et de déplacements qui repose sur l'étude statistique d'un certain nombre d'attributs de l'enquête OD 2008.

3.7 Interface de programmation

En raison de compétences limitées en programmation et pour simplifier une première appréhension du modèle de simulation à développer, il a été choisi de développer des algorithmes en VBA sur le logiciel Microsoft Excel. Les fonctions qui ont été programmées seront référencées par un ensemble d'organigrammes algorithmiques dans les chapitres suivants.

CHAPITRE 4 PREMIÈRE MÉTHODE DE MODÉLISATION : SIMULATION BASÉE SUR LES FACTEURS DE PONDÉRATION

L'objet de ce chapitre est de présenter la première méthode de densification résidentielle qui a été conçue. Nous avons d'abord cherché à proposer une méthode simple et systématique qui puisse être généralisée ensuite à d'autres scénarios. Cette partie de notre contribution s'inscrit complètement dans l'objectif de simuler des scénarios contrastés de forme urbaine. Dans ce qui suit, nous traiterons exclusivement de la simulation d'une densification résidentielle orientée vers le centre-ville de Montréal, mais nous verrons ensuite que la méthode peut éventuellement être adaptée à d'autres types de scénarios de répartition résidentielle (comme une densification ciblée sur les nœuds de transport en commun, ou sur les pôles d'emplois) et s'adapter à une formulation de cibles de densité de population visant à reproduire plus précisément des objectifs de développement de la communauté métropolitaine.

Après une description plus concrète du premier outil de modélisation qui a été développé dans le cadre de notre étude (paragraphes 4.3), le présent chapitre s'attardera à souligner quelques problèmes qui se posent si l'on se cantonne à une démarche de modélisation basée sur la perturbation des facteurs de pondération des personnes, tel que nous l'avons envisagée en premier lieu (paragraphe 4.4). Cela introduira le CHAPITRE 5 de ce mémoire, qui propose une autre façon d'aborder le problème et qui a été étudiée postérieurement à la méthode préliminaire que nous présentons ici. Pour mieux situer cette première méthode de modélisation dans le cadre méthodologique de ce mémoire (cf. CHAPITRE 3), nous proposons d'amorcer le présent chapitre par un retour sur le schéma méthodologique général présenté dans la section 3.6 (Figure 3.1). À ce titre, le paragraphe 4.1 ci-dessous propose de définir la méthodologie spécifique à la méthode envisagée dans ce chapitre au regard de notre méthodologie générale.

4.1 Méthodologie spécifique

La méthode de simulation décrite dans ce chapitre se décompose en trois grandes étapes auxquelles il a déjà été fait allusion de façon générale dans le CHAPITRE 3, mais pour lesquelles nous choisissons désormais une façon spécifique de les aborder. La Figure 4.1 schématise ces différentes étapes (encadrés bleus) ainsi que les choix d'implémentation spécifiques à la démarche décrite dans le présent chapitre (encadrés orange). La spécificité de la méthodologie que nous décrivons ici (par

rapport à la méthodologie générale développée dans le CHAPITRE 3) repose sur la formulation d'un scénario théorique extrême de densification basé sur les personnes (paragraphe 4.3.1) et sur une technique de factorisation⁹ pour simuler la relocalisation des personnes et la modification, en moyenne, des comportements de mobilité (paragraphe 0).

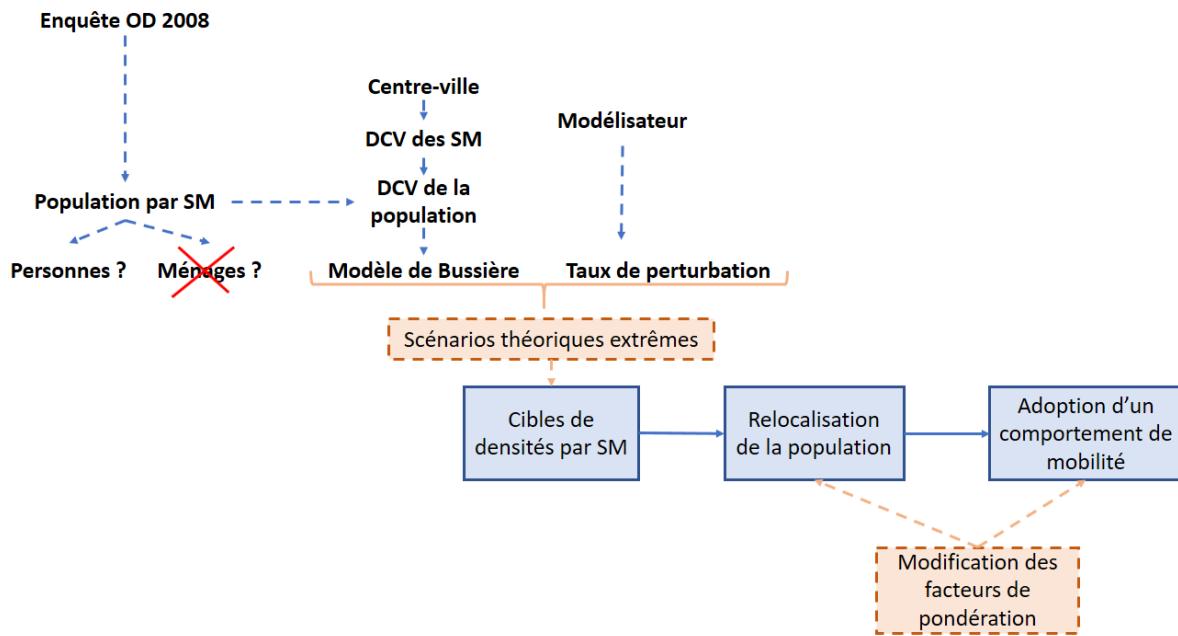


Figure 4.1 : Schéma méthodologique d'une simulation de densification résidentielle théorique extrême orientée vers le centre-ville de Montréal et basée sur les facteurs de pondération des personnes

La formulation d'un « scénario théorique extrême » de densification (cf. Figure 4.1, encadré orange à gauche) repose sur la modélisation puis la perturbation de la répartition de la population par rapport au centre-ville (DCV) en se basant sur le cadre théorique exposé au paragraphe 2.3 (« modèle de Bussière », cf. Figure 4.1). Cette perturbation est appliquée par le modélisateur (choix d'un « taux de perturbation », cf. Figure 4.1) à la distribution modélisée afin d'accroître les densités de personnes dans les secteurs proches du centre-ville et de les réduire dans les secteurs les plus périphériques de la métropole. La méthode se conclut par la prise en compte des nouvelles adresses de résidence dans le fichier de l'enquête Origine-Destination (étape de « relocalisation de la

⁹ La technique de factorisation qui a été étudiée s'inspire du modèle de « prévision de la demande de transport » du MTQ (2016) qui a été présenté dans le paragraphe 2.4.4 dans le chapitre consacré à une revue de la littérature.

population », cf. Figure 4.1, encadré bleu du milieu) et par l'adoption d'un comportement de mobilité par les personnes enregistrées qui ont été déplacées de leur lieu de résidence déclaré dans l'enquête (étape « d'adoption d'un comportement de mobilité », cf. Figure 4.1, encadré bleu à droite).

Ces deux dernières actions (relocalisation de la population et adoption d'un comportement de mobilité) s'effectuent ici par une « modification des facteurs de pondération de l'enquête OD » (cf. Figure 4.1, encadré orange à droite), c'est à dire une technique de factorisation. En fait, il faut bien comprendre que nous n'agissons pas ici sur les comportements individuels en matière de mobilité, mais bien sur le poids d'un segment sociodémographique donné dans le comportement moyen de mobilité à l'échelle métropolitaine. Comme le poids d'un enregistrement représente une personne résidente de Montréal, on s'autorisera cependant à dire que nous avons changé les comportements de mobilité de certaines personnes en jouant sur leur facteur de pondération.

4.2 Remarques préliminaires

4.2.1 Perspective centrée sur les personnes ou sur les ménages ?

Dans cette méthode préliminaire, nous avons d'abord choisi de procéder à des relocalisations de personnes sur le territoire de la GRM (cf. Figure 4.1). L'objectif de la procédure que nous décrivons dans ce qui suit est donc d'augmenter les densités de personnes dans les zones à proximité du centre-ville. Nous verrons à la section 4.4.2 quelques prescriptions pour adapter la démarche à une relocalisation des ménages au complet plutôt que des personnes unes à unes. C'est en partie en raison de la complexité de cette tâche que nous avons choisi de nous concentrer sur une approche différente pour la suite de nos travaux¹⁰.

4.2.2 Outil de simulation développé pour cette méthode

Pour simuler une densification résidentielle de personnes selon la méthode présentée dans les paragraphes qui suivent, un outil a été développé sur un fichier Microsoft Excel. Cet outil permet de procéder à une redistribution des personnes de la GRM sur le territoire en s'appuyant sur le

¹⁰ Comme mentionné précédemment, cette deuxième approche sera décrite plus précisément dans le CHAPITRE 5.

choix d'un taux de perturbation du modèle de Bussière (voir paragraphe 4.3.1.3) et sur la modification des facteurs de pondération des personnes pour se caler sur le modèle perturbé (voir paragraphe 0).

4.3 Les étapes du modèle

Cette section présente les différentes étapes du modèle de simulation qui repose sur des cibles de densité théoriques extrêmes et sur la perturbation des facteurs de pondération.

4.3.1 Cibles de densité de personnes

Au moment du développement de cette méthode, la définition des cibles de densité de personnes se faisait selon la première méthode à laquelle nous faisions allusion dans la partie 3.5.1 du chapitre méthodologique et qui a été précisée dans la section 4.1. Le point central consiste ici en la modélisation de la population cumulée en fonction de la distance au centre-ville (DCV) par la fonction de Bussière empruntée à la littérature¹¹. Parmi les deux paramètres à estimer dans le modèle de Bussière, l'un d'eux est lié au gradient de densité par rapport au centre-ville. Après avoir estimé les paramètres du modèle de Bussière pour la population de personnes étudiée, nous proposons de jouer sur ce dernier paramètre afin de simuler une concentration accrue en direction du centre-ville. Moyennant quelques calculs élémentaires pour procéder à une sorte de « décumule » de la courbe de population cumulée, nous obtenons de façon assez simple un vecteur de densités cibles relatives à chaque secteur municipal selon le niveau de densification souhaité¹².

Les trois sous-sections qui suivent explicitent la méthode de génération de cibles de densité théoriques pour les secteurs municipaux en se basant sur une population de personnes non segmentée. La première section explique comment sont obtenues en pratique les courbes d'évolution de la population cumulée en fonction de la distance au centre-ville. Ensuite, nous explicitons les valeurs estimées pour le modèle de Bussière dans le cas d'une population de

¹¹ Le paragraphe 2.3 présente une revue de littérature consacrée au modèle de Bussière développé dans les années 1970

¹² Le niveau de densification souhaité est relatif au choix d'un taux de perturbation plus ou moins important pour le deuxième paramètre du modèle de Bussière (cf. Figure 4.1).

personnes non segmentée et nous proposons une méthode de perturbation du modèle et de redistribution des personnes pour simuler une densification résidentielle.

4.3.1.1 Localisation des personnes sur le territoire et distance par rapport au centre-ville (DCV)

Les données d'enquêtes Origine-Destination (OD)¹³ permettent de localiser le domicile de chaque personne enregistrée dans le système de coordonnées MTM (zone 8), usuellement utilisé pour la région de Montréal et éventuellement modifiable à l'aide d'un logiciel de SIG (Système d'Information Géographique).

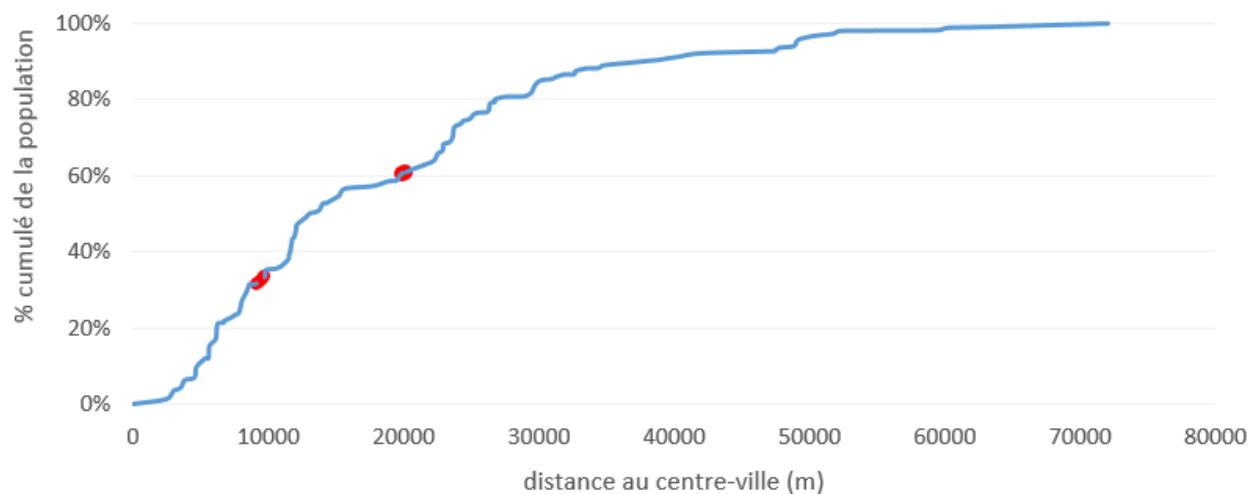


Figure 4.2 : Courbe de population cumulée en fonction de la distance au centre-ville (DCV) pour la population totale des personnes de la GRM (aucune segmentation réalisée)

Partant de là, l'étude de la répartition de la population par rapport au centre-ville se fait en considérant une distance moyenne pour chaque secteur municipal à l'aide des fonctionnalités « VECTEUR / OUTILS DE GÉOMÉTRIE / CENTROÏDES DE POLYGONE » et « VECTEUR / OUTILS D'ANALYSE / MATRICE DES DISTANCES » du logiciel Quantum GIS (QGIS). Tous les résidents d'un même secteur municipal sont supposés habiter à une même distance à vol d'oiseau du centre-ville (DCV), prise comme la distance entre le barycentre du secteur (centroïde calculé sur QGIS) et le barycentre du secteur municipal « Centre-ville ». Les barycentres des secteurs municipaux

¹³ Les données d'enquêtes Origine-Destination (OD) ont été présentées dans les sections 2.4.1 et 3.2 de ce mémoire.

(centroïdes) ainsi que les distances inter-centroïdes peuvent être calculés sur QGIS. En triant les secteurs municipaux par DCV croissante et en sommant les facteurs de pondération des personnes qui y résident lorsque l'on s'éloigne du centre-ville¹⁴, on obtient une courbe représentant la population cumulée de personnes en fonction de la distance au centre-ville (Figure 4.2).

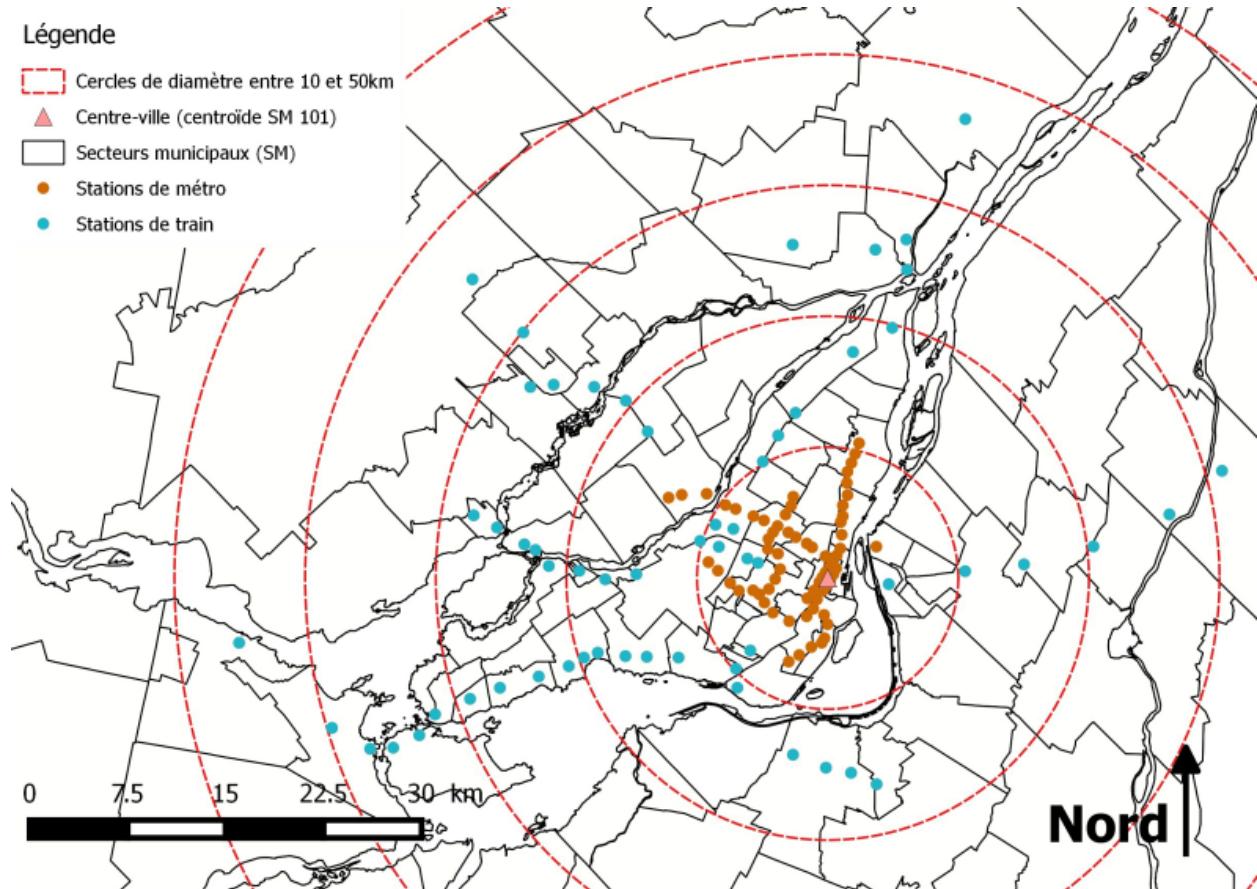


Figure 4.3 : Représentation du centre-ville de Montréal par rapport aux infrastructures lourdes de transport collectif

La carte de la Figure 4.3, permet de visualiser les distances concentriques par rapport au centre-ville de la région métropolitaine dans le but de faciliter l'interprétation des courbes de population cumulée qui sont présentées. Ainsi, la courbe de la Figure 4.2 montre qu'environ 40% de la population de la GRM réside à moins de 10km du centre-ville de Montréal, puis que 60% des personnes vivent à moins de 20km du centre-ville. La carte de la Figure 4.3 permet de visualiser

¹⁴ Nous utilisons ici les facteurs de pondération dans un but analytique (cf. paragraphe 2.4.3).

ces distances à l'échelle de la région métropolitaine. En particulier, il n'est pas intéressant de constater qu'un rayon de 10km autour du centre-ville englobe la quasi-totalité des arrêts de métro de la région et qu'un rayon entre 20km et 30km regroupe les municipalités les plus importantes : la Ville de Montréal, Laval et Longueuil. Ces deux distances montrent qu'en doublant la distance par rapport au centre-ville (de 10km à 20km autour du centre-ville) on augmente seulement de moitié la population de personnes. Cela suggère un début de décroissance de la densité résidentielle aux alentours de 10km du centre-ville de la région métropolitaine.

4.3.1.2 Modélisation de la fonction cumulée des personnes en fonction de la DCV

Généralement, l'allure de la courbe de population cumulée en fonction de la distance au centre-ville (Figure 4.2) est sensiblement la même quel que soit le segment de population que l'on considère et on peut appliquer le modèle de régression proposée par Bussière dans les années 1970. L'expression du modèle est rappelée sur la Figure 4.4, qui présente aussi le modèle estimé pour la population totale de personnes (aucune segmentation).

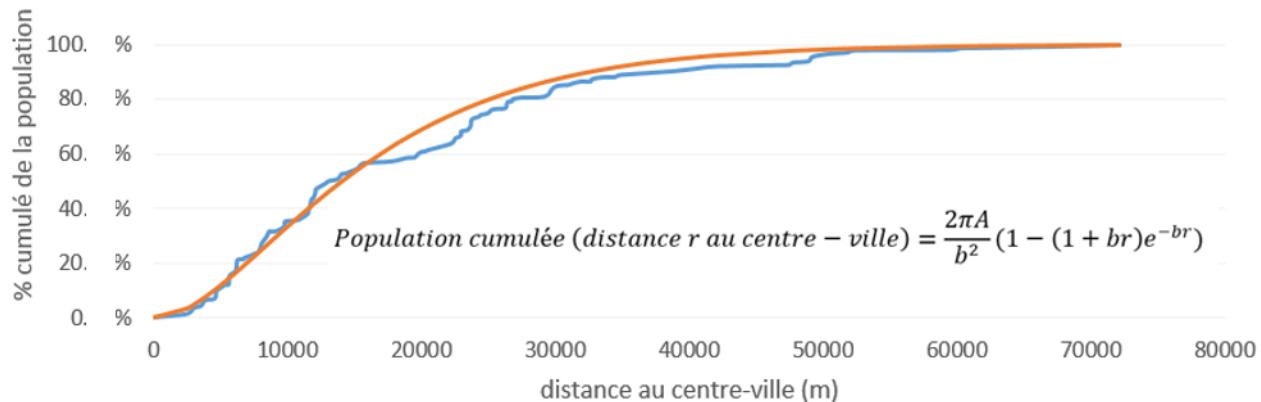


Figure 4.4 : Population cumulée en fonction de la distance au centre-ville pour la population totale (courbe bleue), modélisation selon la fonction définie par Bussière (courbe orange)

En pratique, les paramètres du modèle de régression s'estiment en cherchant à minimiser les écarts avec les données observées, par la méthode des moindres carrés. Nous avons utilisé le complément solveur du tableur Microsoft Excel (minimisation de la somme des carrés résiduels à l'aide du « GRG NON LINÉAIRE ») pour estimer les paramètres associés à différents segments de population. Dans le cas de la régression de Bussière appliquée à la population totale de personnes, sans aucune segmentation, on estime les paramètres $A = 9,36 \times 10^3$ et $b = 1,26 \times 10^4$. Cela correspond à

une distance de décroissance $1/b = 7,96 \text{ km}$. Les paramètres de la régression obtenus par la méthode des moindres carrés avec le solveur d'Excel sont présentés dans le Tableau 4.1. En particulier, la valeur élevée du coefficient R^2 témoigne d'une excellente adéquation du modèle aux données récoltées dans l'enquête OD de 2008 et agrégées par distance croissante au centre-ville. Pour finir, le Tableau 4.2 présente un extrait de la table de données utilisée pour générer les courbes de la Figure 4.4 et servant de base à la résolution des moindres carrés par le solveur. Ces données permettent aussi de calculer les valeurs présentées dans le Tableau 4.1. Ici aussi, seuls les huit secteurs les plus proches du centre-ville sont présentés.

Tableau 4.1 : Valeurs estimées pour le modèle de Bussière appliqué à la population totale de personnes par la méthode des moindres carrés à l'aide du solveur d'Excel

Densité théorique au centre-ville A (personnes/m ²)	9.4 * 10 ⁻³
b (m ⁻¹)	1.3 * 10 ⁻⁴
Distance de décroissance 1/b (m)	8.0 * 10³
Somme des carrés résiduels (SCR) minimisée par le solveur d'Excel → SCR = Somme(OBS-Théo) ²	2.1 * 10 ¹²
Somme des carrés totaux (SCT)	1.4 * 10 ¹⁴
Indicateur de régression R ²	0.985

Tableau 4.2 : Extrait de la table de données utilisée pour le calcul des paramètres du modèle de Bussière dans Excel (Tableau 4.1) et pour générer les courbes de la Figure 4.4

Smlo g (SM)	DCV ordre croissant (m)	Population de personnes	Population cumulée	Population cumulée théorique	(OBS-Théo) ²	(OBS-moy) ²	% population cumulée	% population cumulée théorique
101	-	15 400	15 400	15 400	0.00E+00	5.33E+12	0.39%	0.70%
102	2 470	57 200	72 600	138 000	4.26E+09	5.07E+12	1.84%	6.25%
106	2 980	86 500	159 000	190 000	9.46E+08	4.69E+12	4.04%	8.61%
122	3 370	20 500	180 000	233 000	2.90E+09	4.60E+12	4.56%	10.58%
121	3 580	22 900	203 000	258 000	3.06E+09	4.51E+12	5.14%	11.69%
103	3 840	69 400	272 000	289 000	2.98E+08	4.22E+12	6.90%	13.11%
304	4 540	21 600	293 000	376 000	6.87E+09	4.13E+12	7.45%	17.06%
105	4 660	102 000	395 000	391 000	1.97E+07	3.72E+12	10.03%	17.72%

Jusqu'ici, nous avons amorcé la définition de cibles de densité théoriques en proposant un modèle de régression pour la distribution des personnes résidentes de Montréal par rapport au centre-ville. À notre connaissance de la littérature, le modèle de régression de Bussière a surtout été utilisé pour

modéliser le phénomène d'étalement urbain en réalisant une analyse tendancielle des paramètres A et b afin d'estimer une courbe de population cumulée à un horizon futur donné. L'utilisation que nous proposons d'en faire, pour simuler une densification résidentielle orientée vers le centre-ville en intervenant sur la valeur du paramètre b estimé, est assez originale. La section qui suit s'attaque à la description de ce point particulier de la méthode envisagée.

4.3.1.3 Perturbation du modèle de Bussière et redistribution sur le territoire

Comme mentionné précédemment, le paramètre $1/b$ de la fonction utilisée pour modéliser l'évolution de la population cumulée par rapport au centre-ville de Montréal (cf. Tableau 4.1) représente la distance à partir de laquelle la densité résidentielle décroît de façon importante. Il est directement relié à la notion de gradient de densité à partir du centre-ville. Pour définir des cibles de densité théoriques, nous proposons de perturber ce paramètre du modèle afin de simuler une concentration de la population dans les secteurs municipaux centraux, tout en conservant la valeur du paramètre A , qui représente la densité théorique au centre-ville. Les courbes de la Figure 4.5 illustrent le procédé de perturbation du modèle de Bussière pour simuler une concentration de la population de personnes sur le territoire. Les courbes bleu et orange de ce graphique sont les mêmes que celles que nous avons montrées précédemment (Figure 4.4). La troisième courbe, en gris, représente la fonction de Bussière avec les paramètres $A = 9.36 * 10^{-3}$ et $b = 2.50 * 10^{-4}$, correspondant à une distance de décroissance $1/b = 4\text{km}$, soit la moitié de la valeur estimée par le modèle de Bussière sur les données de l'enquête OD de 2008 (Tableau 4.1). C'est cette nouvelle courbe de population cumulée en fonction de la DCV qui définit la nouvelle répartition de population pour le reste du modèle de simulation.

Une fois le modèle de population cumulée de Bussière perturbé (génération de la courbe grise en Figure 4.5), la population est redistribuée dans les secteurs municipaux en tenant compte des proportions définies par la nouvelle répartition de population (courbe grise en Figure 4.5). À supposer par exemple, qu'il y avait 2% de la population dans le secteur municipal d'Outremont avant de procéder à la perturbation du modèle de population (cela se déduit de la courbe orange en Figure 4.5), puis, que cette proportion est passée à 4% après la procédure de perturbation du modèle (cela se déduit de la courbe grise en Figure 4.5 ; le secteur d'Outremont voit son nombre de résidents augmenter puisque c'est un secteur proche du centre-ville) ; si l'on sait qu'il y a 4 000 000 résidents à Montréal, alors la population d'Outremont passera de 80 000 personnes à 160 000

personnes. En procédant ainsi pour chaque secteur municipal considéré, on obtient l'ensemble des cibles de densité de personnes sur le territoire, avec une augmentation du nombre de résidents dans les secteurs municipaux proches du centre (à une distance inférieure à $1/b$) et une diminution dans les secteurs périphériques (au-delà d'une distance de $1/b$ par rapport au centre-ville).

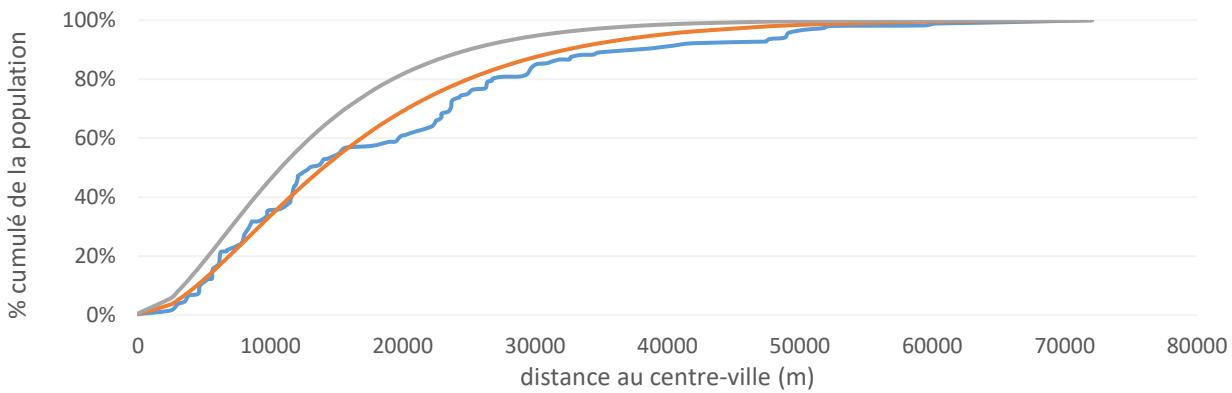


Figure 4.5 : Évolution de la population cumulée en fonction de la distance au centre-ville pour la population totale de personnes (courbe bleue), modélisation selon la fonction de Bussière (courbe orange) et perturbation du modèle pour simuler une densification résidentielle (courbe grise)

Le Tableau 4.3 présente un extrait des densités de personnes associées aux trois courbes de la Figure 4.5 résultant d'une redistribution proportionnelle de la population dans les secteurs municipaux (SM) dans le cas des courbes orange (modélisation des données) et grise (perturbation du modèle pour simuler une densification résidentielle). Dans ce tableau, **Pop1** représente la population dans le secteur selon les données de l'enquête OD de 2008, **Pop2** représente la population dans le secteur selon le modèle de régression de Bussière et **Pop4** la population des secteurs après avoir perturbé le modèle de Bussière, en agissant sur le paramètre b . Les densités **d1**, **d2** et **d3** sont relatives à ces trois populations respectives et ont été calculées après avoir calculé la surface de chaque secteur municipal à l'aide du logiciel QGIS.

Tableau 4.3 : Extrait des densités de personnes associées au trois courbes de la Figure 4.5 résultant d'une redistribution proportionnelle de la population dans les secteurs municipaux (SM)

Smlo g (SM)	DCV croissan t (m)	Surface (m²)	Pop1 (cf. Figure 4.5, courbe bleu)	Pop2 (cf. Figure 4.5, courbe orange)	Pop3 (cf. Figure 4.5, courbe grise)	d1 (cf. Figure 4.5, courbe bleu)	d2 (cf. Figure 4.5, courbe orange)	d3 (cf. Figure 4.5, courbe grise)
101	-	3 600 000	15 400	16 300	27 500	0.0043	0.0045	0.0077
102	2 470	9 270 000	57 200	139 000	219 000	0.0062	0.0149	0.0236
106	2 980	7 330 000	86 500	61 000	92 900	0.0118	0.0083	0.0127
122	3 370	4 030 000	20 500	51 900	77 800	0.0051	0.0129	0.0193
121	3 580	3 860 000	22 900	29 400	43 500	0.0059	0.0076	0.0113
103	3 840	13 500 000	69 400	38 100	56 000	0.0051	0.0028	0.0042
304	4 540	7 540 000	21 600	108 000	156 000	0.0029	0.0143	0.0207
105	4 660	15 700 000	102 000	18 200	25 900	0.0065	0.0012	0.0016

Finalement, après avoir défini des densités cibles dans chaque secteur municipal, la dernière étape du simulateur doit prendre en compte les nouvelles proportions de populations dans chacun des secteurs d'agrégation en agissant sur le fichier de l'enquête Origine-Destination en entrée du modèle. Dans le cadre de cette méthode de simulation préliminaire, la piste de solution qui a été explorée consiste à agir sur les facteurs de pondération des personnes enregistrées dans la base de données de l'enquête. Cet aspect de la méthode préliminaire peut être rapproché du modèle de projection de la demande en transport du MTMDET dont nous avons fait une brève présentation dans le paragraphe 2.4 du chapitre consacré à une revue de littérature. Comme il a déjà été mentionné par rapport au diagramme méthodologique présenté dans la section 4.1 (Figure 4.1), la modification des facteurs de pondération des personnes réalise les deux dernières étapes du modèle, soit la relocalisation des personnes et l'adoption d'un comportement de mobilité. La section 0 qui suit détaille cette partie de la procédure de simulation.

4.3.2 Relocalisation des personnes et adoption d'un comportement de mobilité

Pour procéder à la relocalisation des personnes et à l'adoption d'un comportement de mobilité, c'est en substance le même principe que le principe de factorisation du modèle de « *prévision de la demande en transport* » du MTMDET (cf. paragraphe 2.4) qui a été envisagé, en faisant l'analogie entre l'horizon d'étude prévisionnel dans le cas du modèle développé par le (MTQ, 2016) et le scénario où les personnes sont concentrées dans les secteurs proches du centre-ville, dans notre cas. On augmentera donc le poids des personnes résidentes de secteurs centraux (centroïde à une distance inférieure à $1/b$ du centroïde du centre-ville) tout en diminuant celui des personnes des zones périphériques (à une distance supérieure à $1/b$) dans l'optique de simuler une concentration des personnes vers le centre-ville de Montréal. L'augmentation ou la diminution du facteur de pondération d'une personne se fait en le multipliant par un ratio (voir ci-après) que nous appelons « facteur de correction ». Lorsque la simulation est réalisée sur la population totale de personnes (aucune segmentation sociodémographique), tous les résidents d'un même secteur ont un facteur de correction identique.

Concrètement, pour reprendre l'exemple de la population d'Outremont qui passait de 80 000 à 160 000 personnes en perturbant le modèle d'évolution de la population cumulée par rapport au centre-ville (cf. paragraphe 4.3.1.3), on remarque que la population a été doublée et on doublera donc les facteurs de pondération des personnes ayant déclaré vivre dans le secteur municipal d'Outremont (facteur de correction égal à 2). Si, par exemple, un résident d'Outremont avait un facteur de pondération valant 30 personnes – c'est-à-dire que ses attributs et ceux de ses déplacements sont attribués à 30 personnes de la GRM – alors celui-ci vaudra 60 après la procédure de modification des facteurs de pondération (représentant 30 personnes qui vivaient déjà à Outremont avant la procédure de relocalisation et 30 personnes venant de secteurs résidentiels plus éloignés). À l'inverse, un secteur municipal périphérique (à une distance du centre-ville supérieure à $1/b$) verra sa population diminuer et ceci se traduira par une diminution des facteurs de pondération des personnes ayant déclaré y vivre pendant l'enquête, en multipliant leur facteur de pondération par un ratio inférieur à l'unité. Si, par exemple, la population d'un tel secteur passait de 120 000 à 40 000 après la procédure de redistribution, alors chaque résident aurait un facteur de pondération amoindri en le multipliant par $1/3$. Cela représente le déménagement de 40

personnes vers des secteurs centraux dans le cas d'une personne résidente de la périphérie dont le poids, initialement de 60, ne vaut plus que 20 dans les données modifiées par la procédure.

Dès lors que tous les facteurs de pondération ont été modifiés pour tenir compte des déménagements de personnes, il ne reste plus qu'à simuler l'utilisation des réseaux (utilisation de ratios de compétitivité, cf. Figure 1.1), à calculer des indicateurs de mobilité, etc. de manière similaire à ce que l'on fait sur les données non modifiées tous les cinq ans à Montréal. Pour résiter ce travail dans la méthodologie générale du projet de recherche en santé-transport dans lequel s'inscrit notre contribution (voir paragraphe 1.4), la base de données qui contient les nouveaux facteurs de pondération des personnes doit ensuite servir d'entrée à un modèle de transport puis à l'estimation des indicateurs de santé publique.

4.4 Retour sur les hypothèses du modèle et perspectives

Dans cette partie, nous proposons de questionner deux hypothèses que nous avons prises pour le développement de cette méthode préliminaire de simulation d'une densification résidentielle, à savoir le choix d'une perspective personne plutôt qu'une perspective ménage (cf. paragraphe 4.2.1) et le fait d'avoir déménagé des personnes sans réaliser aucune segmentation sociodémographique préalable. Pour ce deuxième point, après avoir souligné l'enjeu du problème qu'il peut poser, nous proposerons une manière simple d'affiner la modélisation en contrôlant les caractéristiques sociodémographiques des personnes avant de les relocaliser. La démarche consiste simplement à répéter le processus de modélisation précédent à chacun des segments de population les uns après les autres. Pour la question d'une perspective de modélisation centrée sur le ménage plutôt que sur la personne, nous validerons simplement l'étape de formulation de cibles de densité théoriques. Le lien entre les facteurs de pondération des personnes et les facteurs de pondération des ménages n'étant pas suffisamment clair, nous laissons ce champ libre à des recherches futures qui s'appuieraient sur l'approche que nous venons de décrire.

4.4.1 Contrôle des caractéristiques sociodémographiques

Pour illustrer le type de problèmes qui peuvent se poser si l'on se contente d'appliquer la procédure précédente sans se soucier de contrôler certaines caractéristiques des populations que l'on déménage, considérons cet exemple : soit une situation extrême et fictive, où tous les secteurs périphériques (à une distance du centre-ville supérieure à $1/b$) n'abritent que des retraités et où

tous les secteurs centraux (à une distance du centre-ville inférieure à $1/b$) n'hébergent que des personnes dans la vie active. En appliquant sans précautions les préceptes de la méthode décrite dans les paragraphes précédents, on transformera un grand nombre de retraités (tous ceux qui déménageront vers les secteurs centraux) en personnes actives (tous ceux dont le facteur de pondération augmentera pour tenir compte des déménagements). Au final, lorsque l'on cherchera à simuler la mobilité métropolitaine résultant d'un tel scénario, le biais risque d'être important du fait qu'une partie des différences modélisées seront dues à la seule modification des caractéristiques sociodémographiques des personnes et non au fait que ces personnes aient simplement changé de lieu de résidence. Heureusement, dans la réalité, on peut observer une certaine hétérogénéité des populations dans chacun des secteurs municipaux et de tels problèmes sont ainsi considérablement amoindris. Même en déménageant les personnes sans contrôler leurs caractéristiques sociales et démographiques, ainsi que celles de leur ménage (c'est le processus qui a été présenté jusqu'ici), on obtient des résultats qui ne sont pas dramatiquement faussés. On ne peut cependant s'en satisfaire lorsque les caractéristiques des personnes vivant dans des secteurs distincts ne sont pas distribuées de façon similaire.

L'existence de répondants de caractéristiques individuelles et socio-économiques différentes au sein d'un secteur d'agrégation offre une perspective de contrôle qui conduit à une amélioration substantielle de la qualité du modèle pourvu que l'on soit en mesure d'identifier les caractéristiques à contrôler en priorité. Dans ce cas, une des possibilités consiste à déménager successivement les différents segments de population dont on pense que les variables de segmentation ont un impact sur la mobilité (le genre, le revenu, la possession d'un permis de conduire, la typologie du ménage, etc.). On peut, par exemple, étudier séparément la répartition de la population de femmes de 80 à 90 ans sur le territoire et celle de la population d'hommes de 30 à 40 ans et construire la courbe de population cumulée de chaque segment en fonction de la distance au centre-ville (cf. Figure 4.4). Pour chacune de ces répartitions de population, on peut ensuite estimer un modèle de Bussière, puis le déformer¹⁵ et, enfin, procéder à la redistribution de la nouvelle population et à la modification des facteurs de pondération de chaque segment.

¹⁵ Selon l'objectif visé, on pourra favoriser la concentration d'un certain segment de population pour en étudier l'effet.

En procédant de la sorte, on s'assure, dans notre exemple, que toutes les femmes de 80 à 90 ans de la périphérie qui déménagent viendront augmenter le facteur de pondération d'autres femmes de 80 à 90 ans vivant dans un secteur central¹⁶ et non celui d'hommes de 30 à 40 ans ; de même, les hommes de 30 à 40 ans déménageant de la périphérie vers le centre-ville conserveront leur genre et leur âge. Cependant, on ne garantit pas, dans cet exemple basé sur une segmentation par groupes d'âge et par genre, qu'une femme de 80 à 90 ans ayant accès à une automobile, y aura toujours accès après avoir été relocalisée. Dans tous les cas, les caractéristiques de contrôle seront limitées par les données existantes et par le nombre de représentants dans un segment donné. Une revue de la littérature sur les déterminants de la mobilité devrait permettre de relever les principales caractéristiques des ménages et des personnes qui influencent la mobilité et c'est vraisemblablement sur ces variables que le contrôle devrait être réalisé, si tant est que les données disponibles soient suffisantes.

Quelques analyses ont été faites sur Excel pour chercher à évaluer sommairement les bénéfices que l'on pourrait attendre d'une telle amélioration de la méthode de simulation. Les valeurs présentées dans les Tableau 4.4, Tableau 4.5 et Tableau 4.6 ont été obtenues à l'aide des données de l'enquête OD de 2008 et des facteurs de pondération calculés selon la méthode décrite dans le paragraphe 4.3, c'est-à-dire sans prendre en compte les différents segments de population (sans pondération). Nous avons alors cherché à comparer les distributions de genre et de groupes d'âge avant et après la modification des facteurs de pondération.

¹⁶ La nécessité de disposer d'une femme de 80 à 90 ans illustre ici l'importance de l'hétérogénéité des personnes dans les secteurs d'agrégation afin de trouver une personne-cible, dans le bon segment de population (ici une femme de 80 à 90 ans) dont le facteur de pondération pourra être augmenté afin de tenir compte du déménagement d'une personne d'un segment particulier (ici femme de 80 à 90 ans) résidant en périphérie avant la procédure. Cela laisse imaginer un problème potentiel d'applicabilité d'une telle méthode à des segments trop raffinés ou en se basant sur des secteurs d'agrégation trop fins.

Tableau 4.4 : Ampleur du problème de modification du genre des individus par la procédure de densification par ajustement des facteurs de pondération des personnes (sans segmentation)

Sexe	Nombre d'enregistrements	Nombre de personnes (pondération initiale)	Nombre de personnes (pondération modifiée pour densification)	% de personnes (pondération initiale)	% de personnes (pondération modifiée pour densification)	différence Après_Avant
1	75832	1914145.14	1916668.286	48.59%	48.65%	0.06%
2	80888	2025616.05	2023092.725	51.41%	51.35%	-0.06%
Total général	156720	3939761.19	3939761.011	100.00%	100.00%	

Tableau 4.5 : Ampleur du problème de modification du groupe d'âge des individus par la procédure de densification par ajustement des facteurs de pondération des personnes (sans segmentation)

groupe d'âge	Nombre d'enregistrements	Nombre de personnes (pondération initiale)	Nombre de personnes (pondération modifiée pour densification)	% de personnes (pondération initiale)	% de personnes (pondération modifiée pour densification)	différence Après_Avant
1	7982	205126.84	196361.0828	5.21%	4.98%	-0.22%
2	8037	215003.81	206596.2682	5.46%	5.24%	-0.21%
3	9558	252214.23	241914.4004	6.40%	6.14%	-0.26%
4	10951	244189.59	240410.2617	6.20%	6.10%	-0.10%
5	7629	253817.89	266195.1623	6.44%	6.76%	0.31%
6	17732	540107.77	524072.8792	13.71%	13.30%	-0.41%
7	22876	614358.29	593868.4879	15.59%	15.07%	-0.52%
8	27036	618403	610863.0235	15.70%	15.51%	-0.19%
9	21310	456881.1	478028.4409	11.60%	12.13%	0.54%
10	13877	300403.71	319864.2386	7.62%	8.12%	0.49%
11	9732	239254.96	261586.7654	6.07%	6.64%	0.57%
Total général	156720	3939761.19	3939761.011	100.00%	100.00%	

Dans tous les cas, le nombre de personnes dans un segment de population particulier (selon le genre et le groupe d'âge) n'a pas varié de plus de 1% (Tableau 4.4 et Tableau 4.5). Sur le graphique de la Figure 4.6, on peut observer qualitativement que cette différence liée aux hypothèses de simulation (aucune segmentation des personnes pour calculer le nouveau facteur de pondération) est relativement faible si on la compare à la correction réalisée par les facteurs de pondération originaux de l'enquête OD de 2008 (redressement des données). La courbe jaune semble effectivement plus distincte des autres courbes que les autres courbes entre elles.

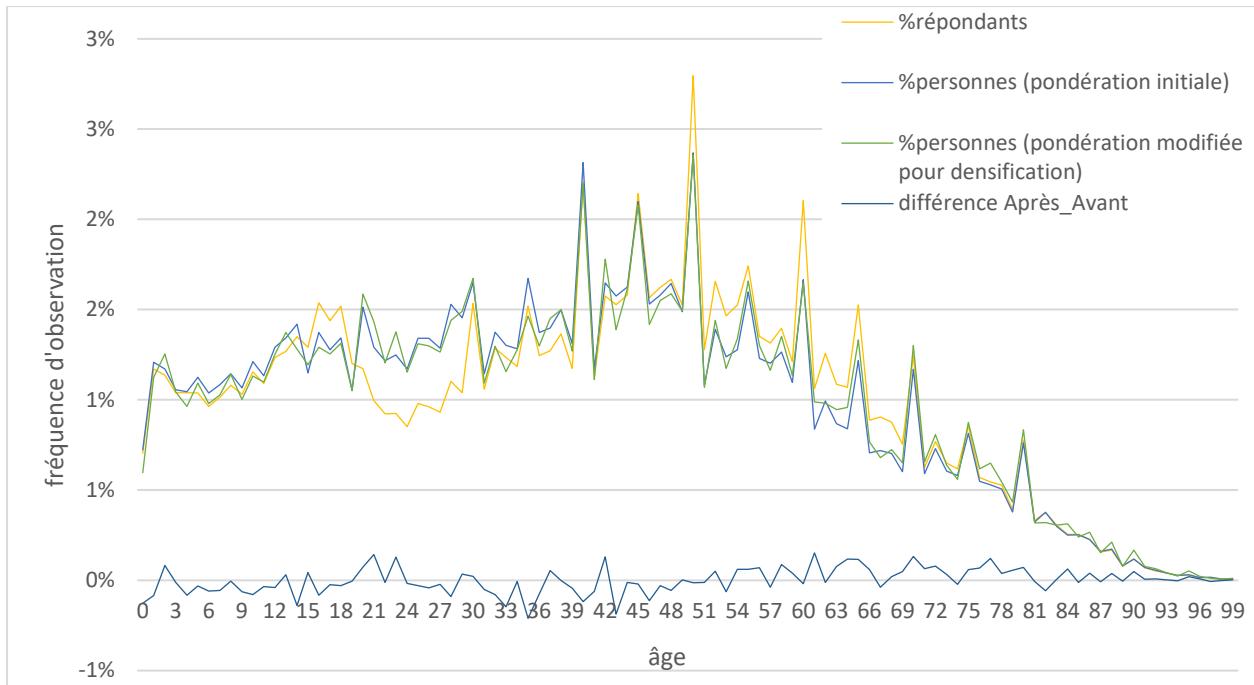


Figure 4.6 : Ampleur du problème de modification de l'âge des individus par la procédure de densification par ajustement des facteurs de pondération des personnes au regard des corrections reflétées par la procédure de pondération initiale (aucune segmentation)¹⁷

Enfin, le Tableau 4.6 a été généré afin de valider le contrôle des caractéristiques sociodémographiques de la personne si l'on procède à des déménagements successifs pour chaque segment considéré. On y observe bien que le nombre d'individus dans chaque segment de genre n'a pas été modifié par la procédure, contrairement au cas du Tableau 4.4. Pour conclure cette section de recherche, une étude plus approfondie des effets de l'agrégation sociodémographique des personnes dans la procédure décrite au paragraphe 4.3 devrait vraisemblablement être réalisée. Il faudrait notamment vérifier si d'autres caractéristiques des personnes n'ont pas été modifiées de façon trop importante par une telle procédure agrégée. Le dernier point que nous abordons ici avant de passer à la description de la deuxième méthode de simulation qui a été étudiée dans le cadre de notre contribution au projet de recherche (CHAPITRE 5) concerne l'adaptation de la méthode

¹⁷ Les fluctuations dans la courbe peuvent être causées par le fait que plusieurs répondants ne donnent que leur groupe d'âge et qu'il y a ensuite imputation d'un âge.

basée sur une approche de factorisation à une perspective centrée sur les ménages plutôt que sur la personne (paragraphe 4.4.2).

Tableau 4.6 : Validation du contrôle du genre des individus dans le cas du déménagement des personnes successivement selon le genre

Sexe	Nombre d'enregistrements	Nombre de personnes (pondération initiale)	Nombre de personnes (pondération modifiée pour densification)	% de personnes (pondération initiale)	% de personnes (pondération modifiée pour densification)	différence Après_Avant
1	75832	1914145.14	1914145.188	48.59%	48.59%	0.00%
2	80888	2025616.05	2025616.592	51.41%	51.41%	0.00%
Total général	156720	3939761.19	3939761.78	100.00%	100.00%	

4.4.2 Adaptation de la méthode à une perspective ménage

Dans cette section, nous revenons sur le choix de baser la modélisation sur les personnes et nous nous intéressons aux possibilités d'utiliser les préceptes précédents en adoptant plutôt une perspective basée sur les ménages. Une telle approche devrait permettre de garantir une certaine cohérence dans la modélisation, puisque la structure du ménage a une importance dans le comportement de mobilité des personnes. Après avoir montré que la répartition géographique des ménages était similaire à celle des personnes, nous proposons des pistes pour réaliser une simulation basée sur les ménages en s'appuyant sur les étapes décrites précédemment.

Si nous sommes en mesure de réaliser les deux premières étapes du schéma méthodologique (cf. Figure 4.1) en adoptant cette fois une perspective ménage, soit la définition de cibles de densité théoriques de ménages et la relocalisation des ménages sur le territoire, la question de l'adoption d'un comportement de mobilité reste ouverte. Sur ce point, le lien entre les facteurs de pondération des ménages et des personnes doit encore être précisé afin de procéder à une perturbation subséquente des facteurs de pondération des personnes, qui simulerait, en moyenne, l'adoption de nouveaux comportements de mobilité par les personnes relocalisées.

4.4.2.1 Similarité des populations cumulées de personnes ou de ménages

La courbe présentée en Figure 4.7 montre l'évolution de la population cumulée de personnes et de la population cumulée de ménages selon la distance au centre-ville (DCV) afin de montrer que ces distributions sont similaires. L'écart maximal entre les deux courbes est de 4,2%.

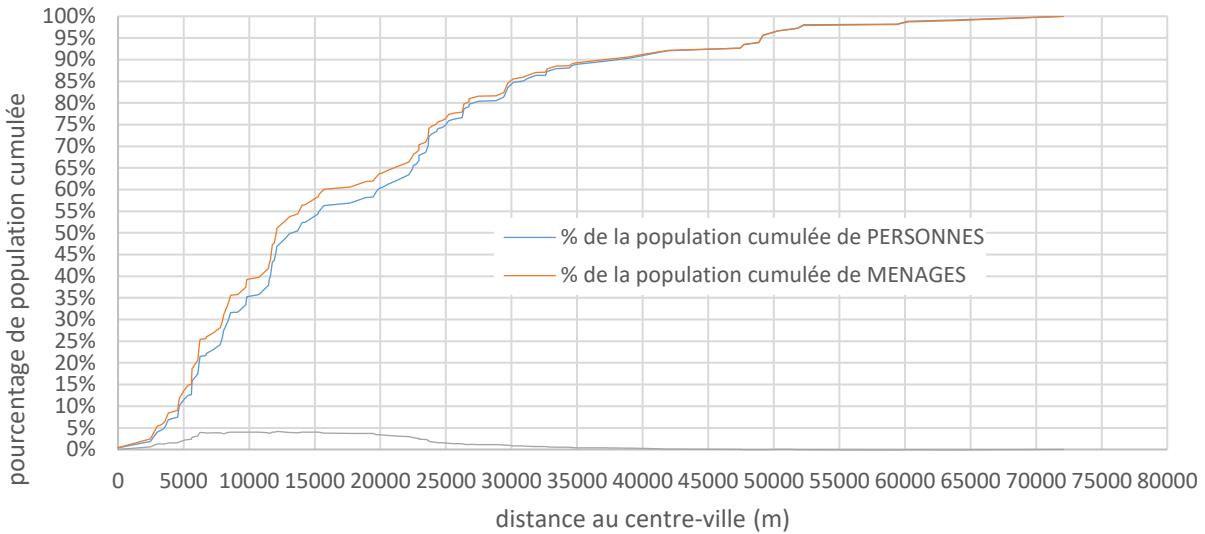


Figure 4.7 : Importance du changement d'objet d'étude (perspective personne ou ménage) sur l'évolution de la population cumulée en fonction de la distance au centre-ville

4.4.2.2 Cibles de densité de ménages

Puisque les courbes de population cumulée de ménages ou de personnes sont similaires, le modèle de Bussière s'applique aussi à la distribution des ménages. Les courbes de la Figure 4.8 présentent le modèle de régression de Bussière appliqué à la répartition de la population de ménages (courbe orange) ainsi que le modèle perturbé à un taux tel que $1/b = 4\text{km}$ (courbe grise). Ces courbes sont l'équivalent des courbes de la Figure 4.5 en perspective ménage. Comme dans la méthode basée sur les personnes, on peut choisir de définir les cibles de densité théoriques de ménages dans chaque secteur municipal (SM) en procédant à une redistribution proportionnelle de la population de ménages selon les pourcentages définis par le modèle de régression perturbé (Figure 4.8, courbe grise).

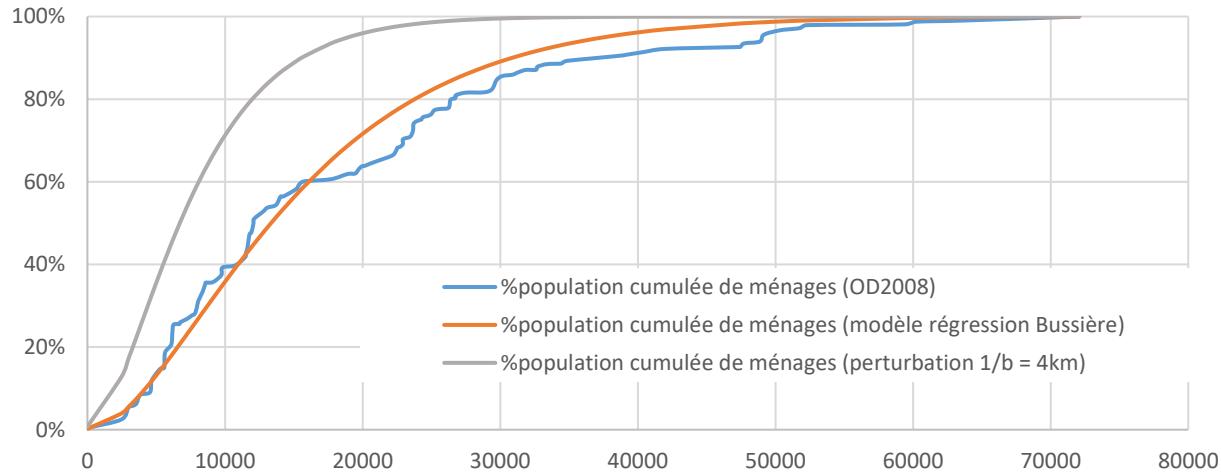


Figure 4.8 : Évolution de la population cumulée en fonction de la distance au centre-ville pour la population totale de ménages (courbe bleue), modélisation selon la fonction de Bussière (courbe orange) et perturbation du modèle pour simuler une densification résidentielle (courbe grise)

Cette méthode, appliquée pour un taux de perturbation tel que $1/b = 4\text{ km}$ a permis de générer les données du Tableau 4.7, qui présente un extrait des populations de ménages (*Popmen1*, *Popmen2*, *Popmen3*) dans chaque SM ainsi que les densités associées à ces populations (*dm1*, *dm2*, *dm3*). *Popmen1* et *dm1* sont respectivement la population de ménages et la densité obtenue à l'aide des données de l'enquête OD de 2008 (Figure 4.8, courbe bleue), *Popmen2* et *dm2* sont relatives à la modélisation de Bussière (Figure 4.8, courbe orange) et *Popmen3* et *dm3* sont la population cible et la densité cible de ménages dans chaque secteur municipal, obtenue par une redistribution proportionnelle sur la base de la courbe grise présentée en Figure 4.8.

Tableau 4.7 : Extrait des densités de ménages associées au trois courbes de la Figure 4.8 résultant d'une redistribution proportionnelle de la population dans les secteurs municipaux (SM)

SM	DCV croissant (m)	Surface (km ²)	# Popmen1 (Figure 4.8, courbe bleue)	# Popmen2 (Figure 4.8, courbe orange)	# Popmen3 (Figure 4.8, courbe grise)	dm1 (#/km ²) (Figure 4.8, courbe bleue)	dm2 (#/km ²) (Figure 4.8, courbe orange)	dm3 (#/km ²) (Figure 4.8, courbe grise)
101	-	3.60	7 050	3 130	12 400	1 960	869	3 440
102	2 470	9.27	33 800	61 800	199 000	3 650	6 670	21 400
106	2 980	7.33	47 100	25 600	72 100	6 430	3 490	9 830
122	3 370	4.03	8 700	21 800	58 100	2 160	5 410	14 400
121	3 580	3.86	9 640	12 300	31 700	2 500	3 190	8 200
103	3 840	13.50	32 900	16 000	39 900	2 440	1 190	2 950
304	4 540	7.54	10 100	45 300	106 000	1 340	6 010	14 100

4.4.2.3 Relocalisation des ménages et adoption d'un comportement de mobilité

Comme dans le cas d'une modélisation basée sur les personnes (paragraphe 0), la relocalisation des ménages peut se faire par une technique de factorisation similaire à celle proposée par le MTMDET dans son modèle de « *prévision de la demande en transport* » (MTQ, 2016). Les nouveaux facteurs de pondération des ménages s'obtiennent à l'aide du facteur de correction ménage relatif à chaque secteur municipal. Le Tableau 4.8 présente les facteurs de correction ménage associés aux huit secteurs les plus proches du centre-ville lorsque l'on utilise un taux de perturbation tel que $1/b = 4\text{km}$. Ce facteur correspond au ratio entre la population du secteur après et avant la définition des cibles de densité théoriques.

Tableau 4.8 : Extrait des facteurs de correction ménage appliqués aux facteurs de pondération des ménages selon leur secteur de résidence, pour les huit secteurs le plus proches du centre-ville

Secteur municipal (SM)	DCV ordre croissant (m)	Popmen1	Popmen3	Facteur de correction ménage (Popmen3/Popmen1)
101	-	7 050	12 400	1.76
102	2 470	33 800	199 000	5.88
106	2 980	47 100	72 100	1.53
122	3 370	8 700	58 100	6.67
121	3 580	9 640	31 700	3.28
103	3 840	32 900	39 900	1.21
304	4 540	10 100	106 000	10.50
105	4 660	45 000	17 100	0.38

Finalement, comme nous l'avons déjà mentionné, l'étape d'adoption d'un comportement de mobilité nécessiterait ici de procéder à une modification subséquente des facteurs de pondération des personnes. En effet, c'est le facteur de pondération des personnes qui s'applique aux déplacements enregistrés. Aucune solution n'a été trouvée pour cette question dans le cadre de notre recherche et celle-ci demeure donc ouverte.

Pour conclure cette partie traitant de l'adaptation à une approche de modélisation basée sur les ménages plutôt que sur les personnes, nous laissons aussi ouverte la perspective de garantir une certaine cohérence de la structure des ménages en adaptant une technique basée sur les préceptes exposés dans le paragraphe 4.4.1, qui proposent une façon de contrôler les caractéristiques sociodémographiques des personnes avant de les relocaliser. Une telle méthode, adaptée à des

typologies de ménages déterminées, garantirait en théorie que l'on conserve la typologie d'un ménage en cours de relocalisation et améliorerait la cohérence du modèle sur le plan de la structure des ménages. Là encore, il faudra voir si les données requises sont disponibles en nombre suffisant.

4.5 Conclusion du CHAPITRE 4

Si la méthode de simulation exposée dans cette partie n'est pas exempte de limites, elle remplit bien son objectif initial de proposer une méthode simple et facilement reproductible pour produire des scénarios de densification résidentielle monocentrique plus ou moins contrastés. Elle devrait permettre d'évaluer en premier lieu le potentiel des bénéfices à tirer d'une densification à Montréal.

Outre les questions liées au contrôle des caractéristiques individuelles et socio-économiques des personnes et au choix d'une perspective basée sur les personnes ou les ménages, que nous avons tenté d'éclairer davantage dans la section 4.4, la principale limitation de ce modèle est qu'il est semblable à une boîte noire. Il est en effet difficile de contrôler tous les paramètres liés à la pondération et la procédure qui s'appuie sur un principe de factorisation peut sembler très détachée des réalités en jeu dans les choix de localisation des ménages. On peut chercher à complexifier le modèle pour améliorer sa cohérence, mais notre action demeure partielle.

C'est devant de tels constats qu'il a été choisi de nous intéresser à une approche de modélisation différente dans la suite de notre participation au projet de recherche. Cette deuxième approche, développée dans le chapitre suivant, s'affranchit du principe de factorisation et propose d'adopter des stratégies de tirages aléatoires pour implémenter les deux dernières étapes d'un modèle de densification (cf. Figure 3.1, encadrés bleus).

CHAPITRE 5 DEUXIÈME MÉTHODE DE MODÉLISATION : SIMULATION PAR TIRAGES ALÉATOIRES ET MIMÉTISME

L'objet de ce chapitre est de présenter la deuxième méthode de densification résidentielle qui a été conçue dans le cadre de notre projet de recherche. Cette autre partie de notre contribution s'inscrit aussi dans l'objectif de simuler des scénarios contrastés de forme urbaine. Dans ce qui suit, nous traiterons exclusivement de la simulation d'une densification résidentielle orientée vers le centre-ville de Montréal, mais, comme nous l'avons déjà mentionné, des perspectives de généralisation seront formulées dans le CHAPITRE 6 et le CHAPITRE 8.

À la différence de la méthode précédente, cette deuxième approche ne s'appuie pas sur une modification des facteurs de pondération pour tenir compte des relocalisations des résidents. De plus, ces relocalisations sont basées sur les ménages au complet plutôt que sur les personnes, comme c'était le cas dans la méthode préliminaire exposée dans le CHAPITRE 4¹⁸. Afin de préserver la cohérence des systèmes d'activités au sein d'un même ménage, il a été choisi ici de simuler les déménagements de ménages par une approche différente. Au lieu d'intervenir sur le facteur de pondération, ce sont les attributs de localisation des ménages relocalisés (secteur municipal de résidence et coordonnées du logement) qui sont modifiés pour procéder aux relocalisations selon les cibles de densité voulues. On affecte ensuite à chaque membre des ménages relocalisés de nouveaux attributs de déplacements, en cherchant à imiter le comportement de mobilité de leurs nouveaux voisins (les résidents du secteur dans lequel leur ménage vient d'être relocalisé). Pour cette dernière étape, nous avons choisi d'emprunter un terme à la biologie : le mimétisme. Dans sa version la plus élaborée, le mimétisme des comportements de mobilité fait appel à une procédure de tirage aléatoire similaire aux tirages réalisés dans les modèles d'activités, abordés sommairement dans la revue de littérature du paragraphe 2.5.

À la différence du chapitre précédent, où nous avons cherché à mettre un accent particulier sur les limites des hypothèses, puisqu'elles ont été à la source du choix de procéder selon une approche alternative que nous proposons ici, le présent chapitre est structuré par les trois grandes étapes de

¹⁸ Le paragraphe 4.4.2 a proposé une piste pour adapter la méthode préliminaire à un perspective ménage, mais des recherches supplémentaires sont requises pour finaliser la démarche que nous avons initiée.

simulation qui ont été définies dans la section méthodologique 3.5. Avant de traiter chacune de ces trois étapes successives, nous proposons, comme nous l'avions fait dans le CHAPITRE 4, d'amorcer le présent chapitre par un retour sur le schéma méthodologique général (Figure 3.1). À ce titre, le paragraphe 5.1 propose de définir la méthodologie spécifique à la méthode envisagée dans ce chapitre au regard de la méthodologie générale présentée dans le CHAPITRE 3. Le paragraphe 5.2 reviendra ensuite sur la définition de cibles de densité de ménages, déjà abordée de façon conséquente dans la section 4.4.2, mais qui nécessite ici quelques spécifications supplémentaires. Enfin, les deux dernières étapes (relocalisation de la population et adoption d'un comportement de mobilité), traitées selon un autre paradigme dans cette deuxième approche, seront exposées dans les parties 5.3 et 5.4.

5.1 Méthodologie spécifique

Comme dans le CHAPITRE 4, la méthode de simulation décrite dans ce chapitre se décompose en trois grandes étapes auxquelles il a déjà été fait allusion de façon générale dans le CHAPITRE 3, mais pour lesquelles nous choisissons désormais une façon spécifique de les aborder. La Figure 5.1 schématise ces différentes étapes (encadrés bleus) ainsi que les choix d'implémentation spécifiques à la démarche décrite dans le présent chapitre (encadrés orange). La spécificité de la méthodologie que nous décrivons ici (par rapport à la méthodologie générale développée dans le CHAPITRE 3) repose sur la formulation d'un scénario théorique extrême de densification basé sur les ménages (paragraphe 5.2), sur un tirage aléatoire des migrants et de leur secteur d'accueil pour simuler la relocalisation des ménages (paragraphe 5.3) et, enfin, sur une approche de mimétisme pour simuler la modification des comportements de mobilité individuels (paragraphe 5.4).

La formulation d'un « scénario théorique extrême » de densification (cf. Figure 5.1, encadré orange à gauche) repose sur la modélisation puis la perturbation de la répartition de la population par rapport au centre-ville (DCV) en se basant sur le cadre théorique exposé au paragraphe 2.3 (« modèle de Bussière », cf. Figure 5.1). Cette perturbation est appliquée par le modélisateur (choix d'un « taux de perturbation », cf. Figure 5.1) à la distribution modélisée afin d'accroître les densités de ménages dans les secteurs proches du centre-ville et de les réduire dans les secteurs les plus périphériques de la métropole. Cette première étape aboutit sur un ensemble de cibles de densité relatives à chaque secteur municipal et à la définition de ce que nous appelons les *surplus de ménages*. On définit ce surplus de ménages d'un territoire comme le nombre algébrique égal au

nombre de ménages à déplacer depuis ce territoire s'il s'agit d'un territoire que l'on souhaite dépeupler (surplus positif), ou au nombre de ménages pouvant emménager dans ce territoire s'il s'agit d'un territoire dont on souhaite voir la population augmenter (surplus négatif). C'est à partir de ce nouvel attribut des secteurs d'agrégation que la deuxième méthode de simulation d'une densification résidentielle s'applique de façon plus spécifique.

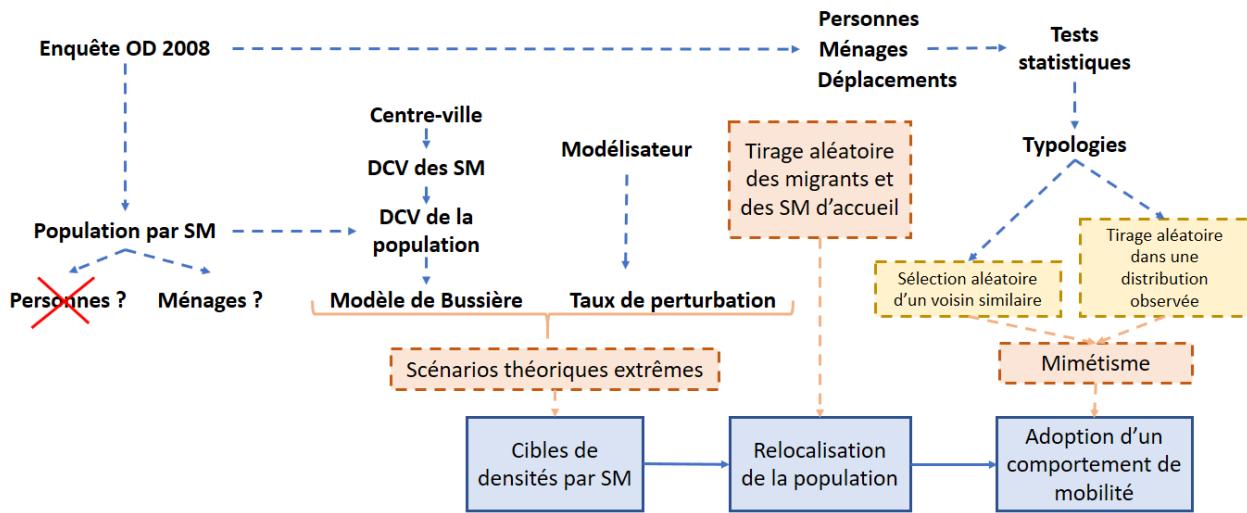


Figure 5.1 : Schéma méthodologique d'une simulation de densification résidentielle théorique orientée vers le centre-ville de Montréal par tirages aléatoires et mimétisme

Plusieurs stratégies sont envisageables pour définir le surplus des territoires d'agrégation que l'on considère (ici, les secteurs municipaux de l'enquête OD de 2008) et l'on pourrait aussi bien chercher à définir des surplus selon différents critères de réalisme (cf. Figure 3.1, « scénarios plausibles », encadré orange) que chercher à proposer une méthode théorique dans le but d'étudier la potentialité des impacts d'une politique de densification urbaine plus ou moins importante à Montréal. Dans un premier temps, nous avons cherché à privilégier une formulation théorique des cibles de densité et des surplus de ménages pour permettre d'évaluer l'ampleur des conséquences d'une densification résidentielle en termes de mobilité (cf. Figure 5.1, « scénarios théoriques extrêmes », encadré orange à gauche). C'est ainsi qu'il a été proposé de conserver les fondements de la première méthode (CHAPITRE 4) en générant un niveau donné de densification par perturbation du modèle de population cumulée de Bussière. Dans le cadre de ce problème, où l'on cherche à déplacer des ménages au complet, c'est la population cumulée de ménages qui est modélisée par la fonction de Bussière et non la population cumulée de personnes.

Le calcul des surplus de chaque secteur est ensuite utilisé pour la deuxième étape du modèle de densification (« relocalisation de la population », cf. Figure 5.1, encadré bleu au milieu). Lors de cette deuxième étape, un programme est exécuté afin de sélectionner aléatoirement les ménages résidents dans des secteurs périphériques (surplus positif) pour les rediriger vers un secteur municipal central (surplus négatif), lui aussi sélectionné de façon aléatoire pour le ménage en cours de relocalisation (« tirage aléatoire des migrants et des SM d'accueil », cf. Figure 5.1, encadré orange au milieu). Cette partie de la méthode, exécutée en VBA dans Excel, est détaillée dans la section 5.3.

Pour finir, l'étape d'adoption d'un comportement de mobilité (Figure 5.1) est traitée selon une approche référée par le terme de « mimétisme » (cf. Figure 5.1, encadré orange à droite) et détaillée dans la partie 5.4. Celle-ci a été envisagée selon deux alternatives particulières (cf. Figure 5.1, encadrés jaunes), à savoir la sélection aléatoire d'un voisin similaire (paragraphe 5.4.1) ou le tirage aléatoire des attributs des déplacements dans une distribution observée (paragraphe 5.4.2). Cette dernière approche est similaire à celle qui a été décrite dans la section 2.5 du cadre théorique, pour la génération d'un programme d'activités dans le module TASHA.

5.2 Cibles de densité de ménages et surplus de ménages

La définition des cibles de densité de ménages a déjà été abordée dans le paragraphe 4.4.2 alors que nous proposons de revenir sur les deux hypothèses fondamentales de la première méthode de modélisation envisagée. Si nous avons laissé le champ libre à des recherches postérieures pour réaliser la jonction théorique entre la modification des facteurs de pondération des ménages et l'intégration de nouveaux comportements de mobilité dans le modèle de simulation (paragraphe 4.4.2.3), la section 4.4.2.2 a montré qu'il était tout à fait possible d'adapter la première étape du modèle (définition de cibles de densité) à une perspective basée sur les ménages, plutôt que sur les personnes. En particulier, la Figure 4.8 et le Tableau 4.7 sont deux éléments essentiels dans la définition des cibles de densité de ménages.

La seule action supplémentaire à réaliser et qui n'a pas déjà été exposée dans le chapitre précédent, est le calcul des surplus de ménages dans chaque secteur municipal (SM). Par exemple, un surplus de ménages égal à $-165\ 000$ indique que ce secteur devra gagner environ 165 000 ménages pour simuler une densification résidentielle selon la contrainte de cibles de densités retenue. Le Tableau

5.1 donne un extrait des surplus calculés pour les huit premiers secteurs dans notre cas. C'est suite au calcul des surplus que notre deuxième méthode se distingue vraiment de la méthode exposée dans le chapitre précédent. Les parties 5.3 et 5.4 qui suivent constituent le corps principal de notre exposé dans ce chapitre.

Tableau 5.1 : Extrait des surplus de ménages pour les huit secteurs municipaux les plus proches du centre-ville

Secteur municipal (SM)	DCV ordre croissant (m)	Popmen1	Popmen3	Surplus de ménages
101	-	7 050	12 400	-5 350
102	2 470	33 800	199 000	-165 200
106	2 980	47 100	72 100	-25 000
122	3 370	8 700	58 100	-49 400
121	3 580	9 640	31 700	-22 060
103	3 840	32 900	39 900	-7 000
304	4 540	10 100	106 000	-95 900
105	4 660	45 000	17 100	27 900

5.3 Relocalisation de la population de ménages par sélection aléatoire

Afin de procéder à la relocalisation des ménages excédentaires dans les secteurs périphériques, selon les surplus de ménages calculés précédemment, un ensemble de macros VBA a été implémenté sur Excel. Ces macros procèdent au traitement de données répertoriées sur différents onglets d'un même fichier Excel.

L'étape de relocalisation de la population de ménages par sélection aléatoire se déroule en quatre parties successives, qui constituent le squelette de cette section. La première consiste à réaliser une segmentation des secteurs et des ménages selon la distance relative au point d'infexion du modèle de Bussière perturbé. Suite à cette étape préliminaire, il faut procéder à la sélection aléatoire de ménages de la périphérie candidats à une relocalisation puis à la sélection aléatoire d'un secteur central d'accueil pour ces ménages. Enfin, nous proposons d'attribuer une nouvelle adresse de

résidence aux ménages relocalisés. Cela sera notamment utile dans le cadre de la première approche de mimétisme que nous exposerons dans la section 5.4.1 et pourrait se généraliser à d'autres contextes. Cette partie se conclura par la présentation d'un organigramme synthèse de l'algorithme de relocalisation des ménages puis par une validation qualitative de la procédure avant de nous intéresser à l'étape d'adoption d'un comportement de mobilité, dans le paragraphe 5.4.

5.3.1 Segmentation des secteurs et des ménages

Cette étape préliminaire à l'étape de relocalisation de la population du schéma méthodologique exposé en Figure 5.1 consiste fondamentalement à un réarrangement des données sources résultant de l'étape de définition des cibles de densité (paragraphe 5.2). À l'issue de cette étape, dont les détails procéduraux sont présentés en ANNEXE A, nous disposons des trois tables de données définies dans le Tableau 5.2 et auxquelles nous feront référence dans la suite de la méthode.

Tableau 5.2 : Définition des tables de données segmentées pour les secteurs et les ménages (cf. ANNEXE A)

Nom de la table de données	Définition
« smlog_don_surplus_cv »	Table de données des secteurs municipaux de type « donneur » (DCV supérieure à la DCV critique du modèle de Bussière perturbé) qui présente le surplus de ces secteurs (nombre de ménages à relocaliser depuis le secteur)
« smlog_rec_surplus_cv »	Table de données des secteurs municipaux de type « receveur » (DCV inférieure à la DCV critique du modèle de Bussière perturbé) qui présente le surplus de ces secteurs (nombre de ménages supplémentaires à accueillir dans le secteur)
« men_don_cv »	Table de données des ménages qui résident dans un secteur « donneur »
« men_rec_cv »	Table de données des ménages qui résident dans un secteur « receveur »

5.3.2 Sélection aléatoire de ménages candidats à une relocalisation

Suite aux traitements préliminaires précédents, la première étape de notre méthode de relocalisation des ménages consiste à prélever aléatoirement le bon nombre de ménages dans les secteurs donneurs. Le caractère aléatoire des sélections de ménages est garanti par un tri aléatoire de la table de données des ménages qui résident dans des secteurs « donneurs » (cf. Tableau 5.2). Ensuite, l'appel de la fonction `MEN_SELECT()` (Figure 5.2) permet de constituer un ensemble de ménages candidats à une relocalisation selon les surplus des secteurs municipaux de type « receveur » (table de données nommée « men_smlog_new » dans la suite). Les détails procéduraux de cette étape de

sélection aléatoire de ménages candidats à une relocalisation ainsi que la description de l'algorigramme de la fonction `MEN_SELECT()` sont présentés en ANNEXE B. Le principe général de la procédure est de parcourir les tables de données des surplus des secteurs donneurs (`bd1`) et des ménages qui y résident (`bd2`) pour constituer une table de données qui contient un ensemble de ménages candidats à une relocalisation (`bd3`) de sorte que les surplus des différents secteurs ne soient pas dépassés. Pour ce faire, on réalise une sommation itérative des facteurs de pondération des ménages parcourus jusqu'à atteindre le surplus d'un secteur.

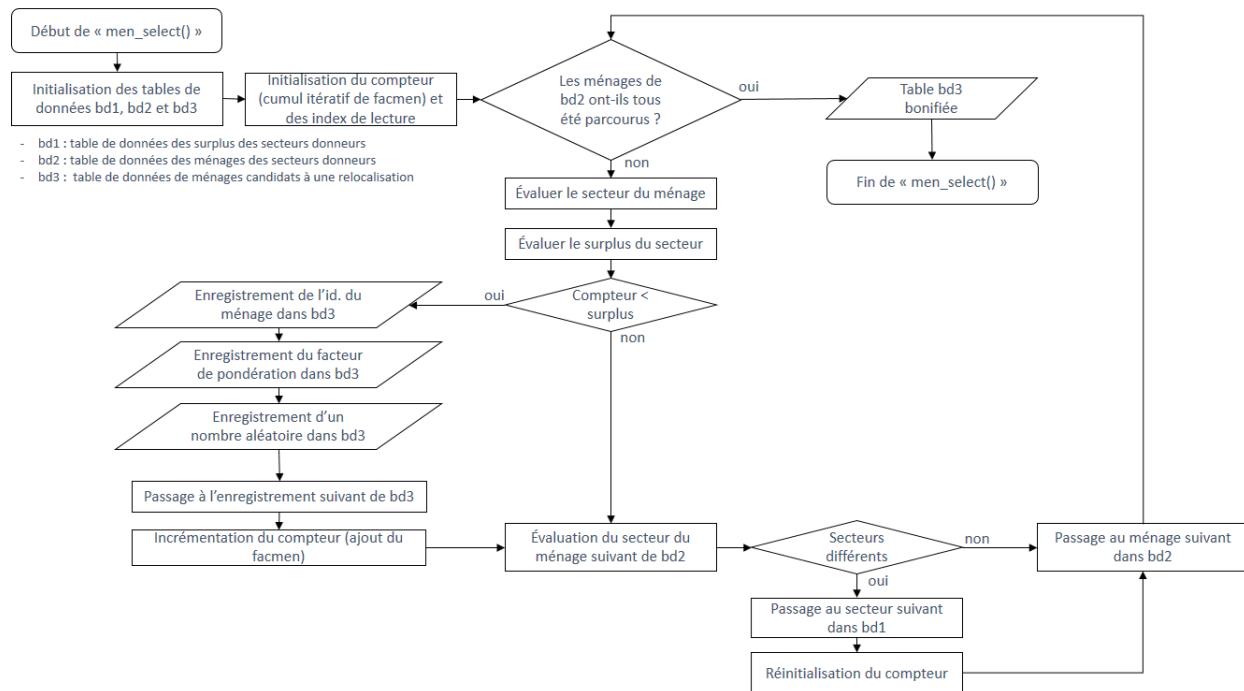


Figure 5.2 : Diagramme algorithmique de la fonction « `MEN_SELECT()` »

5.3.3 Sélection aléatoire d'un secteur d'accueil pour les ménages relocalisés

Après avoir constitué un ensemble de ménages candidats à une relocalisation entre les ménages qui résident dans des secteurs donneurs, l'étape suivante consiste à associer à chacun de ces ménages un nouveau secteur municipal de résidence parmi les secteurs municipaux de type « receveur ». Pour chacun des ménages candidats, ce secteur est choisi aléatoirement en faisant en sorte de procéder à un tri aléatoire préalable des données de la table « `men_smlog_new` » résultant de l'étape précédente et en appliquant la fonction `GENERE_NOUVEAU_SMLOG()` (Figure 5.3). Celle-ci répartit les ménages candidats à une relocalisation dans l'ensemble des secteurs receveurs selon les surplus. Les détails procéduraux propres à cette section sont présentés en ANNEXE C. Le principe

général de cette méthode est de parcourir les tables de données des surplus des secteurs receveurs (bd4) et des ménages candidats à une relocalisation (bd3, générée par la méthode précédente) et d'associer à chaque ménage candidat un secteur de résidence selon son surplus (places disponibles).

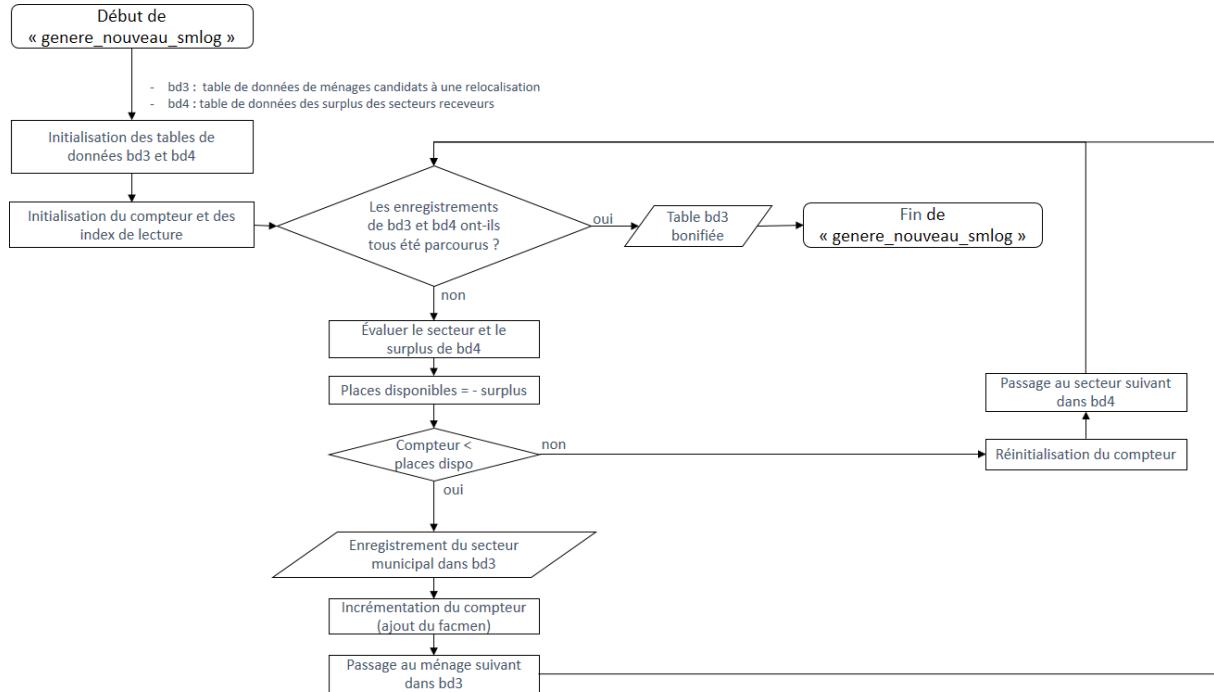


Figure 5.3 : Diagramme algorithmique de la fonction « GENERE_NOUVEAU_SMLOG() »

5.3.4 Sélection aléatoire d'une nouvelle adresse de résidence

Après avoir déterminé un nouveau secteur de résidence pour les ménages à relocaliser dans des secteurs centraux, comme cela a été développé dans les sections précédentes, on peut chercher à attribuer à chacun des ménages relocalisés une nouvelle adresse de résidence dans son nouveau secteur de domicile. Nous aurons par exemple besoin d'une telle information pour la première approche de mimétisme que nous avons étudiée (paragraphe 5.4.1) où l'on recherche des personnes similaires dans un rayon de 1 km à proximité du nouveau lieu de résidence d'une personne relocalisée.

Pour simplifier, il a été choisi d'attribuer à ces ménages une adresse déjà occupée par des ménages résidents dans le secteur d'accueil. Le choix d'une nouvelle adresse (représentée par un couple de coordonnées (x, y) dans le système de projection MTM8) se fait alors en sélectionnant aléatoirement un ménage « d'ancre » parmi les ménages résidant déjà dans le secteur d'accueil.

La macro `ANCRAGE_SELECT_V2()` (Figure 5.4) réalise l'affectation d'une nouvelle adresse selon cette méthode. Les détails procéduraux sont présentés dans l'ANNEXE D. Le principe général est de parcourir les tables de données des ménages relocalisés et des ménages qui résident dans des secteurs receveurs et d'attribuer à chaque ménage relocalisé un ménage d'ancrage dans son nouveau secteur de résidence (le premier ménage trouvé dans le même secteur sachant qu'un tri aléatoire a été préalablement appliqué).

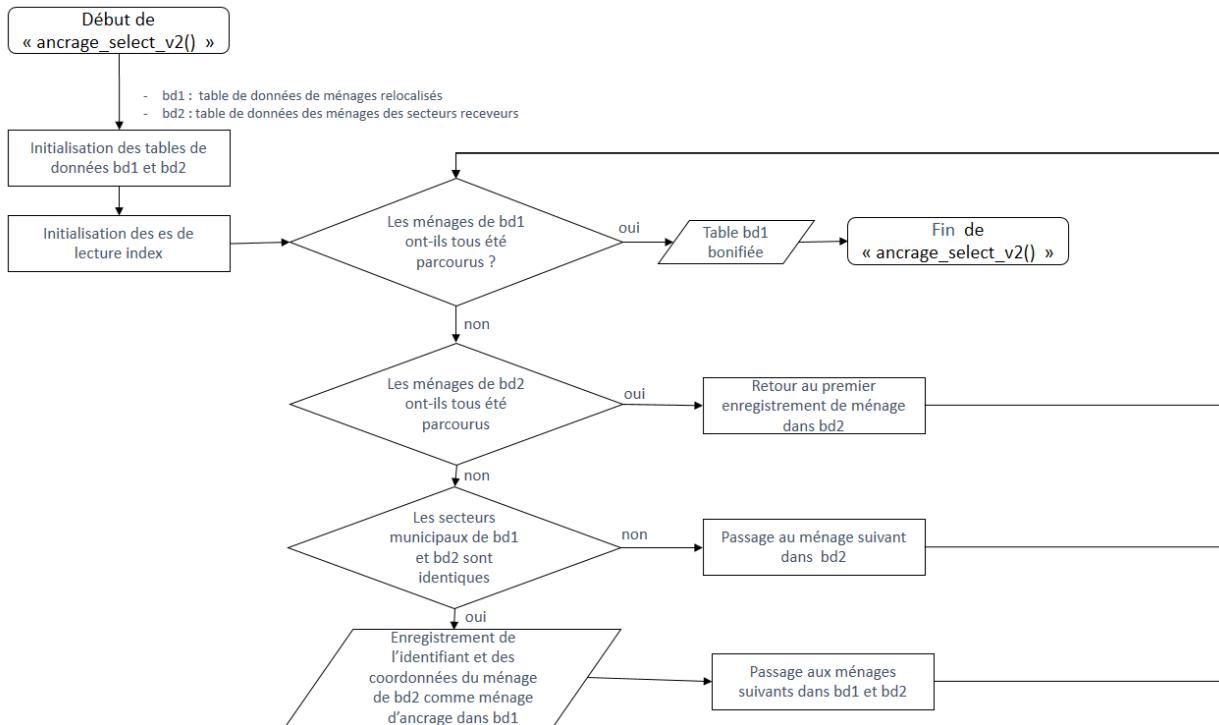


Figure 5.4 : Diagramme algorithmique de la fonction « ANCRAGE_SELECT_V2() »

5.3.5 Organigramme synthèse de l'algorithme de relocalisation des ménages

L'organigramme de la Figure 5.5 synthétise la procédure de relocalisation de la population de ménages par sélection aléatoire telle qu'elle a été décrite dans les sections précédentes. Parmi les différentes fonctions qui ont été présentées, seules les fonctions `MEN_SELECT()`, `GENERE_NOUVEAU_SMLOG()` et `ANCRAGE_SELECT_V2()` sont vraiment spécifiques à notre démarche de modélisation (détails des procédures dans les annexes E, F et G). Toutes les autres méthodes procèdent à des traitements de données intermédiaires élémentaires que nous avons préféré rappeler directement sur le diagramme de la Figure 5.5 plutôt que de faire explicitement

appel à l'ensemble des fonctions que nous avons présentées dans les sections précédentes et détaillées dans les annexes.

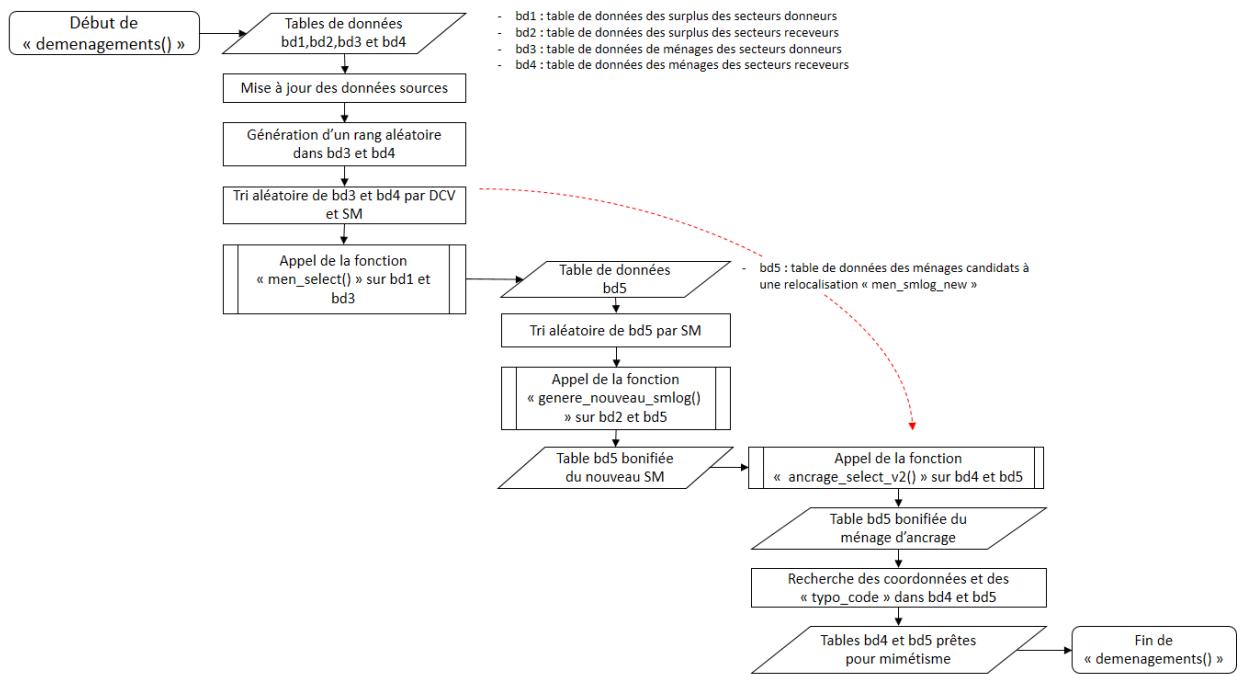


Figure 5.5 : Diagramme algorithmique de la fonction « DEMENAGEMENTS() » ; synthèse de l'algorithme d'implémentation de l'étape de relocalisation de la population de ménages

5.3.6 Validation qualitative de la relocalisation aléatoire des ménages candidats

Afin de valider qualitativement la procédure de sélection aléatoire de ménages dans les secteurs périphériques (de type « donneur ») et leur relocalisation vers un secteur central (de type « receveur ») il a été choisi d'observer l'allure de la courbe de population cumulée en fonction de la distance au centre-ville obtenue après la relocalisation des ménages et de la comparer à celle de la courbe de population cumulée modélisée et déformée selon le taux de densification qui a été retenu (cf. paragraphe 5.2). Ces deux courbes sont présentées conjointement à la courbe de population cumulée issue directement des données de l'enquête OD de 2008 (sans modélisation) sur le graphique de la Figure 5.6.

On observe que, pour un taux de perturbation défini par $b = 0,00015^{*19}$ (soit une distance $1/b = 6,66 \text{ km}$), la procédure de relocalisation des ménages d'un secteur périphérique vers un secteur central permet de reconstruire la courbe de population cumulée souhaitée. Lorsqu'on effectue ce même test avec des seuils de densification plus élevés (Figure 5.7), on se rend compte que les secteurs les plus centraux (les plus petites distances au centre-ville) sont privilégiés dans la procédure de relocalisation par rapport aux secteurs plus éloignés. Cette dernière courbe a été construite pour un paramètre $b = 0,00025$ (soit une distance $1/b = 4,00 \text{ km}$).

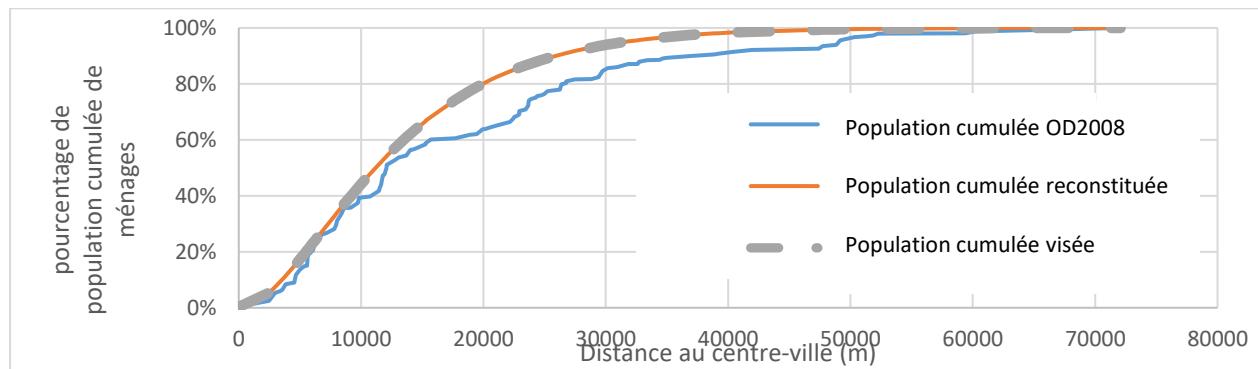


Figure 5.6 : Test de concordance entre la courbe de population cumulée modélisée et perturbée et la courbe obtenue après déménagement des ménages de périphérie par sélection aléatoire dans le cas d'une simulation de densification définie par le paramètre $b = 0,00015$

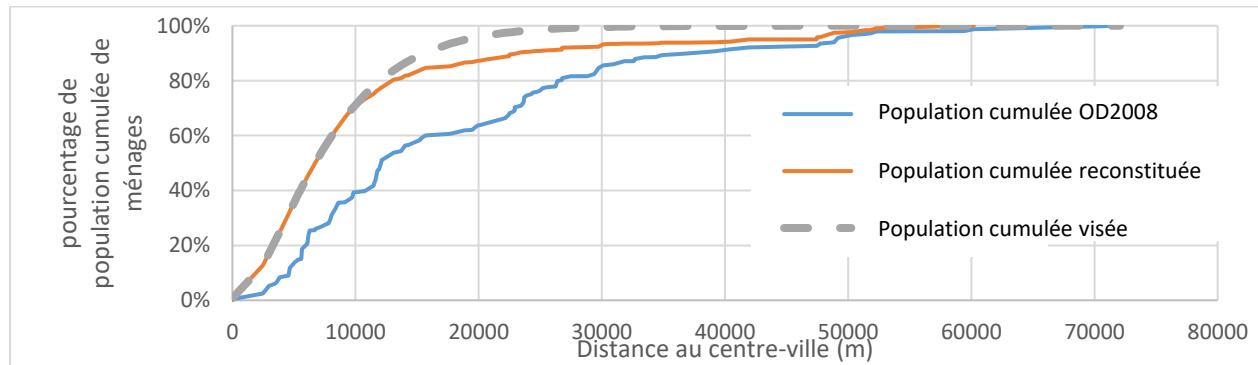


Figure 5.7 : Test de concordance entre la courbe de population cumulée modélisée et perturbée et la courbe obtenue après déménagement des ménages de périphérie par sélection aléatoire dans le cas d'une simulation de densification définie par le paramètre $b = 0,00025$

¹⁹ Valeur à comparer à $b = 0,00013$ (soit une distance $1/b = 7,96 \text{ km}$)

Une façon légèrement différente de procéder aurait pu consister à tirer aléatoirement un secteur de type « receveur » et à l'affecter à un enregistrement de ménage candidat au déménagement avant de procéder à un autre tirage de secteur pour le ménage suivant et ainsi de suite. Dans la procédure GENERE_NOUVEAU_SMLOG(), les secteurs les plus proches du centre-ville sont remplis à hauteur de leur « surplus » mais l'impact du fait que la somme des facteurs de pondération ne tombe jamais « juste » sur le surplus d'un secteur se fait alors sentir sur les secteurs de type « receveur » un peu plus éloignés du centre-ville. La méthode alternative que nous venons de mentionner permettrait de répartir ces erreurs sur l'ensemble des secteurs, plutôt que de privilégier les secteurs les plus proches du centre-ville lors des relocalisations, si cela s'avérait nécessaire ou plus pertinent dans l'optique des analyses à réaliser.

Après avoir procédé à la relocalisation de la population de ménages (fonction DEMENAGEMENTS(), Figure 5.5), l'étape suivante de la méthodologie de modélisation consiste à l'adoption d'un comportement de mobilité par les personnes relocalisées.

5.4 Adoption d'un comportement de mobilité par mimétisme

Dans la continuité de l'étape de relocalisation de la population exposée dans le paragraphe 5.3, un ensemble de macros VBA a été implémenté sur Excel pour réaliser l'étape d'adoption d'un comportement de mobilité par une approche de mimétisme. Deux alternatives ont pu être expérimentées pour ce faire (cf. paragraphe 5.1, Figure 5.1) ; elles sont décrites respectivement dans les sections 5.4.1 et 5.4.2 qui suivent. Dans les deux cas, on suppose que les comportements de mobilité sont largement déterminés par les caractéristiques socio-économiques des personnes et des ménages.

La première approche de mimétisme à laquelle nous nous sommes intéressée suppose que les membres d'un ménage relocalisé adoptent les mêmes déplacements qu'une personne similaire à proximité de leur nouveau lieu de résidence. Cette personne similaire est recherchée parmi un ensemble de ménages supposés similaires selon une typologie que nous proposons. En plus de construire des typologies de personnes et de ménages, cette approche nécessite de choisir un rayon de proximité des ménages. Ensuite, il faut tirer aléatoirement un ménage cible satisfaisant aux conditions de similarité et de proximité et, enfin, associer aux personnes relocalisées les déplacements des personnes du ménage cible en s'appuyant sur la typologie des personnes.

Concrètement, dans cette première approche du mimétisme, l'ensemble des déplacements des personnes du ménage cible est dupliqué dans la base de données pour représenter les déplacements des personnes relocalisées (à l'exception des attributs qui doivent prendre en compte le domicile de la personne, comme les origines de déplacement localisées au domicile). Si cette première approche apporte des éléments d'analyse intéressants, son développement a finalement été interrompu pour nous concentrer sur une méthode alternative en théorie plus raffinée.

La deuxième approche de mimétisme qui a été envisagée est celle dont le développement a finalement pu aboutir. Contrairement à la première approche, celle-ci ne cherche pas à reproduire la totalité des déplacements des personnes similaires, mais simplement à en emprunter certains attributs afin de favoriser la cohérence des déplacements des personnes relocalisées, sans pour autant sacrifier la spécificité des comportements de mobilité d'un ménage. Ainsi, les personnes relocalisées conserveront leur nombre de déplacements réalisés ainsi que leurs motifs mais adopteront de nouvelles modalités pour ces déplacements, à savoir une nouvelle heure de départ, un nouveau lieu de destination et un mode de transport différent de celui qu'ils ont déclaré en répondant à l'enquête. Ces différentes modalités pour les déplacements des personnes relocalisées sont obtenues en se basant sur les distributions réelles des différents attributs dans le voisinage du nouveau lieu de résidence pour un type de ménage et de personne donné. Pour ce faire, nous ferons appel au principe de la méthode de la transformée inverse, présentée dans le paragraphe 2.5 du cadre théorique de ce mémoire.

5.4.1 Première approche de mimétisme : sélection aléatoire d'un ménage cible similaire à proximité du nouveau lieu de résidence

La première approche de mimétisme que nous décrivons ici s'appuie sur quatre étapes distinctes qui constituent la trame de cette partie. Parmi ces quatre étapes, seules les deux dernières sont vraiment spécifiques à l'approche que nous proposons d'exposer dans la suite de cette section. Les éléments abordés dans les deux premières sous-parties, à savoir les notions de similarité et de proximité des ménages et des personnes, seront donc utiles dans le cadre de la présentation de la deuxième méthode de mimétisme que nous avons étudiée (paragraphe 5.4.2).

Après avoir précisé la façon dont nous avons envisagé de construire des typologies de ménages ainsi que le déroulement de l'algorithme qui procède à la recherche d'un ménage similaire à

proximité du nouveau lieu de résidence d'un ménage relocalisé, nous proposerons une façon d'attribuer de nouveaux déplacements aux personnes des ménages relocalisés. Pour mémoire, le schéma présenté sur la Figure 5.8 ci-dessous situe la méthode dans le cadre général du développement méthodologique d'un outil de simulation d'une densification résidentielle à Montréal. Ce schéma est une simplification du schéma méthodologique présenté dans le paragraphe 5.1, en conservant uniquement l'approche de mimétisme (encadré jaune) étudiée dans la section courante.

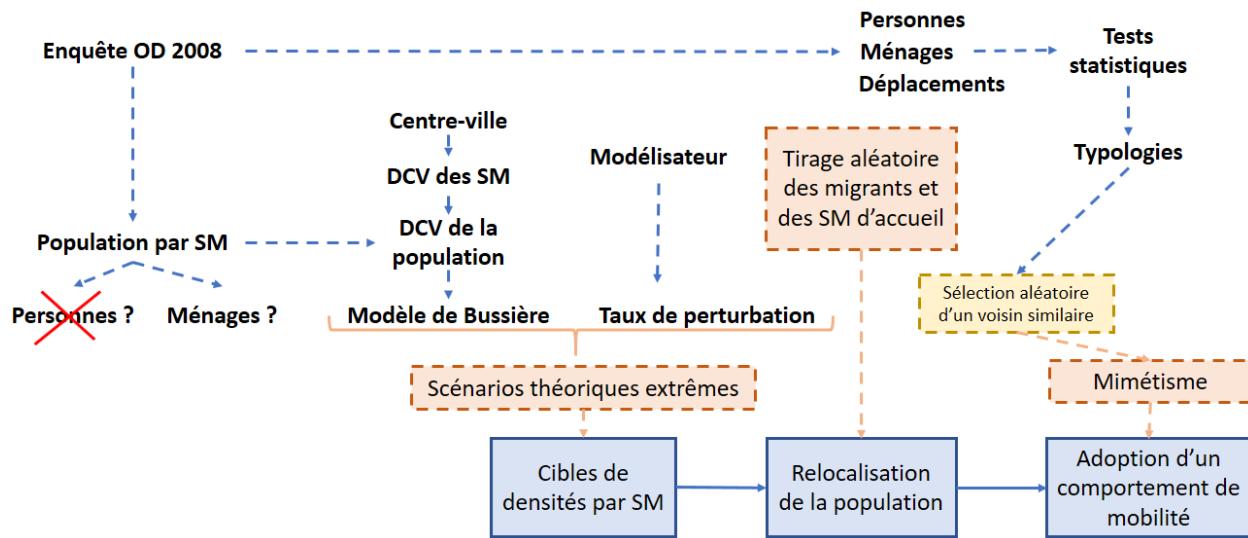


Figure 5.8 : Schéma méthodologique d'une simulation de densification résidentielle théorique orientée vers le centre-ville de Montréal par tirages aléatoires et mimétisme (première approche)

5.4.1.1 Typologie de ménages et concept de similarité

La typologie des ménages qui a été d'abord étudiée se base sur le nombre de personnes dans le ménage et sur l'âge de ses membres. Le Tableau 5.3 présente les différents groupes d'âge utilisés dans le fichier de l'enquête OD de 2008, selon la terminologie du MTMDET, ainsi qu'une proposition d'agrégation de ces groupes d'âge en cinq classes. Ces dernières classes sont utilisées afin de proposer une typologie de ménages simplifiée, tel que l'explique la suite de cette section.

L'objectif est d'associer à chacun des enregistrements de ménages du fichier de l'enquête OD un nouvel attribut indiquant son type. Le principe que nous avons d'abord expérimenté consiste à construire, pour chaque enregistrement de ménage, un code qui agrège les codes de groupes d'âge de chaque membre du ménage (définis dans le Tableau 5.3 dans la première et la troisième colonne

selon que l'on considère les groupes d'âge définis par le MTMDET ou les groupes d'âge agrégés en cinq classes). Nous appelons ce nouvel attribut « *typo_code* ». Il définit la similarité de l'ensemble des ménages. Par exemple, pour construire le « *typo_code* » d'un ménage constitué d'une femme de 35 ans, d'un homme de 30, d'une petite fille de 5 ans et de jumeaux de 2 ans, alors on associera à leur ménage le code typologique *typo_code* = _1_1_2_6_7 en se basant sur les cohortes d'âge du MTMDET. Les numéros successifs du code correspondent aux codes des groupes d'âge des personnes ordonnées par ordre croissant de gauche à droite.

Pour réduire le nombre de classes dans la typologie des ménages, nous pouvons procéder de même en se basant non plus sur les cohortes du MTMDET mais sur les codes de groupes d'âge agrégés, définis dans le Tableau 5.3. On appelle ce nouveau code typologique « *typo_code_2* ». Dans l'exemple précédent on aurait alors *typo_code_2* = _1_1_1_3_3. De tels codes typologiques peuvent être aisément construits sur Excel à partir du fichier de l'enquête OD de 2008.

Tableau 5.3 : Groupes d'âge selon la terminologie du MTMDET dans le fichier OD2008 et agrégation en cinq groupes en vue de simplifier la typologie de ménages

Grpage (code du groupe d'âge selon la terminologie du MTMDET dans le fichier OD2008)	Définition du groupe d'âge selon la terminologie du MTMDET	Grpage_2 (code du groupe d'âge après l'agrégation des groupes d'âge définis par le MTMDET)	Définition du groupe d'âge après l'agrégation des groupes d'âge définis par le MTMDET
1	0 à 4 ans		
2	5 à 9 ans	1	0 à 14 ans
3	10 à 14 ans		
4	15 à 19 ans		
5	20 à 24 ans	2	15 à 24 ans
6	25 à 34 ans		
7	35 à 44 ans	3	25 à 44 ans
8	45 à 54 ans		
9	55 à 64 ans	4	45 à 64 ans
10	65 à 74 ans		
11	75 ans et plus	5	65 ans et plus

On considère des ménages similaires lorsqu'ils ont le même code typologique. Si, par ailleurs, ces ménages résident suffisamment proche l'un de l'autre, on fera l'hypothèse que les comportements de mobilité des membres d'un ménage sont transposables à ceux de l'autre. Ainsi, les membres d'un ménage relocalisé depuis un secteur périphérique vers un secteur central se contenteront de

copier les déplacements des membres d'un ménage similaire à proximité de leur nouveau lieu de résidence. Cette hypothèse est légitime dans la continuité de la méthode qui s'appuyait sur une perturbation des facteurs de pondération (CHAPITRE 4) et qui ne conservait aucun attribut des déplacements des personnes relocalisées. Dans ce cas, la personne de périphérie dont on diminuait le facteur de pondération pour augmenter celui d'une personne résidente d'un secteur central, adoptait implicitement les mêmes déplacements que la personne du secteur central.

Les tableaux des Figure 5.9 et Figure 5.10 ont été générés dans l'optique d'évaluer le potentiel d'utilisation de l'une et l'autre des typologies envisagées. Ceux-ci présentent le pourcentage d'enregistrements de ménages et le pourcentage de ménages pondérés (prise en compte des facteurs de pondération) dans chacune des classes typologiques construites selon la méthode précédente (« *typo_code* » pour les cohortes du MTMDT et « *typo_code_2* » pour les cohortes agrégées).

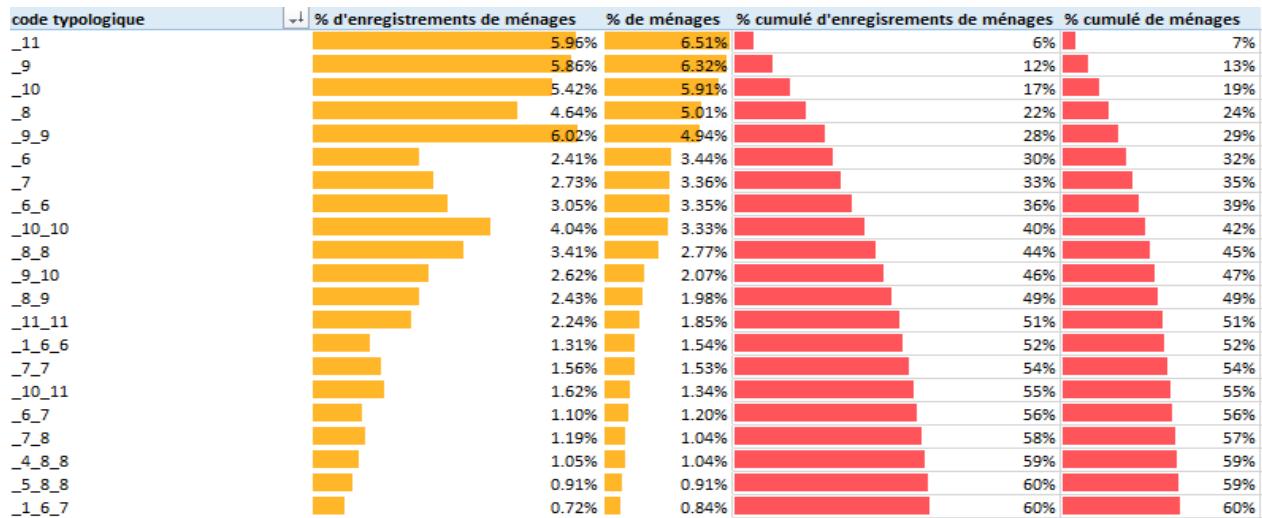


Figure 5.9 : Extrait de la répartition des enregistrements de ménages et des ménages pondérés selon la typologie de ménages « *typo_code* »

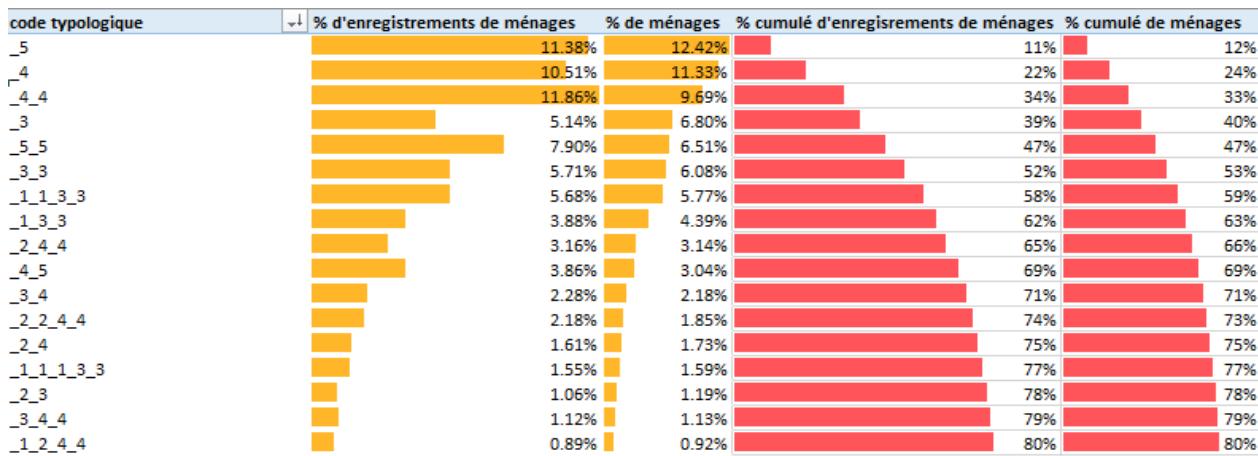


Figure 5.10 : Extrait de la répartition des enregistrements de ménages et des ménages pondérés selon la typologie de ménages « *typo_code_2* »

La construction de classes typologiques basées sur les onze cohortes du MTMDET (« *typo_code* ») conduit à un total de 1810 classes dont les 21 plus fréquentes regroupent plus de 60% des enregistrements de ménages et plus de 60% de ménages pondérés et dont les 65 plus fréquentes en regroupent 80%. La construction de classes typologiques basées sur les cohortes agrégées en cinq classes (« *typo_code_2* ») nous mène quant à elle à un total restreint à 398 classes, représentées à 80% par les 17 classes les plus fréquentes que ce soit en termes d'enregistrements de ménages ou de ménages pondérés. En passant, les tableaux des Figure 5.9 et Figure 5.10 peuvent aussi rendre compte de certains phénomènes sociaux, comme la tendance relativement importante des personnes âgées à vivre seules (se référer au Tableau 5.3 pour la signification des codes de cohortes dans les codes typologiques).

En tenant compte des considérations précédentes, la recherche de ménages similaires à proximité du nouveau lieu de résidence d'un ménage relocalisé, sur la base de la typologie « *typo_code* » n'a pas été poursuivie. Il a été rapidement supposé que cette recherche conduirait à des taux trop important d'impossibilité à trouver un ménage similaire. À ce stade, il a été jugé plus pertinent de poursuivre la démarche en s'appuyant sur la typologie issue de l'agrégation des groupes d'âge du MTMDET en cinq classes (« *typo_code_2* ») et chaque enregistrement de ménage s'est donc vu attribuer un « *typo_code_2* ». Les détails procéduraux liés à cette affectation sont présentés à l'ANNEXE E.

5.4.1.2 Recherche de « ménages similaires » à proximité du nouveau lieu de résidence des ménages relocalisés vers un secteur central : la macro MIMETISME()

La recherche de « ménages similaires » à proximité du nouveau lieu de résidence est réalisé par la fonction `MIMETISME()`, présentée schématiquement dans l'organigramme de la Figure 5.11. Cette fonction utilise les données des tables « `men_smlog_new` » et « `men_rec_cv` » pour bonifier la table « `men_smlog_new` » d'un nouvel attribut, nommé « `mime_nolog_1000m` ». Ce nouvel attribut des ménages relocalisés représente soit l'identifiant d'un ménage similaire ayant pu être localisé dans un disque de rayon R à partir du nouveau lieu de résidence du ménage relocalisé, soit un message d'erreur « aucun ménage similaire à proximité » si aucun ménage similaire n'a pu être détecté dans un disque de rayon R à partir du nouveau lieu de résidence. Dans le cas où un ménage similaire a pu être identifié à proximité du nouveau lieu de résidence, on qualifiera ce dernier de ménage cible.

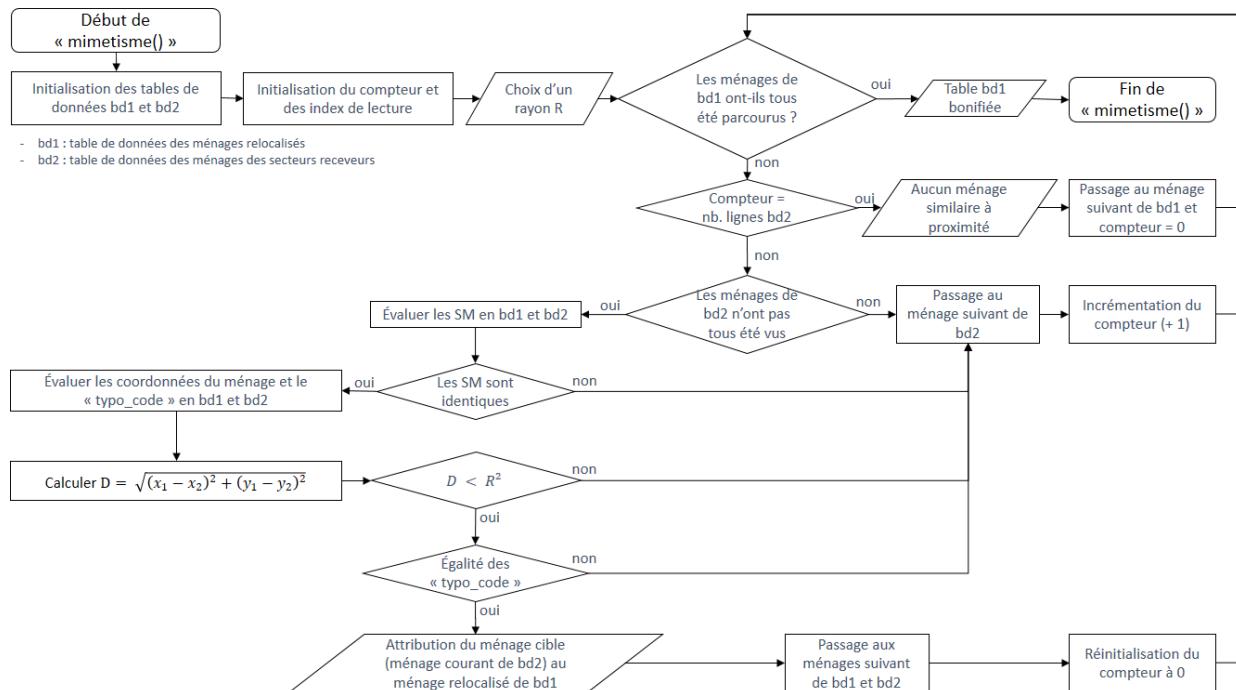


Figure 5.11 : Diagramme algorithmique de la fonction « MIMETISME() »

Après avoir exécuté cette fonction dans le cas d'une simulation de densification définie par le paramètre $b = 0,00025$ (soit une distance $1/b = 4,00$ km), il a été observé que des proportions relativement importantes d'enregistrements de ménages « relocalisés » ne trouvaient pas d'enregistrement de ménage similaire à proximité du nouveau lieu de résidence qui leur a été

affecté par la macro `ANCRAGE_SELECT_V2()` pour les trois niveaux de proximité étudiés. Pour un rayon R égal à 1000 m, ce taux s'élève à 18% des enregistrements de la table de données « `men_smlog_new` » alors qu'il passe à 11% puis à 9% en élargissant la recherche à 2000 m puis à 3000 m. Pour cette simulation, moins de 8500 enregistrements de ménages ont été identifiés comme ménage cible par un ménage relocalisé parmi les 18815 enregistrements qui auraient potentiellement pu être sélectionnés pour jouer ce rôle (c'est-à-dire les enregistrements de la table « `men_rec_cv` »). Ce chiffre invite à questionner l'algorithme de sélection de ménages similaires qui peut potentiellement privilégier certains ménages lors de la sélection. L'ANNEXE F présente les détails procéduraux relatifs à cette section.

5.4.1.3 Copie des identifiants de ménages cibles dans le fichier des ménages de l'enquête Origine-Destination « *OD2008_men* »

Après avoir déterminé les ménages cibles pour le mimétisme comme expliqué à la section précédente, les identifiants des ménages cibles sont copiés dans un nouveau champ de la table « `OD2008_men` » puis traités de sorte que le ménage cible d'un ménage n'ayant pas été affecté par la procédure de relocalisation, ou d'un ménage relocalisé n'ayant pas trouvé de ménage similaire à proximité de son nouveau lieu de résidence, soit lui-même.

À ce stade, tous les ménages se sont vu attribuer un ménage cible, qu'il soit fictif (c'est-à-dire que le ménage est auto-ciblé) ou réel (c'est-à-dire que le ménage cible a été alloué par la procédure de `MIMETISME()`). L'objectif suivant est de définir sur quelle base les personnes des ménages relocalisés vont mimer les comportements de mobilité des ménages cibles.

5.4.1.4 Association d'une « personne cible » pour chaque personne d'un « ménage relocalisé »

Après avoir associé à chaque ménage relocalisé un ménage cible dont le code typologique est le même, selon la typologie retenue au terme du paragraphe 5.4.1.1, on suppose que les membres du ménage relocalisé vont imiter les membres du ménage cible appartenant à la même cohorte d'âge. Implicitement, on considère une relation de similarité sur les personnes définie par leur groupe d'âge. Quand il n'y a pas plus d'une seule personne appartenant à une cohorte donnée au sein d'un ménage il n'y a aucune ambiguïté à mettre en relations les personnes sur la base de leur groupe d'âge ; si cela n'est pas le cas, il faudra choisir quelle personne imiter selon un processus particulier.

Afin de procéder au même des déplacements des personnes du ménage cible par le ménage relocalisé sans ambiguïté lorsque plusieurs représentants d'une même cohorte d'âge sont présents dans le ménage, un nouvel attribut a été ajouté à la table de données des personnes de l'enquête OD (Tableau 5.4). Ce nouvel attribut constitue en fait un nouvel identifiant des personnes construit par concaténation des attributs « Nolog » (identifiant de ménage de la personne), « grpage_2 » (code du groupe d'âge après agrégation des cohortes en cinq classes) et « no_distinction_pers_gpage », qui est un attribut intermédiaire permettant de distinguer deux personnes de groupe d'âge identique au sein d'un même ménage (voir Tableau 5.4).

Tableau 5.4 : Illustration de la procédure de construction d'un nouvel identifiant des personnes pertinent pour l'application de la procédure de mimétisme ; les couleurs permettent de faciliter la lecture des données et d'expliciter la procédure de concaténation utilisée

Nolog (identifiant du ménage de la personne)	grpage_2 (code du groupe d'âge après agrégation des cohortes en cinq classes)	no_distinction_pers_gpage (valeur entière permettant de distinguer deux personnes de la même cohorte d'âge au sein d'un même ménage. <u>Ex</u> : si trois membres appartiennent à la même cohorte, le premier se verra attribuer la valeur « 1 », le second la valeur « 2 » le troisième la valeur « 3 »)	nolog_grpae_2_no_distinction_pers_gpage (nouvel identifiant des personnes adapté à la procédure de mimétisme. L'identifiant est obtenu par concaténation des trois attributs présentés dans les colonnes 1, 2 et 3 de ce tableau)
5077	1	1	5077_1_1
5077	2	1	5077_2_1
5077	2	2	5077_2_2
5077	3	1	5077_3_1
5077	3	2	5077_3_2
5174	2	1	5174_2_1
5174	2	2	5174_2_2
5174	4	1	5174_4_1
5174	4	2	5174_4_2
10003	3	1	10003_3_1
10003	3	2	10003_3_2
10007	4	1	10007_4_1

Par exemple, si l'on reprend le code typologique *typo_code_2 = _1_1_1_3_3* pour un ménage composé d'une femme de 35 ans, d'un homme de 30 ans, d'une petite fille de 5 ans et de jumeaux de 2 ans, alors on fera en sorte de distinguer les trois personnes ayant entre 0 et 14 ans (cohorte de code 1 après agrégation en cinq classes). Si l'identifiant du ménage en question était **9999**, par exemple, alors on aurait les cinq identifiants de personnes suivants :

- 1) **9999_1_1** pour la **première** personne du ménage **9999** ayant entre 0 et 14 ans (code **1**) ;
- 2) **9999_1_2** pour la **deuxième** personne du ménage **9999** ayant entre 0 et 14 ans (code **1**) ;
- 3) **9999_1_3** pour la **troisième** personne du ménage **9999** ayant entre 0 et 14 ans (code **1**) ;
- 4) **9999_3_1** pour la **première** personne du ménage **9999** ayant entre 25 et 44 ans (code **3**) ;
- 5) **9999_3_2** pour la **deuxième** personne du ménage **9999** ayant entre 25 et 44 ans (code **3**)

Si, par ailleurs, il s'avérait que le ménage **9999**, relocalisé vers un secteur central (de type « receveur ») ait trouvé un ménage similaire (c'est-à-dire de même code typologique *typo_code_2 = _1_1_1_3_3*) à proximité de son nouveau lieu de résidence (par exemple, le ménage identifié par *Nolog = 7777*) alors on aurait les relations de mimétisme suivantes :

- 1) **9999_1_1** imite **7777_1_1**, soit la **première** personne du ménage **7777** de cohorte **1** ;
- 2) **9999_1_2** imite **7777_1_2** soit la **deuxième** personne du ménage **7777** de cohorte **1** ;
- 3) **9999_1_3** imite **7777_1_3** soit la **troisième** personne du ménage **7777** de cohorte **1** ;
- 4) **9999_3_1** imite **7777_3_1** soit la **première** personne du ménage **7777** de cohorte **1** ;
- 5) **9999_3_2** imite **7777_3_2** soit la **deuxième** personne du ménage **7777** de cohorte **1**

Sur le même principe que cet exemple, le Tableau 5.5 illustre la façon dont est générée la personne cible de chaque enregistrement de personne du fichier de l'enquête OD. Dans ce tableau, les couleurs permettent de faciliter la lecture des données et d'expliciter la procédure de concaténation utilisée. Les lignes grisées correspondent aux seules personnes qui vont modifier leur comportement de mobilité sur la base d'une « personne cible » différente d'elles-mêmes.

L'étape suivante consiste enfin à attribuer les déplacements de la personne cible à la personne qui cherche à l'imiter et ceci se fait en deux temps : création d'un nouveau fichier de déplacements et recopie des attributs des déplacements des personnes cibles. Puisque l'on ne conserve pas nécessairement le même nombre de déplacements pour les personnes relocalisées par rapport à la situation initiale (celles-ci copient l'ensemble des déplacements de leur personne cible), il faut tout d'abord générer un nouveau fichier de déplacements contenant un nombre de lignes égal au nouveau nombre de déplacements. Lorsqu'une personne X imite une personne Y ayant réalisé *n* déplacements, alors on génère *n* enregistrements de déplacements pour la personne X et *n* enregistrements de déplacements pour la personne Y dans la nouvelle table de données des

déplacements. Les attributs des déplacements de Y de l'ancien fichier des déplacements sont alors recopiés dans le nouveau fichier pour les déplacements de X et de Y, excepté pour l'attribut localisant l'origine du déplacement lorsqu'il s'agit du domicile de X ; dans ce cas précis, ce sont les coordonnées du nouveau logement de X (logement attribué à son ménage lors de la procédure de relocalisation) qui sont recopiées dans la nouvelle table des déplacements. Bien entendu, cela limite le niveau d'information qui peut être transféré d'une personne à l'autre par cette méthode. Par exemple, puisque les domiciles ne sont pas identiques, on ne pourra pas transférer l'information relative aux lignes de transport en commun empruntées. Ces données devraient être simulées *a posteriori* selon les besoins de l'analyse.

Tableau 5.5 : Illustration de la procédure de construction d'une clé de recherche des attributs de la personne cible sur le modèle de la construction d'un nouvel identifiant exposée dans le Tableau 5.4

nolog (cf. Tableau 5.4)	grpage_2 (cf. Tableau 5.4)	no_distinction_pers_gpage (cf. Tableau 5.4)	nolog_grpage_2_no_distinction_pers_gpage (cf. Tableau 5.4)	mime_nolog_1000m_no#NA (identifiant du « ménage cible » avec erreur « Aucun ménage similaire à proximité »)	mime_nolog_noNA_noAucun_1000 (identifiant du « ménage cible » en auto-ciblant les ménages n'ayant pas trouvé de « ménage similaire » à proximité de leur nouveau lieu de résidence)	mime_pers_1000m (clé de recherche des attributs de la personnes cibles. L'attribut est construit sur le même principe que l'identifiant en 4 ^e colonne en se basant sur l'identifiant du « ménage cible »)
5077	1	1	5077_1_1	Aucun...	5077	5077_1_1
5077	2	1	5077_2_1	Aucun...	5077	5077_2_1
5077	2	2	5077_2_2	Aucun...	5077	5077_2_2
5077	3	1	5077_3_1	Aucun...	5077	5077_3_1
5077	3	2	5077_3_2	Aucun...	5077	5077_3_2
5174	2	1	5174_2_1	5174	5174	5174_2_1
5174	2	2	5174_2_2	5174	5174	5174_2_2
5174	4	1	5174_4_1	5174	5174	5174_4_1
5174	4	2	5174_4_2	5174	5174	5174_4_2
10003	3	1	10003_3_1	120497	120497	120497_3_1
10003	3	2	10003_3_2	120497	120497	120497_3_2
10007	4	1	10007_4_1	10007	10007	10007_4_1

5.4.1.5 Limites et perspectives de la première approche de mimétisme envisagée

Comme nous l'avions mentionné en introduction de cette partie liée à l'étape d'adoption d'un comportement de mobilité, les recherches liées à la première méthode de mimétisme que nous

venons de décrire n'ont pas été poursuivies jusqu'à terme. Aucun nouveau fichier de déplacement n'a été généré tel que nous avons proposé de le faire dans la section précédente, en faisant en sorte de dupliquer les déplacements des personnes cibles pour simuler les déplacements des membres d'un ménage relocalisé. Si cette question demeure ouverte, il est probable que des ajustements devront être faits sur un certain nombre d'éléments, notamment concernant les typologies de ménages (typo_code) et de personnes (groupes d'âge) utilisées. D'autres possibilités devraient être envisagées afin de permettre d'attribuer des déplacements plausibles à un nombre suffisamment important de personnes. La prise en compte d'autres caractéristiques des ménages (revenus, motorisation, etc.) et des personnes (genre, activité principale, etc.) devrait être considérée au risque de simplifier considérablement l'intégration des groupes d'âge dans la typologie des ménages. La deuxième approche de mimétisme que nous décrivons dans le paragraphe qui suit (5.4.2) propose par exemple de ne distinguer que trois types de ménages (famille, une seule personne, colocation). Une telle typologie des ménages pourrait simplifier la procédure que nous venons de présenter, tout en sachant que cela induira des changements au moment d'attribuer les déplacements à chaque personne.

Enfin, une autre possibilité à envisager ici serait de simplement jouer sur le facteur de pondération des personnes cibles pour simuler le fait que des personnes relocalisées se déplacent désormais comme elles. Si la personne relocalisée X trouve une personne cible Y, alors on augmenterait le facteur de pondération de Y en lui ajoutant le facteur de pondération de X, tout en attribuant la valeur 0 au facteur de pondération de X (Y comptera pour X et pour Y). Cependant, cette méthode suppose que la personne relocalisée adopte le lieu de résidence de sa personne cible et d'autres caractéristiques de cette personne. Sans nous attarder davantage sur l'approche préliminaire de mimétisme qui a fait l'objet de la présente section, nous allons désormais nous intéresser à la méthode que nous avons finalement retenue pour procéder à l'adoption d'un comportement de mobilité. Nous verrons que celle-ci repose sur le tirage aléatoire de certains attributs des déplacements relocalisés en se basant sur des distributions réelles, pour des personnes et des ménages similaires, dans un voisinage donné.

5.4.2 Deuxième approche de mimétisme : tirage aléatoire des attributs du déplacement dans une distribution observée

Fondamentalement, la deuxième approche de mimétisme qui a été étudiée se distingue de la précédente du fait qu'elle conserve une partie des caractéristiques des déplacements des personnes (nombre et motifs). Seules les heures de départ, les destinations et les modes de déplacements sont mimées par les personnes relocalisées en se basant sur les comportements des résidents de chaque secteur receveur. Ceci introduit un troisième degré de typologie dans la procédure, en considérant des déplacements similaires lorsqu'ils ont été générés par le même motif. Ce n'est que lorsque des déplacements similaires ont été identifiés parmi des personnes similaires, vivant dans un ménage similaire, à proximité du nouveau lieu de résidence du ménage relocalisé, que l'on affecte de nouvelles caractéristiques aux déplacements d'une personne relocalisée. Ces caractéristiques sont tirées aléatoirement parmi les caractéristiques observées par la méthode de la transformée inverse (cf. paragraphe 2.5). Nous reviendrons sur ce point particulier dans les sections 5.4.2.4 à 5.4.2.6 qui détaillent les trois algorithmes d'affectation des caractéristiques de déplacements, au cœur de cette dernière approche pour l'étape d'adoption d'un comportement de mobilité.

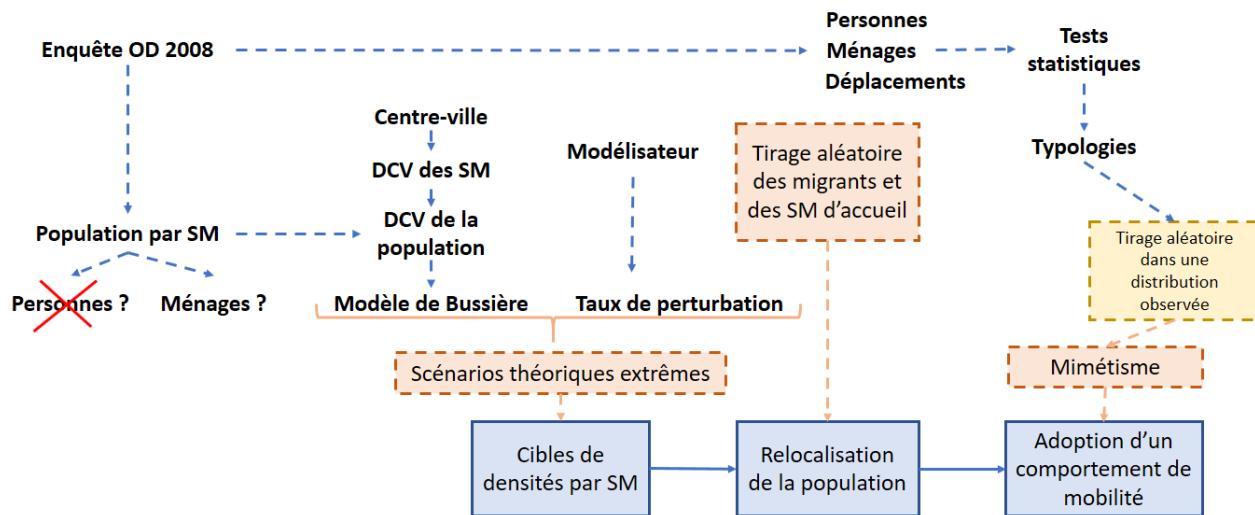


Figure 5.12 : Schéma méthodologique d'une simulation de densification résidentielle théorique orientée vers le centre-ville de Montréal par tirages aléatoires et mimétisme (deuxième approche)

Même si les fondements théoriques des typologies de ménages et de personnes sont similaires à ceux de la première méthode de mimétisme qui a été présentée (paragraphe 5.4.1), quelques modifications ont été faites dans le cadre de cette deuxième approche. Celles-ci sont présentées

dans la section qui suit, avant d'aborder une évaluation statistique des attributs de déplacements qui ont fait l'objet d'une procédure de mimétisme et de présenter les algorithmes d'affectation. Comme cette deuxième approche est basée sur les déplacements des personnes, la première étape a été de construire une table de données qui regroupe l'ensemble des déplacements des personnes relocalisées. Pour mémoire, le schéma présenté sur la Figure 5.12 situe la méthode dans le cadre général du développement d'un outil de simulation d'une densification résidentielle à Montréal. Ce schéma est une simplification du schéma méthodologique présenté dans le paragraphe 5.1, en conservant uniquement l'approche de mimétisme (encadré jaune) étudiée dans la section courante.

5.4.2.1 Typologies, similarité et proximité

L'application des procédures d'affectation repose sur la considération de trois niveaux de typologies, sur chacun des objets de l'enquête OD à savoir les ménages, les personnes et les déplacements. La construction d'une typologie de ménages a déjà été abordée dans le cadre de notre première méthode de mimétisme (paragraphe 5.4.1) et nous proposons ici de la simplifier. Le Tableau 5.6 illustre la façon dont nous avons choisi de procéder. Le nouveau type de ménage que nous utilisons, nommé « men_type », a été construit en se basant sur le code typologique « typo_code » présenté dans le paragraphe 5.4.1.1. Nous avons vu que les numéros successifs du code typologique « typo_code » d'un ménage représentent les numéros de cohorte de chacun des membres du ménage, par ordre croissant (terminologie MTMDET). En se servant de ce code typologique, on associera un type simplifié « men_type » aux ménages de telle sorte que :

- Un ménage de plusieurs membres dont au moins un est âgé de moins de 20 ans (cohortes 1, 2, 3 ou 4 selon la terminologie du MTMDET) sera considéré comme un ménage familial ;
- Un ménage contenant plusieurs personnes dont aucune a moins de 20 ans (cohortes 5 et suivantes selon la terminologie du MTMDET) sera considéré comme un ménage de colocataires ;
- Un ménage ne contenant qu'une personne sera considéré comme une personne vivant seule.

Tableau 5.6 : Simplification de la typologie des ménages en trois classes : mono, fami, colo

typo_code (code typologique original, cf. section 5.4.1.1)	Cohorte MTMDET de la personne la plus jeune	Cohorte MTMDET de la deuxième personne la plus jeune	Cohorte MTMDET de la troisième personne la plus jeune	Test si la personne la plus jeune est dans une cohorte MTMDET plus petite que 5	Nombre de personnes dans le ménage	Type simplifié men_type (trois classes de ménages seulement : famille, colocation, personne seule)
_11	11			0	1	mono
_11_11	11	11		0	2	colo
_1_6_6	1	6	6	1	3	fami
_4_8_8	4	8	8	1	3	fami
5_8_8	5	8	8	0	3	colo

Le Tableau 5.6 présente quelques simplifications basées sur un échantillon de valeurs de « typo_code ». Par exemple, un ménage dont le code typologique « typo_code » est _4_8_8 ou 1_1_6_6 est considéré comme un ménage familial puisqu'il y a des personnes de moins de 20 ans. Un ménage de code _5_8_8 sera considéré comme un ménage de colocataires, comme un ménage de code _6_7 ou _7_8. Après avoir associé un type simplifié à chaque code typologique « typo_code », ce type est associé à chaque enregistrement de ménage de l'enquête OD de 2008 en se servant des données générées dans le cadre de la première approche de mimétisme (cf. paragraphe 5.4.1.1).

Pour la typologie des personnes, nous proposons cette fois d'utiliser le genre des individus en plus de leur groupe d'âge. À ce stade, il a aussi été jugé plus pertinent de reprendre les segments d'âge utilisés pour procéder au redressement des données de l'enquête OD de 2008 plutôt que de nous baser sur les cohortes définies précédemment (Tableau 5.3). Ces groupes d'âge, qui chevauchent parfois ceux utilisés par le MTMDET, sont définis dans le Tableau 5.7. Enfin, le Tableau 5.8 définit la segmentation des déplacements par motif qui a été entreprise pour déterminer si des déplacements sont similaires ou non. Nous proposons d'utiliser un ensemble de 8 motifs, nommé « MotifAgr », plutôt que d'utiliser tous les motifs définis par le MTMDET. Par exemple, la nouvelle segmentation regroupe les catégories « travail » et « rendez-vous d'affaires » en une seule catégorie « travail » et regroupe plusieurs classes dans la catégorie « autre ».

À la différence de la méthode précédente, où les ménages similaires étaient recherchés dans un rayon restreint de 1000m, 2000m ou 3000m, nous considérons ici que des ménages résident à proximité l'un de l'autre lorsqu'ils appartiennent au même secteur municipal. Ce changement

d'échelle est, en théorie, compensé par l'utilisation d'un tirage probabiliste plus sophistiqué pour l'affectation des caractéristiques de déplacement (méthode de la transformée inverse).

Tableau 5.7 : Définition des groupes d'âge de personnes utilisés pour la pondération des données (à ne pas confondre avec les groupes d'âge du Tableau 5.3 qui agrègent ceux du MTMDET)

Grpage_pond_code (# groupe d'âge utilisé pour la pondération des données OD2008)	Définition du groupe d'âge utilisé pour la pondération des données OD2008
1	0 à 14 ans
2	15 à 24 ans
3	25 à 39 ans
4	40 à 64 ans
5	65 ans et plus

Tableau 5.8 : Simplification de la segmentation des motifs de déplacements en 8 classes

# Motif (terminologie MTMDET)	Définition du motif selon la terminologie du MTMDET	MotifAgr (# Motif agrégé)	Définition du motif agrégé
1	Travail	1	Travail
2	Rendez-vous d'affaires		
4	Études / École	2	Études / École
11	Retour au domicile	3	Retour au domicile
6	Loisir		
7	Visite d'amis et/ou de parenté	4	Loisir
5	Magasinage	5	Magasinage
3	Sur la route		
8	Santé		
9	Reconduire quelqu'un		
10	Chercher quelqu'un	6	Autre
12	Autre		
0	Personne non mobile	7	Personne non mobile
13	Indéterminé / refus /NSP	8	Indéterminé / refus /NSP

5.4.2.2 Évaluation statistique des attributs à mimer

Comme nous l'avons déjà mentionné, l'objectif de cette seconde approche de mimétisme est d'attribuer des caractéristiques aux déplacements des personnes relocalisées en se basant sur les distributions observées selon les typologies de ménages, de personnes et de déplacements dans un voisinage donné (cf. paragraphe 5.4.2.1). Dans les sections suivantes, nous détaillerons les trois

algorithmes d'affectation qui ont été développés, pour les heures de départ, les zones de destination et enfin les modes de transports. En préalable, des tests statistiques ont été réalisés pour juger de la pertinence d'appliquer un algorithme d'affectation pour ces différentes variables. En effet, si l'on observe qu'il n'y a aucune influence de la localisation sur certains attributs, alors nous pouvons simplement considérer que les personnes conserveront leurs modalités de déplacements au cours du processus de relocalisation. Les tests statistiques nous montrent que ce n'est pas le cas pour les variables précédentes.

Pour tester l'influence de l'appartenance au centre ou à la périphérie sur les différentes variables, trois tests de Kolmogorov-Smirnov (KS-test) ont été appliqués. Le Tableau 5.9 présente la méthode de calcul dans le cas des classes d'heures de départ et la Figure 5.13 présente les courbes cumulatives utilisées dans le test. La méthode est similaire pour les deux autres variables étudiées (ZAT de destination et modes de transport). Pour chaque groupe d'heures de départ, la distance du KS-test s'obtient par la différence du pourcentage cumulé de personnes dans les secteurs receveurs et du pourcentage cumulé de personnes dans les secteurs donneurs. Pour déterminer si la distribution des groupes d'heures de départ dans les secteurs receveurs est significativement différente de celle des groupes d'heures de départ dans les secteurs donneurs, il faut prendre le maximum des distances du KS-test calculées pour chaque classe. Dans le cas des groupes d'heures de départ de l'enquête OD de 2008, cette distance maximale vaut 1,97%. Ce maximum de distances est comparée à la distance critique qui dépend du nombre d'observations dans l'une et l'autre des distributions comparées par le test et du niveau de tolérance considéré (cf. Tableau 5.10, Tableau 5.11 et Tableau 5.12).

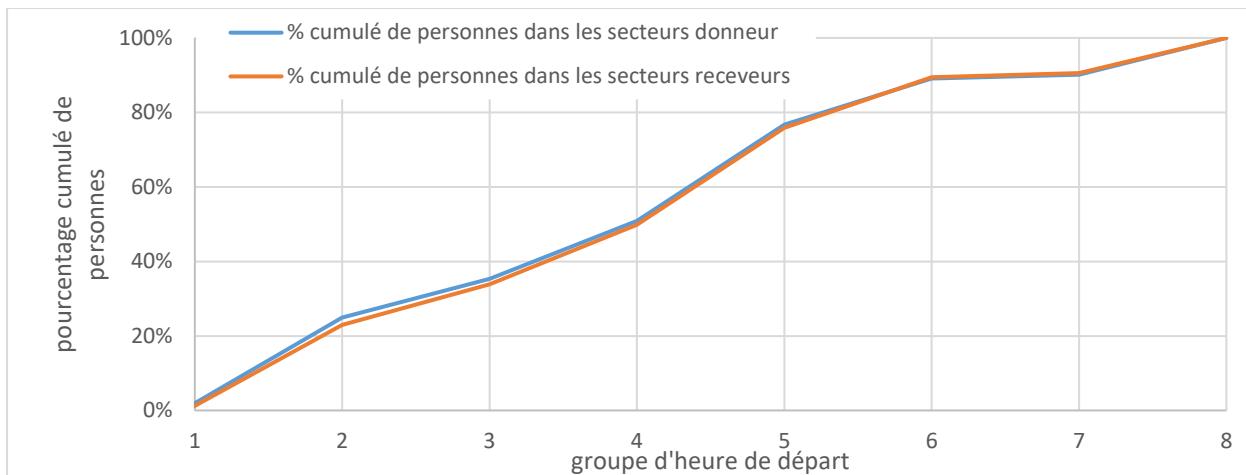


Figure 5.13 : Courbes cumulatives des personnes par groupes d'heures de départs utilisées pour estimer les distances maximales du KS-test sur les heures de départ

Tableau 5.9 : Calcul des distances du KS-test pour chaque classe d'heures de départ et sélection de la distance maximale (1,97%)

Grphred (groupe d'heure de départ MTMDET)	# personnes dans secteur donneur	% personnes dans secteur donneur	%cumulé personnes dans secteur donneur	# personnes dans secteur receveur	% personnes dans secteur receveur	%cumulé personnes dans secteur receveur	Distance du KS-test (différence entre les deux pourcentages cumulés de personnes)
1	131 000	1.96%	1.96%	31 300	1.24%	1.24%	0.72%
2	1 540 000	23.00%	24.96%	546 000	21.75%	22.99%	1.97%
3	691 000	10.32%	35.29%	274 000	10.92%	33.91%	1.37%
4	1 040 000	15.57%	50.86%	400 000	15.91%	49.83%	1.03%
5	1 730 000	25.90%	76.76%	654 000	26.04%	75.87%	0.89%
6	829 000	12.38%	89.13%	341 000	13.56%	89.43%	0.29%
7	65 400	0.98%	90.11%	28 600	1.14%	90.56%	0.46%
(vide)	662 000	9.89%	100.00%	237 000	9.44%	100.00%	0.00%
Total général	n1 = 6.70E+06	100.00%		n2 = 2.51E+06	100.00%		

Le Tableau 5.10 présente les valeurs critiques du test calculées pour trois niveaux de tolérance et obtenues à l'aide du nombre total de personnes dans les secteurs donneurs et receveurs (n1 et n2). Pour les trois niveaux de tolérance considérés, le résultat indique que les distributions dans les deux types de secteurs sont bien significativement différentes (la distance seuil est inférieure à la distance

maximale). On conclut de même en réalisant ce test pour les ZAT de destination et les modes de transport (Tableau 5.11 et Tableau 5.12).

Tableau 5.10 : Résultats du KS-test appliqué aux heures de départ pour trois seuils de tolérance, avec $n1 = 6,70 * 10^6$ et $n2 = 2,51 * 10^6$ et une distance maximum de 1,97% (cf. Tableau 5.9)

Seuil de tolérance	Coefficient de calcul de la distance seuil du KS-test	Maximum des distances du KS-test	Distance seuil du KS-test	Conclusion du KS-test
alpha 0.10	1.22	1.97%	0.09%	Distributions distinctes
alpha 0.05	1.36	1.97%	0.10%	Distributions distinctes
alpha 0.01	1.63	1.97%	0.12%	Distributions distinctes

Tableau 5.11 : Résultats du KS-test appliqué aux ZAT de destination pour trois seuils de tolérance, avec $n1 = 6,70 * 10^6$ et $n2 = 2,51 * 10^6$ et une distance maximum de 34,04%

Seuil de tolérance	Coefficient de calcul de la distance seuil du KS-test	Maximum des distances du KS-test	Distance seuil du KS-test	Conclusion du KS-test
alpha 0.10	1.22	34.04%	0.09%	Distributions distinctes
alpha 0.05	1.36	34.04%	0.10%	Distributions distinctes
alpha 0.01	1.63	34.04%	0.12%	Distributions distinctes

Tableau 5.12 : Résultats du KS-test appliqué aux modes de transport pour trois seuils de tolérance, avec $n1 = 6,70 * 10^6$ et $n2 = 2,51 * 10^6$ et une distance maximum de 3,18%

Seuil de tolérance	Coefficient de calcul de la distance seuil du KS-test	Maximum des distances du KS-test	Distance seuil du KS-test	Conclusion du KS-test
alpha 0.10	1.22	3.18%	0.09%	Distributions distinctes
alpha 0.05	1.36	3.18%	0.10%	Distributions distinctes
alpha 0.01	1.63	3.18%	0.12%	Distributions distinctes

5.4.2.3 Table de données des déplacements des personnes relocalisées : « `depl_reloc` »

Pour l'affectation de caractéristiques aux déplacements des personnes relocalisées, la première étape consiste à créer une table de données qui regroupe l'ensemble des déplacements des personnes relocalisées et qui précise l'ensemble des attributs utilisés dans les typologies de ménages, de personnes et de déplacements (cf. paragraphe 5.4.2.1). Cette table, dont un extrait est

présenté dans le Tableau 5.13, doit aussi préciser le nouveau secteur municipal du ménage (notion de proximité) et, nous le verrons dans le cadre de l'affectation des modes de transport, la ZAT du nouveau lieu de résidence du ménage. Le facteur de pondération d'un déplacement est supposé être le même que celui de la personne qui le réalise (facper08 selon la terminologie MTMDET).

Cette nouvelle table de données, que nous appelons « *depl_reloc* », est utilisée dans les programmes d'affectation de caractéristiques aux déplacements des personnes relocalisées et ces caractéristiques seront ajoutées dans de nouveaux attributs de la table. En parallèle, la table de données regroupant l'ensemble des déplacements a été utilisée pour générer les distributions à la base des procédures d'affectation. Cette table est référée par « *OD_depl* ».

Tableau 5.13 : Extrait de la table de données « *depl_reloc* »

Ipere (def. MTMDET)	Nolog ancrag e (id. ménage ancrage)	Noper (def. MTMDET)	Nodep (def. MTMDET)	facper08 (def. MTMDET)	Men type (cf. Tableau 5.6)	Genre (def. MTMDET)	Gpage pond. (cf. Tableau 5.7)	Motif Agrégé (cf. Tableau 5.8)	Smlog ancrage (SM ménage ancrage)	ZT08log ancrage (ZAT ménage ancrage)
24	33 162		1	1	29	colo	1	3	1	102
25	33 162		1	2	29	colo	1	3	3	102
26	33 162		2	1	29.9	colo	2	3	1	102
27	33 162		2	2	29.9	colo	2	3	3	102
32	85 154		1	1	28.42	colo	1	3	1	126
										678

5.4.2.4 Affectation d'une heure de départ

L'affectation d'une heure de départ se fait à l'aide de la macro VBA nommée « *GENERE_GRPHRED_NEW_V3()* » et dont la Figure 5.14 propose une présentation schématique sous la forme d'un organigramme algorithmique. Le point central de cette méthode repose sur la construction des distributions de groupes d'heures de départ pour les différentes typologies considérées (cf. paragraphe 5.4.2.1) dans chacun des secteurs municipaux de l'enquête OD. Dans le logiciel Excel, il est possible de générer l'ensemble des distributions utilisées à l'aide d'un tableau croisé dynamique. C'est cette méthode qui a été entreprise ici afin de créer la

table « distrib_grphred_cv2 » du Tableau 5.14, utilisée dans la macro « GENERE_GRPRED_NEW_V3() » d'affectation des groupes d'heures de départ aux déplacements des personnes relocalisées²⁰.

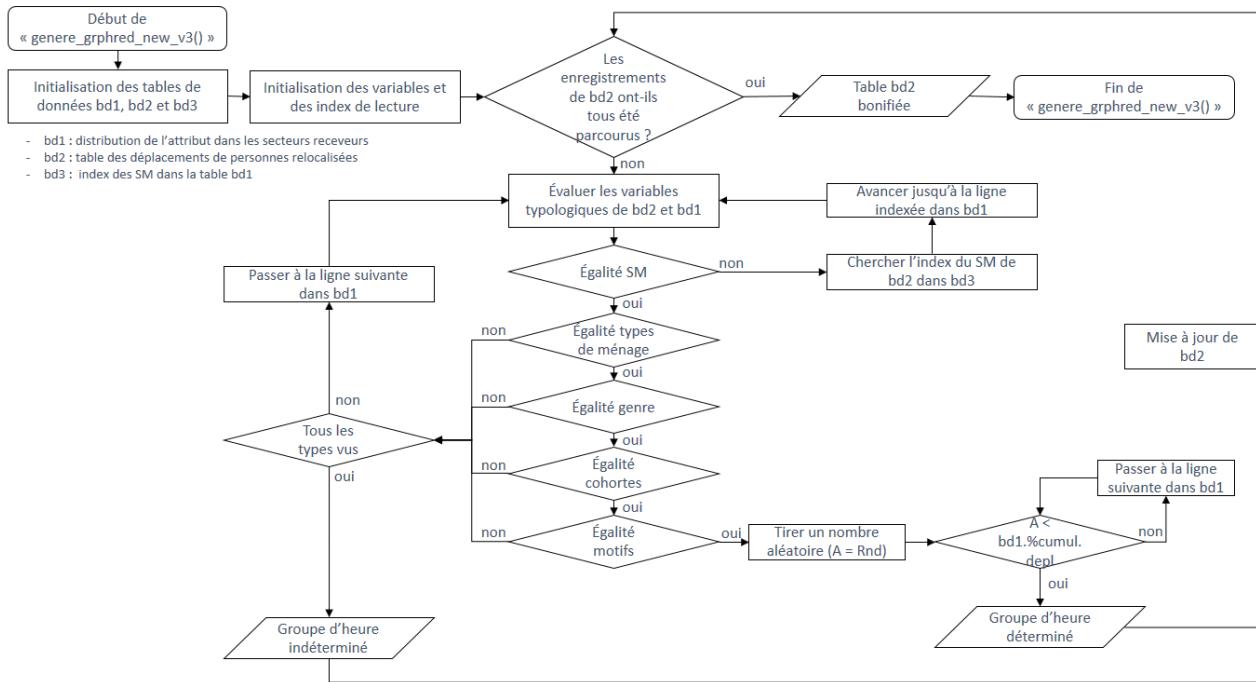


Figure 5.14 : Diagramme algorithmique de la fonction « GENERE_GRPRED_NEW() »

Une fois que cette table de données a été construite, le déroulement de la méthode est assez simple. Une première boucle parcourt les enregistrements de la table de données « depl_reloc », contenant les attributs typologiques des déplacements des personnes relocalisées (cf. Tableau 5.13) et évalue successivement le secteur de résidence, le type du ménage, le genre et le groupe d'âge de la personne et enfin, le motif du déplacement (colonnes bleues des Tableau 5.13 et Tableau 5.14). Les valeurs de ces attributs pour le déplacement de la personne relocalisée en cours de traitement dans la table de données « depl_reloc » sont recherchées successivement par un ensemble de cinq boucles imbriquées sur les cinq premières colonnes de la table « distrib_grphred_cv2 » (Tableau 5.14). Les cinq boucles tournent successivement jusqu'à ce qu'on identifie une ligne où les cinq valeurs correspondent à celles du déplacement de la personne relocalisée en court de traitement

²⁰ Remarque : les paramètres du tableau croisé dynamique pourraient être modifiés afin de générer les distributions dans un format plus conventionnel en Bases de Données que celui qui a été utilisé ici. Cela nécessiterait d'adapter le code mais il est probable qu'il en soit simplifié.

dans la table « `depl_reloc` ». Lorsque la correspondance existe, le programme a alors accès à la distribution des groupes d'heures de départ dans laquelle tirer aléatoirement selon la méthode de la transformée inverse (cf. paragraphe 2.5.1). Ces distributions sont représentées dans les colonnes jaunes du Tableau 5.14.

Tableau 5.14 : Extrait des distributions de groupes d'heures de départ (déplacements de motifs 1 à 7 réalisés par des hommes de 15 à 24 ans résidant en colocation dans le secteur receveur 101). Cette table est nommée « `distrib_grphred_cv2` » dans la macro « `GENERE_GRPRED_NEW_V3()` »

Smlog receveur (id. du SM receveur)	men_type (cf. Tableau 5.6)	Genre	grpage_pond_ code (cf. Tableau 5.7)	motifAgr (cf. Tableau 5.8)	Grphred (MTMDET)	Nb. de déplacements	Nb. dépl. pondérés	% depl. pondé.	% cumulé depl. Pondé.
101	colo	1	2	1	2 3 4	2 2 1	126.2 103 60.08	44% 36% 21%	44% 79% 100%
				Total 1		5	289.28	18%	18%
					2 4	2 1	120.16 63.1	66% 34%	66% 100%
				Total 2		3	183.26	11%	11%
					3 5 6	4 7 1	226.18 412.46 51.5	33% 60% 7%	33% 93% 100%
				Total 3		12	690.14	43%	43%
					4	5	51.5	100%	100%
				Total 4		1	51.5	3%	3%
					5	3 4 5	103 51.5 111.58	39% 19% 42%	39% 58% 100%
				Total 5		5	266.08	17%	17%
					6	2	1	63.1	100%
				Total 6		1	63.1	4%	4%
					7	(vide)	1	60.08	100%
				Total 7		1	60.08	4%	4%
				Total 2		28	1 603.44	15%	19%

Par exemple, si le déplacement en cours de traitement dans la table « `depl_reloc` » est un déplacement de motif travail (`motifAgr = 1`) réalisé par un homme (`sexe = 1`) ayant entre 15 et 24 ans (`grpage_pond_code = 2`) résidant en colocation (`men_type = colo`) et dont le ménage a été relocalisé dans le secteur central 101, alors seuls trois groupes d'heures peuvent être attribués à ce déplacement selon les trois premières lignes du Tableau 5.14 : les groupes d'heures 2, 3 ou 4. Pour ces trois groupes d'heures de départ, pour le type de déplacement, de personne et de ménage en traitement, des fréquences respectives de 44%, 36% et 21% ont été observées dans

le secteur municipal 101 pour le même motif de déplacement et des résidents similaires de l'enquête OD. Ces fréquences permettent de construire la distribution cumulée à la base de la méthode de la transformée inverse (cf. paragraphe 2.5.1).

À ce stade, la méthode « `GENERE_GRPHRED_NEV3()` » tire un nombre aléatoire entre 0 et 1 (fonction *randomize* en VBA) et attribue un groupe d'heures de départ au déplacement en cours de traitement dans la table « `depl_reloc` » en fonction du résultat du tirage. Si ce nombre est plus petit que **44%**, alors on lui attribue le groupe d'heures de départ **2**, de fréquence **44%** (voir Tableau 5.14). Si ce nombre est compris entre **44%** et **79%**, alors ce sera le groupe d'heures **3**, de fréquence **36%**, qui sera attribué au déplacement. Enfin, si ce nombre est plus grand que **79%**, on attribuera le groupe d'heures de départ **4**, de fréquence **21%**. De même, si on s'intéressait à un déplacement de motif étude (*motifAgr* = 2) pour la même personne relocalisée, on aurait le choix entre le groupe d'heures de départ 3 et le groupe d'heures de départ 4. En tirant un nombre aléatoire inférieur à 66%, on attribuerait la valeur 3, sinon ce serait la valeur 4 qui serait attribuée au déplacement en court de traitement. Pour un motif autre (*motifAgr* = 6) il n'y aurait pas de choix puisque seul le groupe d'heures de départ 2 a été observé selon les cinq contraintes typologiques.

5.4.2.5 Affectation d'une zone de destination

L'affectation d'une zone de destination se fait essentiellement sur le même principe que celui qui a été détaillé dans le paragraphe précédent pour les groupes d'heures de départ. Après avoir lancé la procédure d'affectation des ZAT de destination sur l'ensemble des déplacements de la table « `depl_reloc` », il faut corriger celle des déplacements dont le motif est le retour au domicile. Pour ces derniers (*MotifAgr* = 3), c'est l'attribut *ZT08log* (cf. Tableau 5.13) qui remplace la valeur calculée par la macro « `GENERE_ZT08_DEST_NEV()` » (diagramme en Figure 5.15).

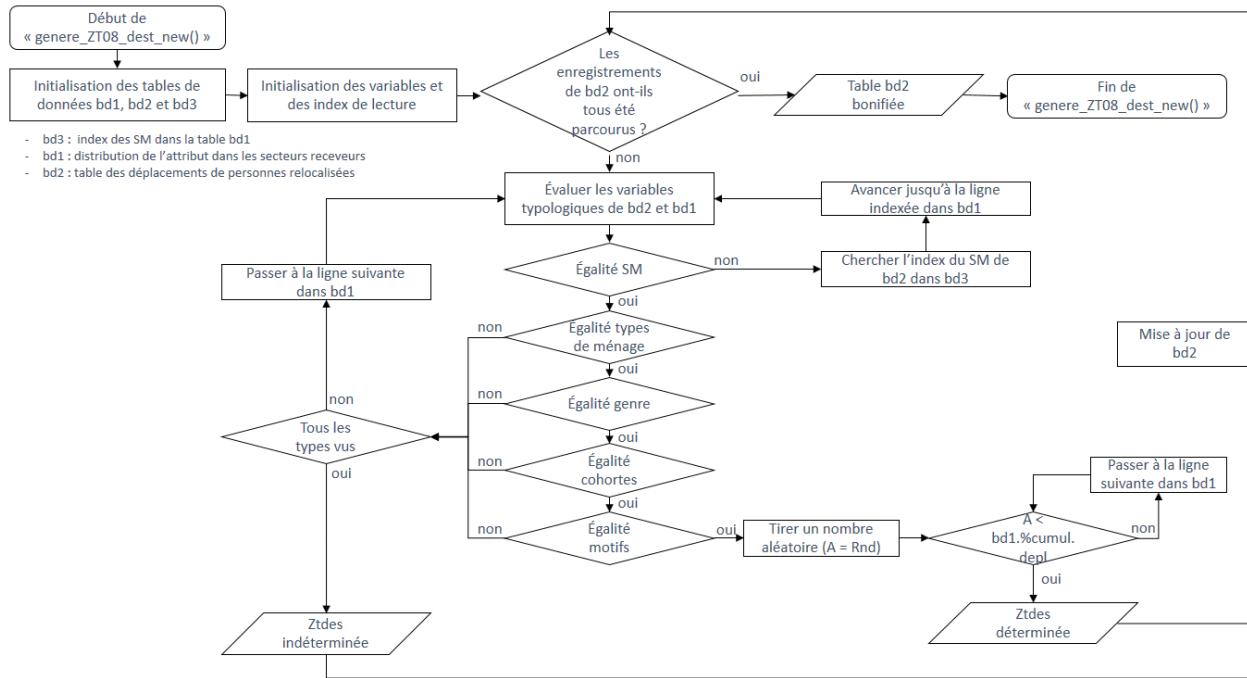


Figure 5.15 : Diagramme algorithmique de la fonction « GENERE_ZT08_DEST_NEW() »

5.4.2.6 Affectation d'un mode de transport

L'objectif de ce troisième algorithme d'affectation est d'attribuer un mode de transport à chaque déplacement de la table « depl_reloc » (Tableau 5.13). L'algorithme « GENERE_MODEU_NEW() » (Figure 5.16) attribue une classe de mode à chacun des déplacements plutôt que de leur attribuer une succession de plusieurs modes, tel que c'est le cas pour les déplacements de la base de données de l'enquête OD de 2008. Le Tableau 5.15 présente l'ensemble des classes modales qui agrègent les séquences de modes de transport déclarées dans l'enquête OD. Ces classes sont une agrégation de l'information décrivant les modes de transport utilisés pour chaque déplacement.

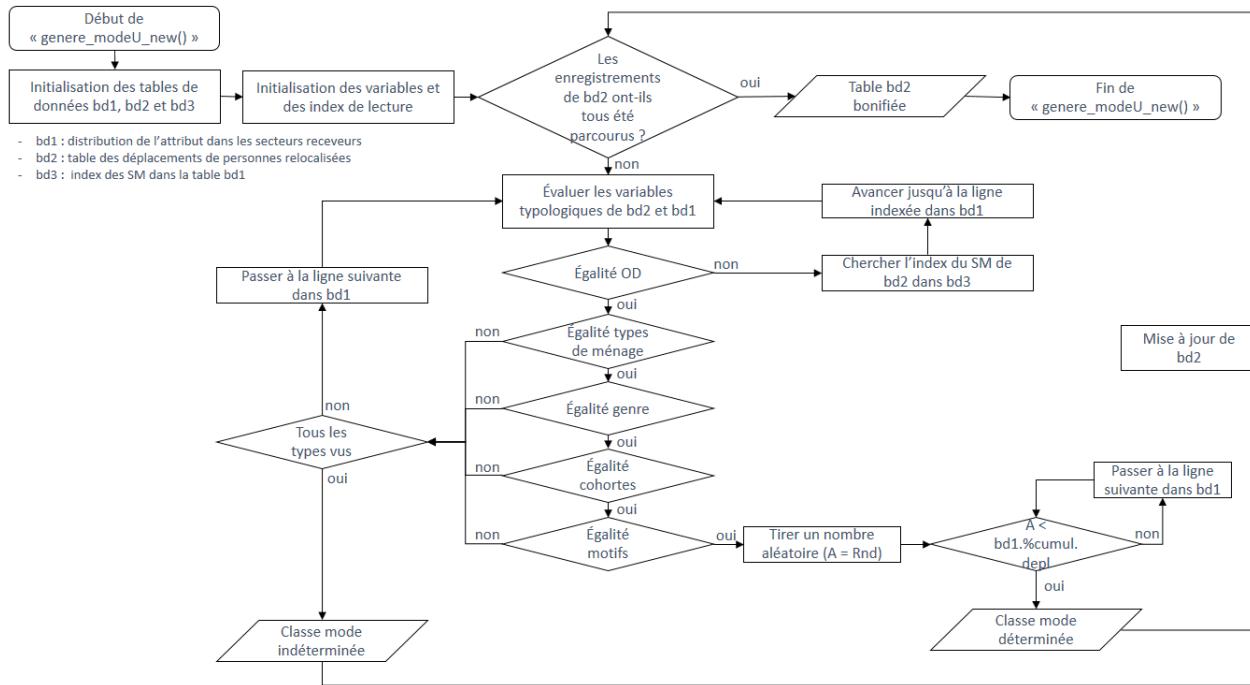


Figure 5.16 : Diagramme algorithmique de la fonction « GENERE_MODEU_NEW() »

Tableau 5.15 : Typologie de modes de transports relatifs à une paire Origine-Destination (prise en compte de l'ensemble des modes déclarés : mode1 à mode10 selon la terminologie du MTMDET)

ModeU (Mode de transport agrégé)	Définition du mode de transport agrégé	Nb. de déplacements enregistrés	% de déplacements enregistrés
AC	Auto-Conducteur	167 806	47.28%
AJ	Autre-Jonction	2 119	0.60%
AP	Auto-Passager	41 894	11.80%
BS	Bus-Scolaire	15 597	4.39%
KR	Kiss-and-Ride	1 911	0.54%
MV	Marche-Vélo	39 387	11.10%
ND	Non défini	1 106	0.31%
PR	Park-and-Ride	3 579	1.01%
SD	Sans déplacement	34 966	9.85%
TC	Transport-Collectif	46 550	13.12%
Total général		354 915	100.00%

À partir de là, le déroulement de l'algorithme est sensiblement le même que pour l'affectation des groupes d'heures de départ et des zones de destination si ce n'est que l'on ne considère plus le secteur municipal de résidence de la personne qui réalise le déplacement, mais plutôt la paire Origine-Destination (OD) du déplacement auquel on cherche à attribuer un mode. Les différentes

distributions de modes de transport sont donc relatives à une paire OD particulière, à un type de ménage donné et aux caractéristiques de la personne (genre et groupe d'âge).

Les paires OD des déplacements réalisés par des personnes vivant dans des secteurs receveurs (pour la construction des distributions) sont directement extraites de la base de données de l'enquête OD de 2008. Ces paires OD sont agrégées en secteurs municipaux (smori_smdes, agrégation des attributs du MTMDET). Pour les paires OD des déplacements des personnes relocalisées, un travail supplémentaire doit être réalisé. Connaissant la zone de destination de chaque déplacement et le numéro du déplacement dans la chaîne (Nodep selon la terminologie du MTMDET), on obtient la zone d'origine selon les hypothèses suivantes :

- Si le déplacement considéré est le premier déplacement réalisé par la personne (nodep = 1) alors la zone d'origine est prise égale à la zone de résidence²¹ ;
- Si le déplacement considéré n'est pas le premier déplacement réalisé par la personne, alors la zone d'origine est prise égale à la zone de destination du déplacement précédent.

La première hypothèse est simplificatrice. Il arrive en effet que l'origine du premier déplacement ne soit pas le domicile. Cela permet d'obtenir les nouvelles paires OD des déplacements des personnes relocalisées. Ce sont ces nouvelles paires OD qui sont d'abord évaluées dans la procédure d'affectation d'un mode de transport. À partir d'ici, la méthode de tirage des classes de modes est identique à celle des groupes d'heures de départ et de zones de destination présentées dans les sections précédentes.

5.4.2.7 Organigramme synthèse de l'algorithme de la deuxième approche de mimétisme

L'organigramme algorithmique présenté en Figure 5.17 synthétise la procédure d'adoption d'un comportement de mobilité par la deuxième approche de mimétisme qui a été expérimentée. Les étapes principales sont réalisées par l'appel des fonctions qui procèdent à l'affectation d'un groupe d'heures de départ, d'une ZAT de destination et d'une classe de mode de transport pour chacun des déplacements des personnes relocalisées depuis la périphérie vers un secteur central. Ces trois fonctions ont été présentées dans les sections précédentes. En préalable à l'appel de ces fonctions,

²¹ Cette hypothèse n'est pas vérifiée sur l'ensemble de données de l'enquête OD.

il est nécessaire de préparer les données selon les typologies de ménages, de personnes et de déplacements qui ont été présentées dans les sections précédentes et de générer les différentes distributions à la base des tirages aléatoires successifs. En particulier, il faut constater que la fonction d'affectation d'un mode de transport se base sur les résultats préalables de la fonction qui affecte une ZAT de destination aux déplacements des personnes relocalisées.

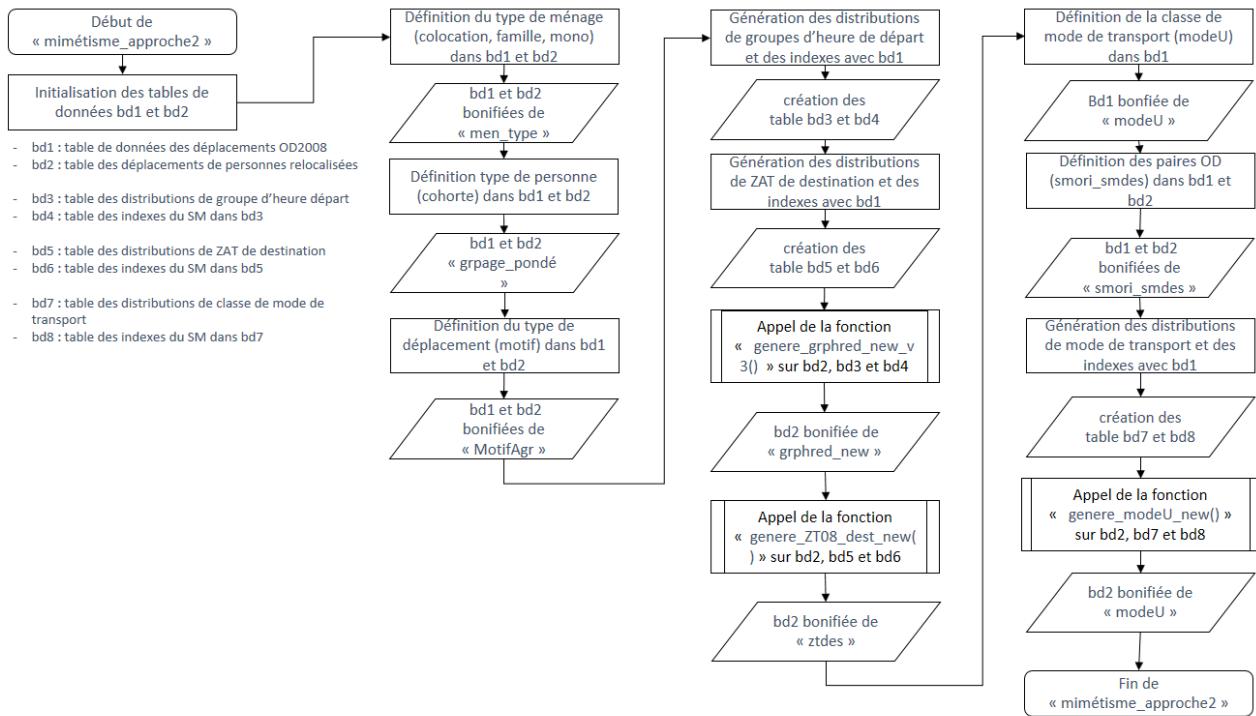


Figure 5.17 : Diagramme algorithmique de la fonction « MIMETISME_APPROCHE2 » ; synthèse de l'algorithme d'implémentation d'adoption d'un comportement de mobilité par la deuxième approche de mimétisme

5.5 Conclusion du CHAPITRE 5

Ce chapitre a présenté la deuxième méthode de modélisation qui a été envisagée pour simuler une densification résidentielle orientée vers le centre-ville de Montréal dans le cadre de notre participation au projet de recherche décrit dans la section 1.4. Contrairement à la méthode préliminaire du CHAPITRE 4, cette nouvelle approche a l'avantage d'être plus transparente sur les hypothèses de simulation et les variables qui entrent en ligne de compte. À la différence de la première méthode, nous avons choisi de baser la formulation de cibles de densité sur une

perspective ménage, plutôt que sur les personnes. Le tirage aléatoire de diverses composantes a été une constante dans les diverses méthodes exposées dans ce chapitre.

La dernière étape, d'adoption d'un comportement de mobilité, est probablement la contribution la plus originale de cette approche de modélisation. Deux possibilités ont été envisagées. La première méthode repose sur la sélection aléatoire d'un ménage cible, puis d'une personne cible servant de modèle pour l'ensemble des déplacements d'une personne similaire relocalisée à proximité. Dans la seconde approche, nous choisissons de conserver les caractéristiques essentielles des déplacements relocalisés, à savoir le nombre de déplacements ainsi que leurs motifs ; seuls les heures de départ, la zones de destination et les modes de transport sont mimés dans la population des secteurs receveurs.

D'une manière générale cette nouvelle approche semble plus avancée que la méthode préliminaire exposée dans le chapitre précédent et offre la perspective d'une modélisation plus proche des réalités en jeu dans les choix de localisation des ménages et plus ouverte dans le sens où les hypothèses sur les comportements de mobilité pourraient être modifiées selon les besoins et les connaissances disponibles. La principale difficulté de cette approche est qu'il faut choisir les variables les plus pertinentes pour la construction des typologies de ménages, de personnes et de déplacements et justifier le choix de simuler ou de conserver une variable particulière pour les déplacements des personnes relocalisées. Il serait pertinent d'évaluer les hypothèses qui ont été formulées dans ce cadre et de tester quelques alternatives à celle que nous avons proposée.

Dans le chapitre suivant, nous choisissons d'aborder un dernier aspect de modélisation en proposant une alternative à la formulation de cibles de densité théoriques, comme cela était le cas jusqu'ici. Nous proposerons ainsi de simuler un scénario basé sur les objectifs de densité du PMAD tout en appliquant les préceptes de modélisation que nous avons déjà présentés.

CHAPITRE 6 SPÉCIFICATION EXOGÈNE DES CIBLES DE DENSITÉ ET SCÉNARIO DE DENSIFICATION RÉSIDENTIELLE ALIMENTÉ PAR LES POLITIQUES D'AMÉNAGEMENT

L'objet de ce sixième chapitre s'inscrit dans le cadre du développement méthodologique amorcé par le biais des approches décrites dans les CHAPITRE 4 et CHAPITRE 5. Comme nous l'avons vu au CHAPITRE 3, l'ensemble des méthodes implémentées s'appuie sur la succession de trois étapes principales que sont la définition de cibles de densité par secteur municipal (étape 1), la relocalisation de la population (étape 2) et l'adoption d'un comportement de mobilité (étape 3). Dans le cas des méthodes précédentes, les cibles de densité de personnes, ou de ménages, par secteur municipal de l'enquête OD de 2008, ont été générées en se basant sur une perturbation théorique du modèle de Bussière, visant à augmenter le gradient de densité en direction du centre-ville de Montréal. Si le niveau de perturbation retenu a été choisi de façon arbitraire, cela n'était pas incohérent avec l'objectif majeur de notre contribution qui relève du développement méthodologique.

À la vue des résultats préliminaires relatifs aux différentes approches présentées jusqu'ici, il a été jugé que l'approche du CHAPITRE 5, basée sur une relocalisation des ménages par sélection aléatoire et sur l'adoption de comportements de mobilité par mimétisme, était assez développée pour chercher à l'adapter dans l'optique d'une simulation plus reliée aux objectifs métropolitains d'aménagement. Ces objectifs sont présentés dans le PMAD (CMM, 2011) où l'on relève l'ambition d'orienter le développement résidentiel de la métropole dans la proximité des principaux nœuds de transport collectif. Après avoir identifié un ensemble de nœuds supposés appartenir au réseau structurant de transport en commun, la CMM (2011) définit un niveau de densité minimal pour les nouvelles constructions dans un rayon de 1000m ou 500m autour des stations selon qu'il s'agit de stations de métro, de train ou de bus. Ces zones, centrées sur les stations de transport collectif, sont nommées « zones TOD ». La méthode de simulation que nous proposons de décrire dans ce chapitre s'appuie sur les seuils exprimés dans le document de planification de la (CMM, 2011) en supposant un cas de renouvellement urbain extrême où les densités cibles seraient atteintes dans l'ensemble des zones TOD. Ceci nous a semblé acceptable dans le contexte d'une première approche de simulation basée sur les documents de planification. L'avantage principal de

cette approche sera d'amplifier les impacts de la politique de densification pour contraster l'évaluation du scénario.

6.1 Méthodologie spécifique

Comme pour les méthodes précédentes (CHAPITRE 4 et CHAPITRE 5), la simulation d'une densification résidentielle est réalisée en trois temps, schématisés dans le diagramme méthodologique de la Figure 6.1 (encadrés bleus). Le schéma de la Figure 6.1 permet d'apprécier la spécificité de la méthode de simulation développée dans ce chapitre au regard de la méthodologie générale du CHAPITRE 3 (encadrés orange).

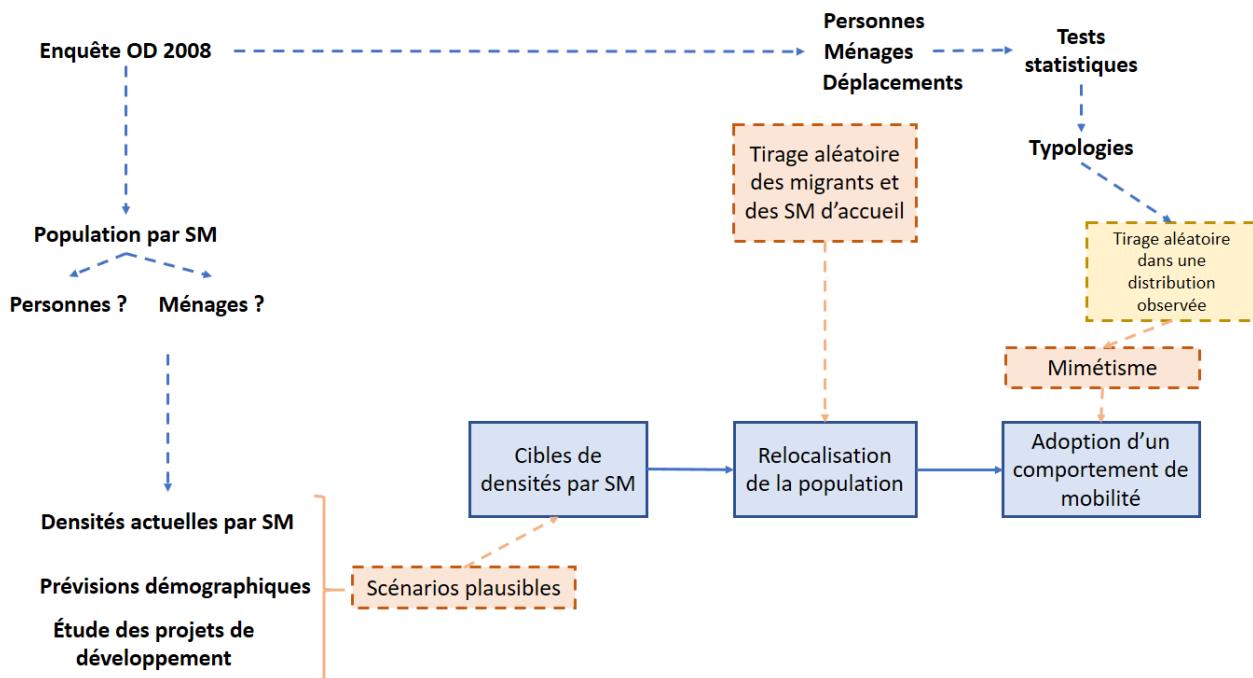


Figure 6.1 : Schéma méthodologique d'une simulation de densification résidentielle orientée vers les nœuds de transport collectif basé sur l'étude des projets de développement de l'agglomération

Dans le cadre de ce chapitre, les deux dernières étapes (relocalisation et adoption d'un comportement de mobilité) sont implémentées de façon identique à la dernière méthode envisagée dans le développement du CHAPITRE 5. Ainsi, la relocalisation de la population (Figure 6.1, encadré bleu du milieu) est réalisée en sélectionnant aléatoirement des ménages à relocaliser dans les secteurs périphériques et en leur attribuant un nouveau secteur municipal de résidence sur la base d'un tirage aléatoire qui respecte les contraintes de densités exprimées lors de la première

étape du modèle (cibles de densité par SM). Cette étape repose sur la notion de « surplus de ménages », de la même façon que ce qui a été présenté dans la section 5.3 du chapitre précédent. Seules les valeurs des différentes tables de données doivent être mises à jour pour redéfinir les secteurs périphériques et centraux et leurs surplus respectifs, en accord avec les cibles de densité de ménages (paragraphe 6.2).

Pour l'étape d'adoption d'un comportement de mobilité (Figure 6.1, encadré bleu à droite), nous nous baserons sur la deuxième approche de mimétisme qui a été étudiée (paragraphe 5.4.2) puisque c'est la méthode qui a été jugée la plus cohérente dans notre cheminement jusqu'à ce stade. Cette méthode s'appuie sur le tirage aléatoire d'un ensemble de caractéristiques liées aux déplacements des personnes dont le ménage a été relocalisé. Ces personnes conserveront le nombre et les motifs de leurs déplacements mais adapteront leurs horaires, leurs lieux d'activité et leurs modes de transport en adoptant des caractéristiques probables selon les statistiques disponibles dans la proximité de leur nouveau lieu de résidence. L'affectation d'un attribut pour les déplacements des personnes relocalisées s'appuie sur la méthode de la transformée inverse, présentée dans la section 2.5, de façon similaire aux affectations décrites dans la partie 5.4.2 du chapitre précédent.

6.2 Cibles de densité de ménages

Le propre de cette section est de proposer une alternative à la définition de cibles de densité de ménages qui avait été élaborée dans le cadre des développements méthodologiques exposés dans les CHAPITRE 4 et CHAPITRE 5. Comme nous l'avons déjà exprimé en introduction de ce chapitre, notre objectif consistera ici à implémenter la stratégie de développement résidentiel exprimée par la CMM (2011) dans le PMAD. Nous nous appuyons principalement sur la carte 7 et le tableau 11 de ce document de planification, relatifs au critère 1.1.2 (page 86), qui définissent la notion de seuils minimaux de densité résidentielle aux abords de nœuds de transport collectif structurants.

6.2.1 Hypothèses de simulation du PMAD

Le fichier géomatique des nœuds structurants du réseau, contenant les seuils de densité résidentielle de chacune des zones TOD, peut être téléchargé sur le site internet de la CMM et importé dans un logiciel de SIG. Pour simplifier notre étude, seuls les nœuds structurants relatifs aux stations de métro ou de trains de banlieue existants ont été conservés dans le fichier de la CMM (125 nœuds

sur 156 au total, zones TOD de 1000 m de diamètre dans tous les cas). Cela a permis de générer la carte de la Figure 6.2, qui représente l'ensemble des zones TOD considérées en fonction des seuils de densité minimaux exprimés dans le PMAD et de segmenter les secteurs municipaux de l'enquête OD 2008 selon qu'ils contiennent, ou non, une station de métro ou de train identifiée comme le centre d'une zone TOD. La segmentation des secteurs municipaux selon la présence de TOD conduit à 53 secteurs périphériques (secteurs donneurs selon la terminologie de modélisation employée dans les CHAPITRE 4 et CHAPITRE 5, en vert sur la carte de la Figure 6.2) et 55 secteurs contenant au moins une zone TOD (secteurs receveurs selon la terminologie de modélisation employée dans les CHAPITRE 4 et CHAPITRE 5, en bleu sur la carte de la Figure 6.2).

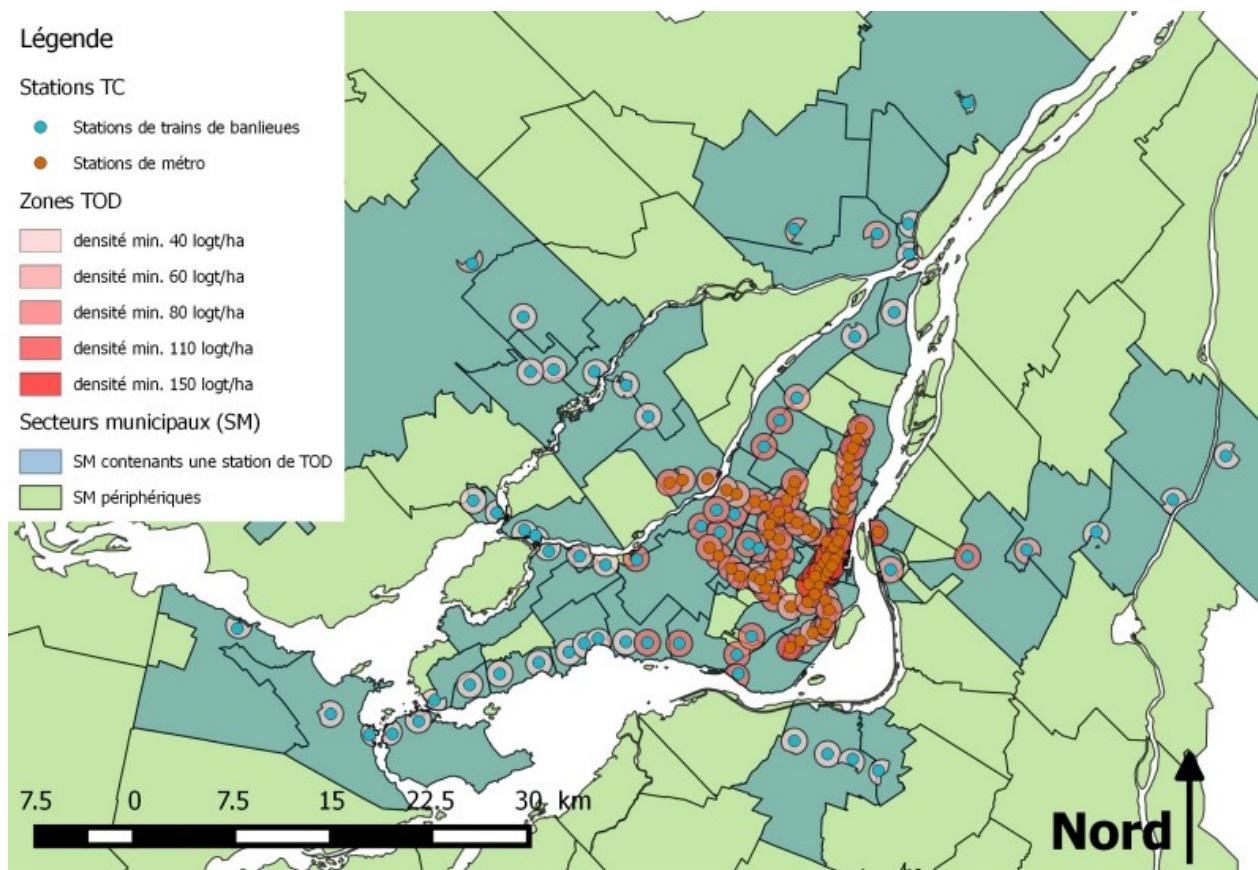


Figure 6.2 : Cartographie des zones TOD par densité minimale de logements à l'hectare et segmentation des secteurs municipaux selon la présence de stations de train ou de métro

Dans le PMAD, les seuils de densité résidentielle minimaux pour les nouvelles constructions sont exprimés en logements par hectare (logt/ha). Dans la perspective de notre modèle, il a été supposé

qu'un logement était toujours occupé par un seul ménage. Nous supposons donc que les densités de logement ou de ménages sont identiques. À l'instar de la terminologie employée plus en amont de ce rapport, nous considérons ici que tous les ménages relocalisés proviennent d'un secteur périphérique (au sens de la Figure 6.2) et emménagent dans un secteur central, contenant une station de TOD. Cette hypothèse permet de segmenter les données relatives aux ménages en deux, selon que le ménage réside initialement dans un secteur périphérique, ou bien qu'il réside dans un secteur contenant une ou plusieurs zones TOD.

À ce stade, tous les attributs des secteurs municipaux présentés dans le Tableau 6.1 ont déjà été déterminés. En particulier, l'extrait des données rapportées dans ce tableau permet d'apprécier l'écart significatif entre les densités de ménages dans l'ensemble des secteurs centraux 101, 102, 103, 104 et 105 et les seuils minimaux de densité résidentielle prévus pour les nouveaux projets de construction à l'intérieur des périmètres TOD pour ces secteurs. Une hypothèse qui consisterait à appliquer les seuils de densité minimale de logements nouveaux à construire à l'ensemble des secteurs centraux (contenant une station TOD) serait beaucoup trop forte et il n'y aurait pas assez de ménages disponibles dans les secteurs périphériques pour chercher à simuler un tel scénario de forme urbaine avec la population actuelle. Après avoir constaté ce décalage au cours d'expérimentations préliminaires, il nous est apparu nécessaire de prendre en compte les surfaces des aires TOD définies dans le PMAD pour finalement augmenter la densité des secteurs contenant des TOD d'autant de ménages qui pourraient y être théoriquement implantés. Ceci suppose que l'ensemble des logements existants ne soient pas pris en compte et que leur densité soit aussi fixée au seuil de densité minimal prévu dans le PMAD.

Tableau 6.1 : Caractéristiques des secteurs municipaux liés à la présence de zones TOD et densité de ménages selon les données de l'enquête OD de 2008.

Secteur municipal (SM)	Seuil de densité min. pour nouvelles constructions dans les TOD entre 2011 et 2031 (logt/ha)	Aire du SM (ha)	Popmen1 (population de ménages en 2008 avant relocalisation)	Popmen1/ha (densité de ménages par hectare en 2008 avant relocalisation)
101	150	360	7 051	20
102	150	927	33 822	36
103	80	1 349	32 924	24

Cette dernière hypothèse reste encore très forte puisque les capacités d'accueil des territoires délimités dans les zones TOD sont limitées par les constructions existantes. En cherchant à définir les cibles de densité par secteur municipal en remplissant les zones TOD à hauteur du seuil défini pour les nouvelles constructions dans le PMAD, nous avons observé que les volumes de ménages à relocaliser étaient trop importants au regard de la population de ménages effective dans la Grande Région de Montréal. Après plusieurs expérimentations, nous avons convenu qu'il serait judicieux de retenir un seuil égal à la moitié des objectifs du PMAD pour chacune des zones TOD. L'idée de réduire la densité appliquée à l'ensemble des zones TOD n'est pas incohérente d'un point de vue pratique puisqu'il faut de toute façon réduire la surface des TOD dédiée aux infrastructures et aux aménagements divers (voirie, parcs, commerces, bâtiments publics, etc.). En même temps, même si le facteur $\frac{1}{2}$ que nous avons appliqué à l'ensemble des densités exprimées dans le PMAD est arbitraire et ne tient pas compte des proportions réelles de bâti résidentiel par rapport aux différentes infrastructures, celui-ci semble judicieux dans la perspective d'un développement méthodologique reposant sur une amplification des phénomènes.

En choisissant d'imposer des densités égales à la moitié des densités exprimées dans le PMAD pour les nouvelles constructions, on se place approximativement dans la situation la plus extrême qui puisse être simulée en modifiant les lieux de résidence des ménages enregistrés dans l'enquête OD de 2008. Avec un facteur plus important que $1/2$, on observe que le nombre de ménages à relocaliser depuis les secteurs périphériques vers les secteurs centraux est supérieur à la population de ménages de l'ensemble des secteurs périphériques.

6.2.2 Calcul des surplus de ménages dans les secteurs receveurs

Dans le cadre de ce modèle basé sur les objectifs du PMAD, en termes de densités minimales de logements à proximité des nœuds structurants du réseau de transport collectif, les secteurs receveurs (terminologie des CHAPITRE 4 et CHAPITRE 5) sont les secteurs municipaux qui contiennent au moins un nœud de transport identifié à la Figure 6.2 du paragraphe précédent.

Comme nous l'avons mentionné à la section 6.2.1, l'objectif est d'augmenter la population de ménages de ces secteurs en se basant sur les seuils de densité minimaux prévus par le PMAD pour les nouvelles constructions, en supposant, en première approximation, que la moitié des aires TOD puissent être développées ou réhabilitées à ces niveaux de densité. Cela revient à diviser les seuils de densités de logements par deux dans notre modèle. Par exemple, si les seuils de densité minimale

pour les TOD des secteurs 101 et 102 sont de 150 logements par hectare pour les nouvelles constructions (Tableau 6.1), nous chercherons à ajouter un certain nombre de ménages de façon à garantir que la densité moyenne de ménages dans chacun des TOD des secteurs 101 et 102 soit de 75 logements par hectare (Tableau 6.2).

Tableau 6.2 : Définition des densités cibles dans les TOD et calcul des aires cumulées de zones TOD dans les secteurs municipaux (extrait de données)

Secteur municipal (SM)	Seuil de densité min. dans les TOD (logt/ha)	Densité cible moyenne dans les TOD (seuil/2) (logt/ha)	Aire du SM (ha)	Popmen1 (population de ménages avant relocalisation)	Popmen1/ha (densité de ménages par hectares avant relocalisation)	Nombre de zones TOD dans le SM	Aire cumulée des zones TOD dans le SM (ha)	Test si l'aire cumulée des zones TOD dépasse l'aire du SM
101	150	75	360	7 051	20	10	3 142	VRAI
102	150	75	927	33 822	36	4	1 257	VRAI
103	80	40	1 349	32 924	24	7	2 199	VRAI
104	60	30	1 072	30 557	28	3	942	FAUX
105	80	40	1 573	45 014	29	8	2 513	VRAI

Pour calculer les cibles de densité de ménages à appliquer dans chacun des secteurs municipaux selon les hypothèses de calcul précédentes, il a fallu évaluer l'aire cumulée de TOD dans chacun des secteurs municipaux. Il est à noter que ces aires ont été surestimées dans ce que nous présentons ici. Si leur réévaluation est souhaitable dans l'optique d'une conformité aux hypothèses annoncées dans la section 6.2.1, celle-ci n'a pas pu être réalisée par nos soins dans ce projet. Cette surestimation des surfaces TOD est due à une superposition de certains périmètres identifiés comme TOD, conduisant à environ 15% de surface excédentaire au total, soit un peu plus de 4000 hectares de TOD excédentaires. On peut se contenter de cette surestimation en considérant qu'elle ira de toute façon dans le sens d'une amplification du scénario, que nous recherchons de façon constante dans ce mémoire axé davantage sur le développement méthodologique et la recherche de tendances macroscopiques que sur la simulation précise des plans d'aménagement. Dans notre cas, les surfaces de TOD s'obtiennent en considérant simplement le nombre de stations de TOD dans

les secteurs municipaux. Si cette surface est supérieure à celle du secteur municipal considéré, alors on prend une aire TOD égale à la surface du secteur²².

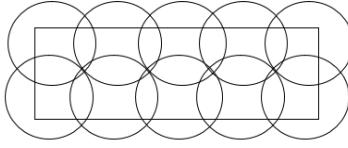
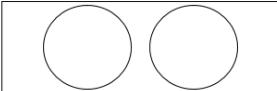
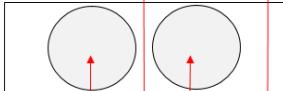
	Présence d'une zone ou plusieurs zones TOD dans le secteur ?	Densification à l'intérieur des zones TOD
Secteur complètement recouvert par des zones TOD <u>exemple</u> : le secteur municipal 101 qui contient 10 zones TOD malgré sa petite superficie		
Secteur partiellement recouvert par des zones TOD <u>exemple</u> : le secteur municipal 104 qui contient 3 zones TOD malgré sa petite superficie		
Secteur qui ne contient aucune zone TOD <u>exemple</u> : le secteur municipal 662		

Figure 6.3 : Recouvrement des secteurs municipaux par les zones TOD et mouvement de migration des ménages (flèches rouges)

À partir de là, le nombre de ménages dans chacun des secteurs municipaux s'obtient en appliquant aux surfaces TOD nettes la moitié de la densité de logements prévue pour les nouvelles constructions dans le PMAD et en conservant la densité initiale dans le reste du secteur municipal (à l'extérieur des périmètres TOD). Par exemple (voir Tableau 6.2), pour le secteur 103, avec un seuil de densité minimal de 80 pour les nouveaux logements dans les zones TOD, on calcule le nombre de ménages pour une densité de 40 ménages par hectare sur l'ensemble du secteur puisque les zones TOD recouvrent complètement le secteur. Pour le secteur 104, avec un seuil de densité minimal de 60 sur les zones TOD, on calcule le nombre de ménages pour une densité de 30 dans la surface recouverte par les TOD (942 ha) et on conserve la densité actuelle dans le reste du secteur

²² Cette considération a pour effet de considérablement limiter l'impact des superpositions de zones TOD, puisque celle-ci concernent surtout les secteurs centraux, qui sont largement recouverts par des périmètres TOD.

(soit une densité de 28 ménages par hectare sur les 130 hectares non considérés comme des zones TOD dans le PMAD). Le schéma de la Figure 6.3 présente les différents cas de figure considérés pour la répartition des zones TOD dans les secteurs municipaux, ainsi que le mouvement de relocalisation des ménages depuis les secteurs périphériques vers les secteurs contenant des zones TOD. Il faut aussi s'assurer que la population de ménages ne diminue pas dans chacun des secteurs identifiés comme des secteurs à densifier. Si ce n'est pas le cas, on conserve la population de ménages du secteur préalable au calcul des surplus (exemple du secteur 106 : Plateau Mont-Royal). En sommant l'ensemble des suppléments de ménages attendus dans les zones TOD, on obtient un total de 539 295 ménages à relocaliser depuis les secteurs périphériques. Sachant que le nombre de ménages dans ces secteurs est de 568 661 selon les données de l'enquête OD de 2008, ce chiffre confirme que nous sommes dans le scénario le plus extrême pouvant être simulé en se basant sur les données de 2008, comme nous l'avons expliqué à la section 6.2.1 précédente pour justifier le choix d'une densité cible égale à la moitié des seuils de densité de logement prévus dans le PMAD.

6.2.3 Calcul des surplus de ménage dans les secteurs donneurs

Après avoir déterminé le nombre de ménages à relocaliser dans les secteurs receveurs selon les préceptes exposés dans le paragraphe précédent, il reste, en dernier lieu, à choisir une façon de prélever ces ménages dans l'ensemble des secteurs donneurs périphériques. La méthode qui a été retenue consiste à prélever dans chaque secteur donneur un nombre de ménages au *prorata* du nombre de ménages qu'il contient selon les données de l'enquête OD de 2008. On s'assure ainsi de conserver les proportions de l'ensemble des ménages dans tous les secteurs périphériques. Le Tableau 6.3 présente un extrait du tableau de calcul du nombre de ménages à prélever dans les secteurs périphériques pour remplir les secteurs receveurs aux niveaux définis dans la section 6.2.2 précédente. Dans celui-ci, les valeurs correspondent à l'opposé des surplus, selon la terminologie des CHAPITRE 4 et CHAPITRE 5. Ces valeurs sont à la base de l'algorithme de relocalisation des ménages par sélection aléatoire.

Tableau 6.3 : Extrait du calcul du nombre de ménages à prélever dans les secteurs donneurs en vue de remplir les secteurs receveurs aux niveaux relatifs à la modélisation du PMAD

Sect. munic. (SM)	% de l'ensemble des ménages dans le SM	Nombre de ménages à relocaliser dans le secteur receveur (#Nas si SM donneur)	Segmentation des SM (donneur = 1)	Population de ménages dans les secteurs donneurs	% population de ménages dans les secteurs donneurs	Supplément de ménages pour chaque SM (opposé du surplus) : prélèvement proportionnel dans les secteurs donneurs
101	0.40%	19 900	0	-	0.00%	19 900
102	2.00%	35 700	0	-	0.00%	35 700
106	2.90%	-	0	-	0.00%	-
122	0.50%	#N/A	1	8 700	1.53%	- 8 250
121	0.60%	4 720	0	-	0.00%	4 720
301	1.10%	10 100	0	-	0.00%	10 100
305	0.20%	#N/A	1	2 690	0.47%	- 2 550
107	3.60%	-	0	-	0.00%	-
127	2.00%	6 640	0	-	0.00%	6 640
110	3.00%	#N/A	1	48 900	8.59%	- 46 300
104	1.80%	1 420	0	-	0.00%	1 420
123	0.20%	#N/A	1	2 530	0.44%	- 2 390
120	0.40%	23 700	0	-	0.00%	23 700
124	0.80%	#N/A	1	13 400	2.36%	- 12 700
303	0.80%	#N/A	1	13 500	2.37%	- 12 800

6.2.4 Mise à jour de la table de données des surplus par secteur municipal

En se basant sur les calculs précédents, il est possible de générer une table de données synthétique qui contient les surplus de ménages dans l'ensemble des secteurs municipaux de l'enquête OD de 2008. Cette table de donnée est utilisée en entrée du modèle de relocalisation de la population de ménages par sélection aléatoire des migrants et des secteurs municipaux d'accueil, abordé à la section suivante.

6.3 Relocalisation de la population de ménages par sélection aléatoire

La relocalisation des ménages se fait selon la procédure détaillée dans le paragraphe 5.3 du chapitre précédent. La seule étape préliminaire à la procédure de relocalisation des ménages dans le cadre d'une simulation basée sur le PMAD consiste à mettre à jour les différentes tables de données présentées à la section 5.3.1. Celles-ci sont actualisées à l'aide de la table de données qui précise les surplus de chaque secteur municipal selon la densification orientée vers les TOD (paragraphe 6.2.4) et des données de l'enquête OD de 2008 relatives aux ménages.

Dès que les tables de données sources ont été actualisées, il suffit d'appliquer l'algorithme synthétisé dans l'organigramme du paragraphe 5.3.5. Les résultats de la procédure de relocalisation sont synthétisés dans une table de données qui précise, pour chaque ménage relocalisé les attributs suivant :

- **Nolog** : identifiant du ménage relocalisé ;
- **Facmen** : facteur de pondération du ménage relocalisé ;
- **Alea** : classement aléatoire du ménage (utilisé pour l'affectation d'un secteur de domicile) ;
- **Smlog_new** : nouveau secteur de domicile du ménage relocalisé ;
- **Nolog_typo_code_2** : code typologique du ménage relocalisé (identique au code généré dans la méthode du CHAPITRE 5).

6.4 Adoption d'un comportement de mobilité par mimétisme

Suite aux relocalisations des ménages depuis les secteurs périphériques vers les secteurs contenant des zones TOD, l'adoption d'un comportement de mobilité se fait ici selon la deuxième approche de mimétisme envisagée dans le développement du chapitre précédent (section 5.4.2). L'utilisation des algorithmes précédents demande seulement de mettre à jour les différentes tables de données sources. Une nouvelle table de données « *depl_reloc* » (déplacements des personnes relocalisées, avec le motif et les différents attributs typologiques) est générée pour les déplacements des personnes vivant dans les ménages relocalisés selon les recommandations du paragraphe 6.3 et à la manière de ce qui a été présenté à la section 5.4.2.3. Les différentes distributions utilisées dans les algorithmes d'affectation doivent aussi être mises à jour puisque les secteurs receveurs ne sont plus les mêmes que dans la méthode de densification orientée vers le centre-ville de Montréal.

Suite à la mise à jour des tables de données précédentes, il suffit d'appliquer successivement les trois algorithmes d'affectation présentés dans le chapitre précédent. Le résultat de l'appel de ces trois algorithmes d'affectation a pour conséquence une bonification de la table de données « *depl_reloc* » des déplacements des personnes relocalisées, avec un nouveau groupe d'heure de départ, une nouvelle ZAT de destination et d'origine et une nouvelle classe de mode de transport. Cette table de données peut ensuite être utilisée pour générer des résultats préliminaires relatifs à la simulation d'une densification résidentielle orientée vers les TOD selon notre interprétation du PMAD. Quelques-uns de ces résultats sont proposés dans le chapitre suivant.

6.5 Conclusion du CHAPITRE 6

Au cours de ce chapitre, nous avons proposé une méthode de simulation des objectifs du plan de développement de la CMM en termes de densification résidentielle proche des nœuds principaux de transport collectif. Si les hypothèses retenues pour la définition des cibles de densité de ménages n'ont pas vocation à estimer précisément les impacts des politiques de la région métropolitaine, leur avantage est d'offrir un scénario contrasté alternatif pertinent en vue d'une comparaison avec le scénario d'une densification monocentrique envisagée au cours des chapitres précédents.

Dès à présent, nous pouvons mentionner quelques limites à la méthode développée pour simuler les objectifs du PMAD dans une logique extrême. Si l'on écarte la question des recoulements de zones TOD, qui a déjà été abordée dans le paragraphe 6.2 et qui pourrait être corrigée assez facilement par une simulation postérieure, la principale limite que l'on peut envisager à ce stade est le fait de segmenter les secteurs selon la présence ou l'absence de stations TOD. Cela conduit à considérer de grands secteurs relativement éloignés des infrastructures TC parmi les zones à densifier, du seul fait qu'ils contiennent une station de train (voir Figure 6.2, secteurs les plus éloignés du centre-ville de Montréal). À l'inverse, des secteurs municipaux relativement bien intégrés dans le maillage de transport en commun sont exclus des secteurs à densifier puisqu'ils ne contiennent aucune station de métro ou de train.

Face à ces limites, des études postérieures devraient s'intéresser à l'influence de la segmentation des secteurs dans notre modélisation. Deux pistes de solutions pourraient être envisagées à ce niveau. La première est de choisir une méthode alternative pour la segmentation des secteurs. Au lieu de considérer la présence de zones TOD, il pourrait être judicieux, par exemple, de se baser

sur la distance moyenne des résidents d'un secteur à une station de train ou de métro. On chercherait alors à densifier les secteurs municipaux où la distance moyenne d'accès est la plus faible, soit les secteurs où les personnes sont le plus enclines à utiliser les infrastructures de transport collectif. Une autre option pourrait consister à modifier le maillage spatial pour se défaire de l'hétérogénéité de surface des différents secteurs administratifs. Une échelle comparable à l'échelle des TOD, bien que souhaitable *a priori*, est sans doute trop fine pour l'application des algorithmes tel que nous les avons envisagés. Dans tous les cas, cette deuxième option nécessitera un certain nombre d'adaptations sur lesquelles nous ne pouvons pas nous prononcer au stade de nos réflexions.

Dans le chapitre suivant, nous proposons de comparer les résultats apportés par les deux approches de densification abordées, en ne retenant que les méthodes de simulation basées sur une sélection aléatoire des ménages migrants et une affectation des comportements de mobilité par mimétisme (CHAPITRE 5 et CHAPITRE 6). Il s'agira de la dernière partie de ce rapport avant de le conclure.

CHAPITRE 7 RÉSULTATS ET ANALYSE DES SCÉNARIOS

Suite aux différentes expérimentations réalisées en se basant sur les méthodes présentées dans les chapitres précédents, deux scénarios ont été jugés assez avancés pour que leurs résultats préliminaires puissent être rapportés dans ce mémoire de recherche. L'objet de cette section est de présenter une série de résultats thématiques en lien avec les méthodes de simulation qui ont été développées dans les CHAPITRE 5 et CHAPITRE 6.

Pour chacun des deux scénarios, nous proposons d'abord une cartographie des densités de ménages par secteur municipal de l'enquête OD de 2008. Ces cartes synthétisent les résultats des simulations après l'exécution des modules de définition des cibles de densité de ménages et de relocalisation de la population. Les résultats en lien avec la mobilité régionale sont présentés dans les sections subséquentes et passent en revue les distributions des caractéristiques des déplacements affectés selon l'approche de mimétisme.

Avant de passer aux résultats, nous aimerions attirer l'attention du lecteur sur leur caractère préliminaire en rappelant deux points. Tout d'abord, une seule simulation a été réalisée dans le temps de cette recherche pour chacun des scénarios. Les valeurs indiquées devraient donc être validés par un nombre plus important de simulations basées sur les mêmes hypothèses pour la définition des cibles de densité de ménages. Ensuite, aucune conclusion ne peut rigoureusement être formulée avant l'exécution d'un modèle de choix modal et d'affectation qui équilibrerait l'utilisation des différentes infrastructures pour que les durées de déplacements des personnes soient plausibles. Ces modèles de choix modal, ou de transfert modal, et d'affectation n'ont pas été étudiés dans le cadre de cette recherche. Les résultats que nous amenons n'ont donc pour vocation que de documenter l'impact direct des procédures que nous avons mises en place et ne pourront être utilisés tel quel pour orienter les politiques d'aménagement urbain.

7.1 Scénario de densification résidentielle orientée vers le centre-ville

Pour ce scénario, la définition des cibles de densité de ménages a été réalisée par une compression de la courbe de population cumulée du modèle de Bussière de sorte que le paramètre $1/b$, qui représente la distance au centre-ville du point d'inflexion de la courbe (cf. paragraphe 2.3), soit égale à 4km . Cette distance est deux fois plus petite que la distance obtenue par le modèle de régression à partir des données de l'enquête OD de 2008 (cf. paragraphe 5.2). En se basant sur les

cibles de densité par secteur municipal qui résultent d'une telle perturbation du modèle de Bussière, les ménages sont ensuite relocalisés depuis les secteurs périphériques vers les secteurs centraux selon la méthode de sélections aléatoires développée dans la section 5.3 du CHAPITRE 5. Enfin, en fonction de la typologie et de la proximité des ménages, on associe des caractéristiques à chaque déplacement des personnes relocalisées selon l'approche de mimétisme présentée dans le paragraphe 5.4.2. En considérant que ces personnes conservent leur nombre et leurs motifs de déplacements, on leur affecte un nouveau groupe d'heure de départ, une nouvelle ZAT de destination, puis, une nouvelle classe de mode de transport. Cette affectation résulte d'un tirage probabiliste selon la méthode de la transformée inverse (cf. paragraphe 2.5).

Ce paragraphe s'organise en trois temps. Tout d'abord, des cartes de densités de ménages par secteur municipal sont présentées afin de donner une idée de l'intensité des relocalisations de ménages simulées (paragraphe 7.1.1). Ces cartes peuvent être vues comme le résultat des deux premiers modules du modèle de simulation, à savoir la définition des cibles de densité de ménage et la relocalisation de la population selon les cibles. Ensuite, différentes statistiques en lien avec la mobilité des résidents sont comparées entre l'enquête OD et le premier scénario (paragraphe 7.1.2). Ces statistiques sont organisées selon les caractéristiques des déplacements qui ont été affectés aux personnes relocalisées par l'approche de mimétisme considérée. Enfin, la section 7.1.3 présente deux indicateurs globaux utiles dans un contexte de développement durable en transport et pertinents pour des études de santé publique, soit les distances moyennes de déplacement et les véhicules-kilomètres.

Comme les résultats de cette section ne s'appuient que sur une seule simulation d'une densification résidentielle, il n'est pas possible de conclure rigoureusement à la représentativité des valeurs indiquées dans les différentes productions. L'interprétation des résultats doit se borner à une éventualité résultant d'un processus de densification et nous chercherons simplement à évaluer nos hypothèses par rapport aux résultats qui pouvaient être attendus de manière intuitive. Des recherches postérieures devraient évaluer la représentativité de ces résultats en réalisant un ensemble de simulations pour le même seuil de densification ($1/b = 4\text{km}$). Par ailleurs, l'exécution subséquente d'un modèle de choix modal ou de transfert modal est nécessaire pour tirer des conclusions plausibles sur l'impact du scénario de densification.

7.1.1 Distribution des densités par secteur municipal

La carte de la Figure 7.1 présente l'évolution de la densité de ménages entre les données de l'enquête OD de 2008 et le premier scénario de densification résidentielle. Les distances de 8km et de 4km par rapport au centre-ville, qui correspondent aux points d'inflexion des courbes de Bussière originale et perturbée, sont aussi représentées par des cercles concentriques sur la carte.

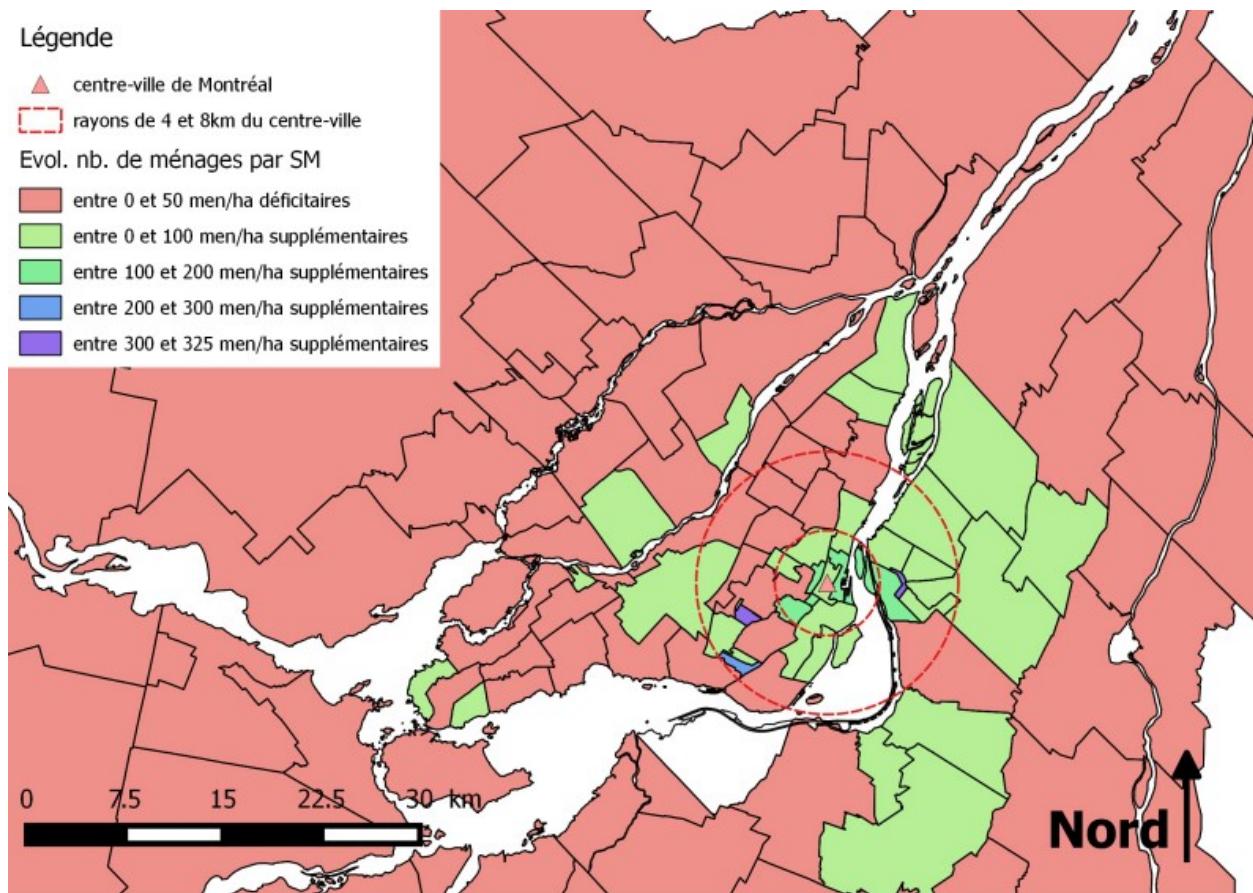


Figure 7.1 : Cartographie de l'évolution des densités de ménages dans chaque secteur municipal en lien avec les distances critiques du modèle de Bussière original (8km) et perturbé (4km)

Il faut remarquer que l'évolution des densités ne suit pas rigoureusement le principe de segmentation des secteurs receveurs et donneurs selon la distance limite $1/b = 4\text{km}$. Si la procédure a bien réalisé une augmentation des densités vers des secteurs proches du centre-ville (secteurs de couleur autre que rouge), certains secteurs éloignés de plus de 4km du centre-ville ont vu leur densité augmenter alors que d'autres, à une distance inférieure à 4km du centre-ville, ont vu leur densité diminuer. Cette observation peut s'expliquer par l'écart plus ou moins important

entre la courbe d'évolution de la population cumulée en fonction de la distance au centre-ville (DCV) et le modèle de régression de Bussière (cf. Figure 4.4 et Figure 4.8). En particulier, le modèle de régression utilisé ne prend pas en compte les différences de densité plus ou moins importantes entre deux secteurs situés à des DCV similaires.

Une solution pour obtenir des densités de ménages qui s'approcheraient davantage d'une évolution concentrique du gradient de densité supposerait de revoir le maillage du territoire tant sur le plan de l'échelle que de la géométrie. Un maillage radioconcentrique relativement fin devrait améliorer les performances de la redistribution proportionnelle des ménages selon la méthode présentée dans la section 4.3.1.3 si l'objectif principal est de simuler l'impact d'une telle distribution de population. Nous rappelons que ce n'était pas le cas dans le contexte de notre recherche qui relève d'abord d'une contribution méthodologique.

La dernière remarque que l'on peut faire au sujet de la carte présentée en Figure 7.1 est que certains secteurs voient leur densité augmenter de manière irréaliste (plus de 200 ménages par hectare supplémentaire). De tels niveaux de densité sont largement improbables si l'on se fie aux niveaux utilisés dans le PMAD, tel que nous l'avons fait dans le CHAPITRE 6. Selon les besoins de modélisation, il pourrait être judicieux de borner les densités cibles admissibles dans les secteurs municipaux avant de procéder aux relocalisations de ménages ou de personnes.

7.1.2 Comportements de mobilité

Dans cette section, nous présentons une série de résultats en lien avec le comportement de mobilité des personnes à l'échelle de la Grande Région de Montréal. L'évaluation du scénario de densification résidentielle est faite en comparaison avec le *statu quo* de l'enquête OD de 2008 sur les caractéristiques des déplacements affectés selon la méthode de mimétisme du paragraphe 5.4.2. Pour les heures de départ et les modes de transport, comme le nombre de classes d'agrégation est assez limité, nous proposons de comparer simplement les distributions après et avant la simulation. En ce qui concerne les destinations des déplacements, où le nombre de classes est important, les résultats sont amenés sous forme cartographique. Dans tous les cas, seules les données relatives aux enregistrements ayant déclaré au moins un déplacement sont considérées (attribut « mobil = 1 ») et nous avons exclu les données des résidents du secteur 547 (réserve amérindienne Mohawks de Kahnawake) qui ne présentaient pas les variables nécessaires aux calculs.

7.1.2.1 Heures de départ

Le 7.1 présente les écarts entre les distributions fréquentielles des groupes d'heures de départ après et avant la simulation réalisée. Ces fréquences sont relatives à plus de 8 millions de déplacements dans l'enquête OD de 2008 mais excluent 108 311 déplacements (1,31% des déplacements réalisés) correspondant aux déplacements pour lesquels nous n'avons pas pu attribuer de groupe d'heures de départ selon la procédure présentée à la section 5.4.2.4. Cela est dû au fait que les conditions de similarité et de proximité n'ont pas été remplies simultanément pour ces déplacements à travers la procédure. Ceci pourrait être amélioré en utilisant une segmentation moins fine des heures de départ ou des typologies plus grossières.

Selon les résultats de cette simulation, on observe une diminution des déplacements en début de matinée (entre minuit et 9h) et en début d'après-midi (entre midi et 15h30). En particulier, les déplacements en période de pointe du matin sont moins importants dans le scénario que dans le *statu quo* (Stq). A priori, cela n'est pas incohérent avec l'idée d'une concentration plus importante des activités dans les secteurs centraux, favorisant une meilleure proximité entre les différentes activités, mais cela n'avait pas été anticipé.

Tableau 7.1 : Écarts des distributions de groupes d'heures de départ avant et après simulation (densification résidentielle orientée vers le centre-ville de Montréal, méthode du CHAPITRE 5)

heure départ	% dépl. Scénario	% dépl. Statu quo	Evolution %
minuit à 5 h 59	1.38%	1.96%	-0.58%
6 h à 8 h 59	24.91%	25.09%	-0.18%
9 h à 11 h 59	12.02%	11.62%	0.40%
midi à 15 h 29	17.10%	17.37%	-0.27%
15 h 30 à 18 h 29	29.20%	28.72%	0.47%
18 h 30 à 23 h 59	14.31%	14.10%	0.21%
minuit à 28 h	1.08%	1.13%	-0.05%
Total	100.00%	100.00%	0.00%

En fonction des besoins de l'analyse, il pourrait être intéressant de générer les distributions de groupes d'heures de départ par motif de déplacement et par type de jour (semaine ou fin de semaine). Dans le but de simplifier cette présentation, nous nous intéressons ici principalement aux statistiques globales. Celles-ci semblent aussi assez pertinentes dans l'optique d'une étude des impacts sur la santé. Concernant les déplacements que nous avons exclus pour générer les résultats du 7.1 (1,31% de l'ensemble des déplacements), il faudrait envisager une agrégation plus grossière des attributs qui rentrent en jeu dans la procédure d'affectation des groupes d'heures de départ ou

bien proposer une méthode alternative pour attribuer une heure de départ à chacun de ces déplacements. Une telle méthode pourrait s'appuyer sur une caractérisation des ménages et des personnes concernées.

7.1.2.2 Destinations

La carte de la Figure 7.2 présente l'évolution des déplacements attirés par chaque secteur municipal de l'enquête OD de 2008 en proportion du nombre total de déplacements dans la région métropolitaine entre le *statu quo* et le scénario de densification orienté vers les TOD.

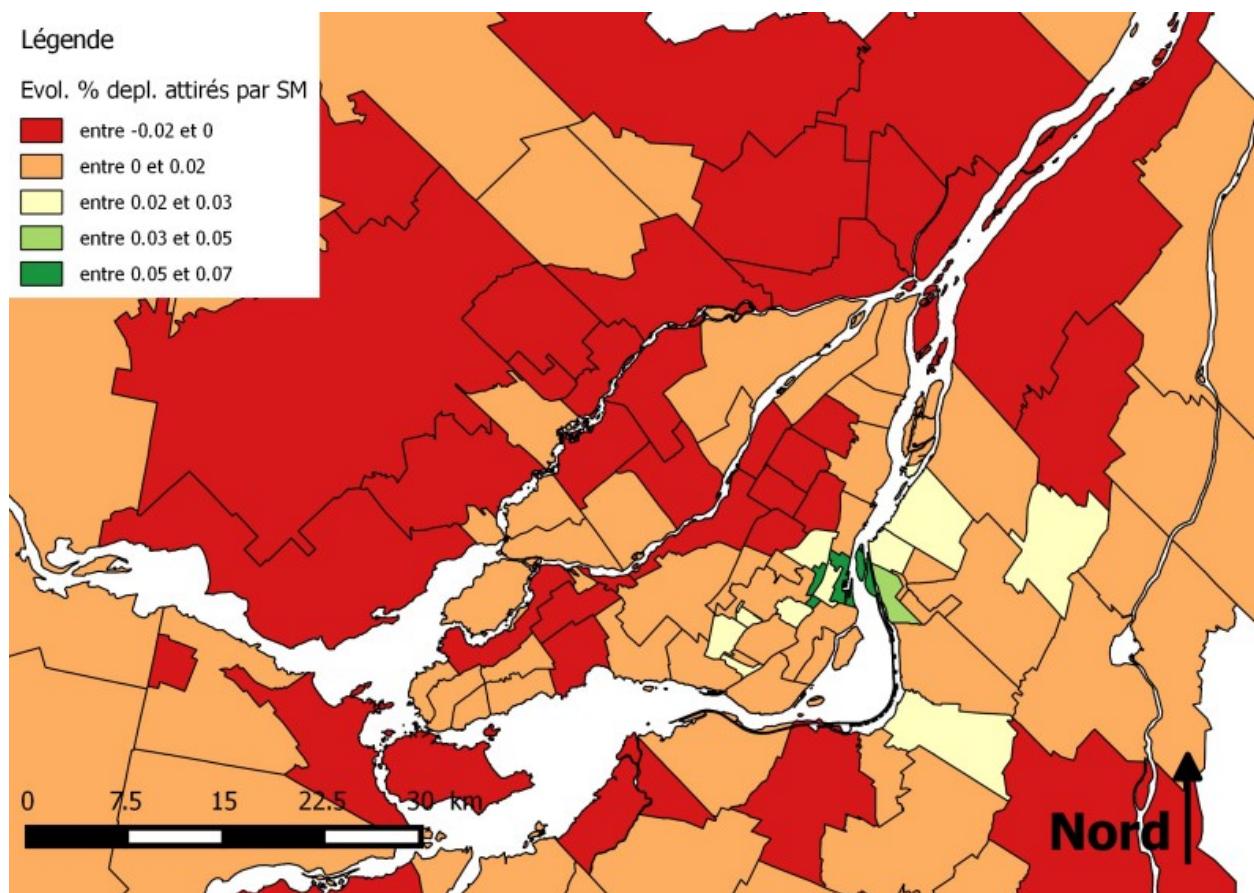


Figure 7.2 : Cartographie de l'évolution de l'attractivité des secteurs municipaux entre le *statu quo* et le scénario de densification résidentielle orientée vers le centre-ville de Montréal

Cette carte a été générée en excluant 232 095 déplacements (2,8% de l'ensemble des déplacements) pour lesquels la procédure d'affectation par mimétisme n'a pas fourni de ZAT de destination. Globalement, sous réserve de la représentativité de la simulation réalisée avec une valeur de $1/b = 4\text{ km}$, on observe une tendance à l'augmentation de la proportion de déplacements attirés

par les secteurs à proximité immédiate du centre-ville de Montréal. Cette augmentation des déplacements attirés par les secteurs centraux semble se faire davantage au détriment des secteurs périphériques du nord-ouest de la région. Cette augmentation des déplacements attirés par le centre-ville régional est cohérente avec une concentration accrue des ménages à sa proximité puisque les personnes vont avoir tendance à réaliser leurs activités proches de leur lieu de résidence.

7.1.2.3 Mode de transport

Le Tableau 7.2 présente l'évolution des parts modales entre le *statu quo* et le scénario de densification résidentielle. Selon les résultats de cette simulation, on observe une diminution importante de la fréquence des déplacements en automobile (-8%). En contrepartie, on observe une augmentation des parts modales de la marche ou du vélo et du transport collectif. Ces résultats sont encourageants dans la perspective d'une étude des impacts sur la santé puisque l'augmentation des parts de marché des modes actifs et semi-actifs (transport-collectif) et la diminution de l'inactivité physique (voiture, bus-scolaire) sont corrélées avec plusieurs indicateurs de bonne santé, comme nous l'avons vu de manière succincte dans le paragraphe 2.1 de notre revue de littérature.

Tableau 7.2 : Écarts des distributions de classe de mode de transport avant et après simulation (densification résidentielle orientée vers le centre-ville de Montréal, méthode du CHAPITRE 5)

Mode de transport	% dépl. Scénario	% dépl. Stq	Evolution %
Auto-conducteur	45.06%	52.48%	-7.42%
Auto-passager	12.31%	12.51%	-0.20%
Bus-scolaire	3.15%	4.67%	-1.52%
multimodal	2.38%	2.42%	-0.04%
Marche / Vélo	17.12%	12.37%	4.75%
Non-disponible	0.30%	0.35%	-0.05%
TC	19.68%	15.19%	4.49%
Total	100.00%	100.00%	0.00%

A l'instar du 7.1, plusieurs déplacements ne sont pas comptabilisés dans les distributions fréquentielles du Tableau 7.2 du fait que ceux-ci n'ont pas reçu de nouveau mode de transport en exécutant la procédure présentée dans la section 5.4.2.6. Dans ce cas-ci, ces déplacements sont au nombre de 503 551 et représentent environ 6% de l'ensemble des déplacements. Ce niveau d'erreur dans l'affectation des modes de transport est assez important et s'explique en partie par le cumul des erreurs liés à l'affectation d'une zone de destination (232 095 déplacements, soit 2.8% des déplacements) selon la méthode présentée à la section 5.4.2.5. S'ajoutent alors des erreurs propres

à l'affectation d'un mode de transport, lié à la finesse des agrégations utilisées. Comme pour les heures de départ, il faudrait envisager de diminuer la finesse du maillage ou proposer une méthode d'affectation alternative plus globale pour ces déplacements, basée sur leur caractérisation par rapport aux autres déplacements.

7.1.3 Distances moyennes

La section 7.1.2 précédente a présenté l'évolution des caractéristiques des déplacements suite à l'affectation basée sur le principe de mimétisme pour les personnes relocalisées. Dans cette dernière partie de résultats relatifs à la simulation d'une densification résidentielle orientée vers le centre-ville de Montréal, nous proposons d'étudier l'évolution de deux indicateurs de mobilité pertinents dans un contexte de développement durable et d'étude en santé-publique, à savoir les distances de déplacement et les véhicules-kilomètres. Comme nous l'avons abordé dans la première partie de notre revue de littérature, les distances de déplacements en mode actif sont corrélées à des impacts positifs sur la santé publique alors qu'une utilisation accrue de l'automobile génère normalement des effets néfastes en termes d'impacts environnementaux et de sécurité routière.

Le Tableau 7.3 présente l'évolution des distances à vol d'oiseau moyennes en fonction des motifs de déplacement. On observe une diminution systématique des distances dans le cas du scénario de densification résidentielle orienté vers le centre-ville lorsque le motif est déterminé et cela est une fois de plus cohérent avec une proximité importante entre les activités et les lieux de résidence dans les secteurs centraux. Dans le Tableau 7.4, on s'intéresse cette-fois aux distances de déplacement moyennes en fonction du mode de transport emprunté par la personne. Contrairement aux données relatives aux motifs de déplacement, les pourcentages présentés dans ce tableau excluent 264 624 déplacements (3,34% des déplacements) auxquels aucun mode de transport n'a pu être affecté. Les conclusions amenées ne sont valides qu'en supposant une répartition similaire des modes de transport parmi les déplacements non considérés. Sous réserve de leur validité, ces résultats sont encourageants puisqu'ils suggèrent une augmentation des distances de déplacement en mode actif et semi-actif dans la région métropolitaine, ainsi qu'une diminution drastique des distances de déplacement en automobile.

Tableau 7.3 : Évolution des distances pondérées moyennes par motif de déplacements entre le *statu quo* (Stq) et le scénario de densification orientée vers le centre-ville de Montréal ($1/b = 4\text{km}$)

Motif	# dépl.	% dépl.	dist. Pond. moyenne scénario (m)	dist. Pond. Moyenne Stq (m)	Evolution dist. Pond. Moy. (m)
travail	1 579 158.56	19.93%	7 991	11 071	-3 080
études/école	786 562.39	9.93%	4 313	5 643	-1 330
retour domicile	3 541 647.43	44.70%	5 759	7 759	-2 000
loisir	522 818.71	6.60%	5 880	6 777	-898
magasinage	594 846.11	7.51%	4 043	4 442	-399
autre	897 809.89	11.33%	4 568	5 241	-673
indéterminé	848.07	0.01%	6 511	5 863	648

Tableau 7.4 : Évolution des distances pondérées moyennes par mode de transport entre le statu quo (Stq) et le scénario de densification orientée vers le centre-ville de Montréal ($1/b=4\text{km}$)

Mode transport	# dépl. Scénario	% dépl. Scénario	dist. Pond. Moyenne scénario (m)	dist. Pond. Moyenne Stq (m)	Evolution dist. Pond. Moyenne (m)
Auto-conducteur	3 440 564.24	44.92%	7 011	9 242	-2 230
Auto-passager	941 581.92	12.29%	5 162	6 885	-1 723
Bus-scolaire	242 580.65	3.17%	4 158	5 390	-1 232
multimodal	180 672.71	2.36%	9 737	16 052	-6 315
Marche / Vélo	1 317 242.94	17.20%	1 577	1 068	508
Non-disponible	21 771.63	0.28%	5 551	7 634	-2 083
TC	1 514 652.66	19.78%	6 128	7 390	-1 262
Total	7 659 066.75	100.00%	5 644	7 610	-1 965

7.2 Scénario de densification résidentielle orientée vers les TOD

Dans le paragraphe précédent, nous avons présenté une ébauche de résultats basés sur une simulation d'un scénario de densification résidentielle orientée vers le centre-ville de Montréal. Pour ce scénario, la définition des cibles de densité de ménages a été réalisée en se basant sur une interprétation extrême des orientations de développement résidentiel exprimées dans les documents de planification de la CMM. Pour ce faire, nous avons cherché à augmenter la densité des secteurs municipaux en imposant une densité résidentielle égale à la moitié des densités minimales de logements prévues dans les orientations de la métropole dans les zones TOD. En se basant sur les cibles de densité par secteur municipal qui résultent d'une telle formulation, les ménages sont ensuite relocalisés depuis les secteurs périphériques vers les secteurs présentant une ou plusieurs zones TOD selon la méthode de sélection aléatoire développée dans la section 6.3. Enfin, en fonction de la typologie et de la proximité des ménages, on associe des caractéristiques à chaque déplacement des personnes relocalisées selon l'approche de mimétisme présentée dans le paragraphe 6.4, qui reprend les éléments de la section 5.4.2. En considérant que les personnes conservent leur nombre et leurs motifs de déplacements, on leur affecte un nouveau groupe

d'heures de départ, une nouvelle ZAT de destination, puis, une nouvelle classe de mode de transport. Cette affectation résulte d'un tirage probabiliste selon la méthode de la transformée inverse (cf. paragraphe 2.5).

A l'instar du paragraphe précédent, ce paragraphe s'organise en trois temps. Tout d'abord, des cartes de densités de ménages par secteur municipal sont présentées afin de donner une idée de l'intensité des relocalisations de ménages simulées. Ces cartes peuvent être vues comme le résultats des deux premiers modules du modèle de simulation, à savoir la définition des cibles de densité de ménages et la relocalisation de la population selon les cibles. Ensuite, différentes statistiques en lien avec la mobilité des résidents sont comparées entre l'enquête OD et le deuxième scénario. Ces statistiques sont organisées selon les caractéristiques des déplacements qui ont été affectés aux personnes relocalisées par l'approche de mimétisme considérée. Enfin, la dernière section présente deux indicateurs globaux utiles dans un contexte de développement durable en transport et pertinents pour des études de santé publique, soit les distances moyennes déplacement et les véhicules-kilomètres.

Comme les résultats de cette section ne s'appuient que sur une seule simulation d'une densification résidentielle, il n'est pas possible de conclure rigoureusement à la représentativité des valeurs indiquées dans les différentes productions. L'interprétation des résultats doit se borner à une éventualité résultant d'un processus de densification et nous chercherons simplement à évaluer nos hypothèses par rapport aux résultats qui pouvaient être attendus de manière intuitive. Des recherches postérieures devraient évaluer la représentativité de ces résultats en réalisant un ensemble de simulations pour le même schéma de densification.

7.2.1 Distribution des densités par secteur municipal

La carte de la Figure 7.3 présente l'évolution de la densité de ménages entre les données de l'enquête OD de 2008 et le premier scénario de densification résidentielle. Contrairement aux remarques que nous avions pu faire dans le cas du scénario précédent, basé sur une définition théorique des cibles de densité de ménages par perturbation du modèle de régression de Bussière, nous observons ici une adéquation entre les zones ayant bénéficié d'un supplément de population de ménages et les secteurs qui offrent un accès à des stations de train ou de métro (voir le tracé des stations à la Figure 6.2). Les augmentations de densités de ménages sont aussi d'un ordre de grandeur plus réaliste que dans le cas précédent, même si elles restent fortes dans certains secteurs.

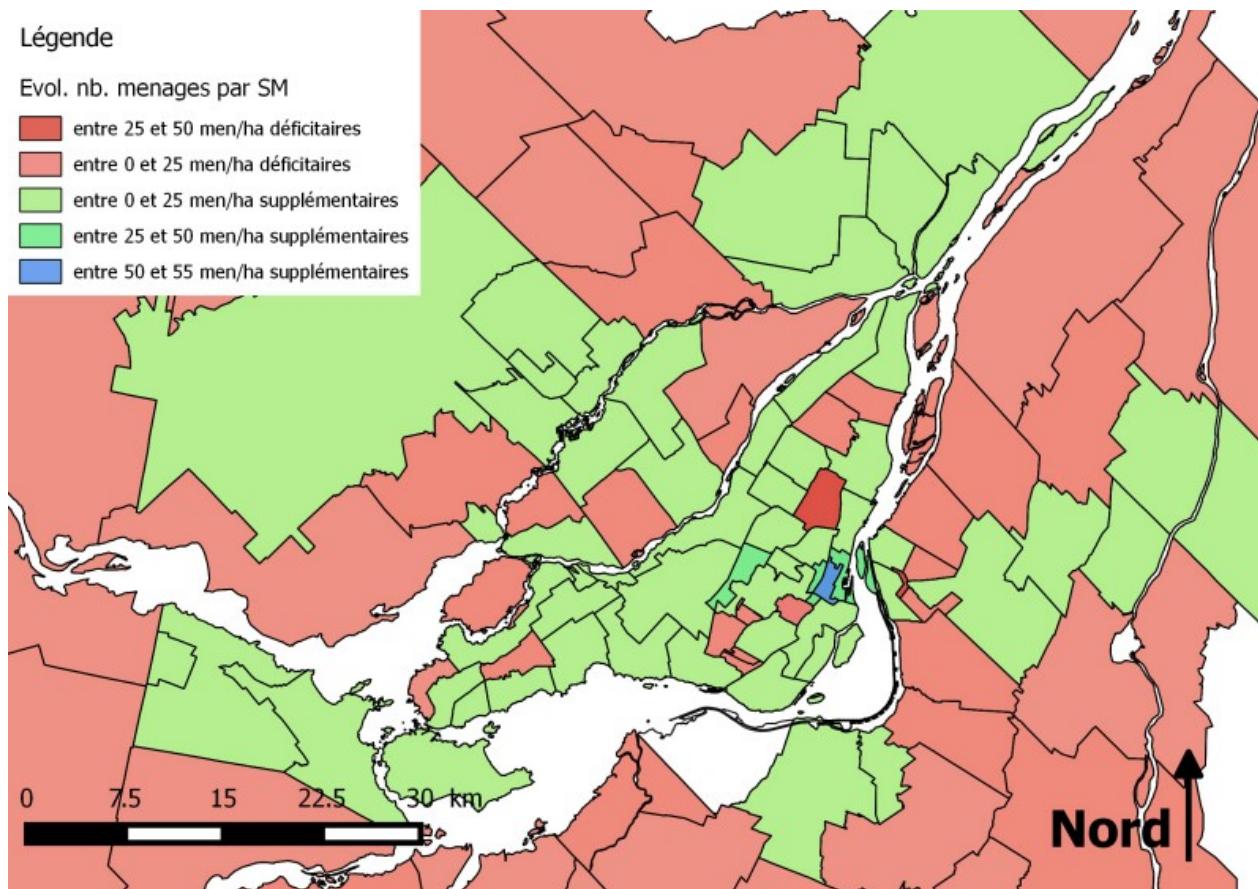


Figure 7.3 : Cartographie de l'évolution des densités de ménages dans chaque secteur municipal entre le *statu quo* et le scénario de densification résidentielle orienté vers les TOD

7.2.2 Comportements de mobilité

Dans cette section, nous présentons une série de résultats en lien avec le comportement de mobilité des personnes à l'échelle de la Grande Région de Montréal. L'évaluation du scénario de densification résidentielle est faite en comparaison avec le *statu quo* de l'enquête OD de 2008 sur les caractéristiques des déplacements affectées selon la méthode de mimétisme du paragraphe 5.4.2. Pour les heures de départ et les modes de transport, comme le nombre de classes demeure limité, nous proposons de comparer simplement les distributions après et avant simulation. En ce qui concerne les destinations de déplacements, où le nombre de classes est important, les résultats sont amenés sous forme cartographique. Dans tous les cas, seules les données relatives aux enregistrements ayant déclaré au moins un déplacement sont considérées (attribut « *mobil* = 1 ») et nous avons exclu les données des résidents du secteur 547 (réserve amérindienne Mohawks de Kahnawake) qui ne présentaient pas les variables nécessaires aux calculs.

7.2.2.1 Heures de départ

Le Tableau 7.5 présente les écarts entre les distributions fréquentielles des groupes d'heures de départ après et avant la simulation réalisée. Ces fréquences sont relatives à plus de 8 millions de déplacements dans l'enquête OD de 2008 mais excluent 60 237 déplacements (0,73% des déplacements réalisés) correspondant aux déplacements pour lesquels nous n'avons pas pu attribuer de groupe d'heure de départ selon la procédure d'affectation présentée à la section 5.4.2.4.

Tableau 7.5 : Évolution des distributions de groupes d'heures de départ avant et après simulation d'une densification résidentielle orientée vers les TOD selon la méthode du CHAPITRE 6

heure départ	% dépl. Scénario	% dépl. Stq	Evolution %
minuit à 5 h 59	1.70%	1.96%	-0.26%
6 h à 8 h 59	25.19%	25.09%	0.11%
9 h à 11 h 59	11.72%	11.62%	0.10%
midi à 15 h 29	17.25%	17.37%	-0.13%
15 h 30 à 18 h 29	28.87%	28.72%	0.15%
18 h 30 à 23 h 59	14.18%	14.10%	0.08%
minuit à 28 h	1.09%	1.13%	-0.04%
Total	100.00%	100.00%	0.00%

Selon les résultats de cette simulation, en supposant une distribution identique pour les déplacements non considérés, on observe une augmentation des déplacements en périodes de pointe du matin et du soir et une diminution pendant les périodes hors-pointe. En rapprochant les individus des infrastructures de transport, on favorise aussi leur accès à différents lieux d'activités, ce qui peut leur permettre de se déplacer plus aisément pendant les périodes de pointe. En toute rigueur, une analyse des caractéristiques des déplacements pour lesquels aucun groupe d'heure de départ n'a pu être attribué devrait être faite ainsi qu'une multiplication des simulations pour le même schéma de forme urbaine et l'exécution de modèles de choix modal, ou de transfert modal, et d'affectation à l'équilibre.

7.2.2.2 Destinations

La carte de la Figure 7.4 présente l'évolution des déplacements attirés par chaque secteur municipal de l'enquête OD de 2008 en proportion du nombre total de déplacements dans la région métropolitaine entre le *statu quo* et le scénario de densification orienté vers les TOD. Cette carte a été générée en excluant 115 328 déplacements (1,39% des déplacements) pour lesquels la procédure d'affectation par mimétisme n'a pas fourni de ZAT de destination.

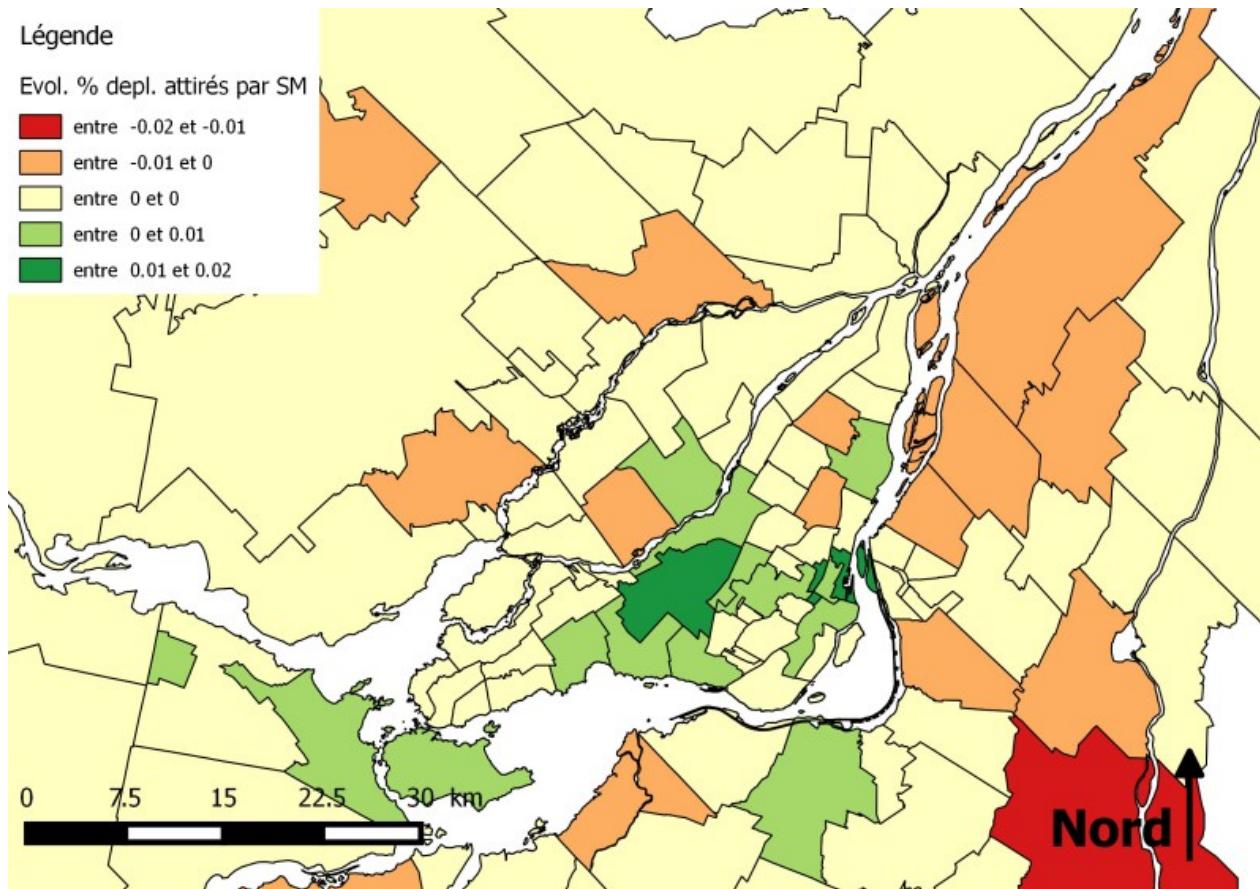


Figure 7.4 : Cartographie de l'évolution de l'attractivité des secteurs municipaux entre le *statu quo* et le scénario de densification résidentielle orientée vers les TOD

De manière globale, la densification proche des nœuds de transport collectif structurants semble favoriser l'attractivité des secteurs de l'île de Montréal au détriment de quelques zones périphériques. On observe aussi une certaine stabilité dans l'attractivité d'un grand nombre de zones. Enfin, on peut aussi remarquer que l'évolution de l'attractivité des zones est moins radicale que dans le scénario présenté dans le paragraphe précédent, puisqu'aucune zone n'attire plus de 2% de déplacements supplémentaires alors que certaines zones attiraient 7% de déplacements supplémentaires dans le cas du scénario précédent (Figure 7.2).

7.2.2.3 Mode de transport

Le Tableau 7.6 présente l'évolution des parts modales entre le *statu quo* et le scénario de densification résidentielle orienté vers les TOD. Comme dans le scénario précédent, on observe une diminution importante de la fréquence de déplacements en automobile (-3,52%) ainsi qu'une

diminution substantielle de l'utilisation des bus scolaires (-0,88%) alors que les déplacements à pied, en vélo ou en transport collectif augmentent. Comme précédemment, ces résultats sont encourageants dans la perspective d'une étude des impacts sur la santé puisque l'augmentation des parts de marché des modes actifs et semi-actifs (transport-collectif) et la diminution de l'inactivité physique (voiture, bus scolaire) sont corrélées avec plusieurs indicateurs de bonne santé, comme nous l'avons vu de manière succincte dans le paragraphe 2.1 de notre revue de littérature.

Tableau 7.6 : Évolution des distributions de classe de mode de transport avant et après simulation d'une densification résidentielle orientée vers les TOD selon la méthode du CHAPITRE 6

Mode transport	% dépl. Scénario	% dépl. Stq	Evolution %
Auto-conducteur	48.95%	52.48%	-3.52%
Auto-passager	12.19%	12.51%	-0.33%
Bus-scolaire	3.79%	4.67%	-0.88%
multimodal	2.47%	2.42%	0.04%
Marche / Vélo	14.22%	12.37%	1.85%
Non-disponible	0.36%	0.35%	0.00%
TC	18.02%	15.19%	2.83%
Total	100.00%	100.00%	0.00%

Encore une fois, plusieurs déplacements ne sont pas comptabilisés dans les distributions fréquentielles du Tableau 7.6 du fait que ceux-ci n'ont pas reçu de nouveau mode de transport en exécutant la procédure présentée dans la section 5.4.2.6. Dans ce cas-ci, ces déplacements sont au nombre de 253 302 et représentent environ 3% de l'ensemble des déplacements. Ce niveau d'erreur dans l'affectation des modes de transport s'explique en partie par le nombre de déplacements pour lesquelles aucune zone de destination n'a été attribué (115 328 déplacements, soit 1,39% des déplacements) selon la méthode présentée à la section 5.4.2.5. S'ajoutent alors des erreurs propres à l'affectation d'un mode de transport, lié à la finesse des agrégations utilisées. Comme nous l'avons déjà mentionné à plusieurs reprises dans les sections précédentes, il faudrait envisager de diminuer la finesse du maillage ou proposer une méthode d'affectation alternative plus globale pour ces déplacements, basée sur leur caractérisation par rapport aux autres déplacements.

7.2.3 Distances moyennes

Comme dans le cas du scénario précédent, nous terminons cette partie en présentant l'évolution des distances de déplacement moyennes par motif (Tableau 7.7) et par mode de transport (Tableau 7.8). De la même façon, on observe une augmentation intéressante des distances de déplacements en modes actifs ou en transport en commun parallèlement à une réduction des distances de

déplacement en automobile. En ce qui concerne les distances par motif, on observe cette fois une augmentation des distances pour le magasinage et les motifs « autre » et « indéterminé » qui n'avait pas été prévue a priori. Ce résultat est étonnant et demanderait d'être analysé plus en profondeur. Concernant les distances liées au travail, on observe toujours une diminution importante dans le scénario de densification orienté vers les TOD. Enfin, on peut noter que, globalement, les distances ont tendance à diminuer.

Tableau 7.7 : Évolution des distances pondérées moyennes par motifs de déplacements entre le statu quo (Stq) et le scénario de densification orientée vers les TOD

Motif	# dépl.	% dépl.	dist. Pond. moyenne scénario (m)	dist. Pond. Moyenne Stq (m)	Evolution dist. Pond. Moy. (m)
travail	1 586 566.38	19.74%	10 196	11 080	- 885
études/école	794 069.60	9.88%	5 466	5 686	- 220
retour domicile	3 588 560.53	44.64%	7 184	7 765	- 581
loisir	536 591.07	6.68%	6 795	6 816	- 21
magasinage	616 645.06	7.67%	4 561	4 471	- 91
autre	914 560.24	11.38%	5 415	5 270	- 144
indéterminé	1 036.26	0.01%	7 891	6 925	- 967
Total	8 038 029.14	100.00%	7 180	7 614	- 434

Tableau 7.8 : Évolution des distances pondérées moyennes par mode de transport entre le statu quo (Stq) et le scénario de densification orientée vers les TOD

Mode transport	# dépl. Scénario	% dépl. Scénario	dist. Pond. Moyenne scénario (m)	dist. Pond. Moyenne Stq (m)	Evolution dist. Pond. Moy. (m)
Auto-conducteur	3 440 564.24	44.92%	8 601	9 240	- 639
Auto-passager	941 581.92	12.29%	6 365	6 916	- 551
Bus-scolaire	242 580.65	3.17%	5 175	5 391	- 215
multimodal	180 672.71	2.36%	15 156	16 155	- 999
Marche / Vélo	1 317 242.94	17.20%	1 450	1 068	- 382
Non-disponible	21 771.63	0.28%	6 613	7 625	- 1 012
TC	1 514 652.66	19.78%	7 060	7 378	- 318
Total	7 659 066.75	100.00%	7 047	7 614	- 567

7.3 Discussion des résultats et conclusion du CHAPITRE 7

Pour clore ce chapitre, avant de passer à une conclusion générale sur notre contribution de recherche, ses limites principales et les perspectives qu'elle soulève, nous pouvons affirmer, à la vue des différents résultats apportés par les simulations de densification résidentielle, que les méthodes développées dans les CHAPITRE 5 et CHAPITRE 6 offrent de bonnes perspectives pour l'étude et l'analyse des impacts d'une densification résidentielle monocentrique ou polycentrique sur la mobilité régionale. Si ces résultats ne peuvent pas être retenus tel quel, en raison du nombre limité de simulations réalisées à ce jour et de l'absence d'implantation de modèles de choix modal, ou de transfert modal, et d'affectation à l'équilibre, l'ensemble des résultats ne semble pas

incohérent avec les hypothèses que l'on pouvait émettre a priori quant à l'augmentation de l'utilisation des modes de transport actifs (marche et vélo) ou semi-actifs (transport collectif) et à la diminution des parts de marché de l'automobile. Une telle conséquence sur la mobilité, si elle mérite d'être validée par une approche statistique des résultats des simulations et complétée par un modèle de choix modal et d'affectation à l'équilibre, est particulièrement intéressante dans le contexte du développement durable en transport et des bénéfices pour la santé publique. Le développement d'un modèle de choix modal et d'affectation permettrait d'équilibrer l'utilisation des différentes infrastructures et offres de transport pour que les durées de déplacement des personnes soient plausibles et que les capacités des infrastructures ne soient pas dépassées.

CHAPITRE 8 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Pour conclure ce mémoire, nous proposons, dans un premier temps, de revenir de façon synthétique sur les différents éléments de notre contribution à l'étude des impacts d'une densification résidentielle à Montréal, en lien avec les objectifs fixés en introduction, tout en soulignant les bénéfices transversaux apportés par cette recherche. Nous relevons ensuite un ensemble de limites concernant notre étude de façon générale, mais aussi, en lien avec le projet en santé-transport dans lequel s'inscrit notre contribution. Enfin, des perspectives pour les prochaines recherches qui s'appuieraient de près ou de loin sur nos travaux seront formulées dans la dernière section de ce mémoire, en guise d'ouverture.

8.1 Contributions

En réponse aux objectifs de recherche, notre contribution relève avant tout d'un apport méthodologique pour la simulation de scénarios de densification résidentielle dans la région métropolitaine de Montréal. Au fil de ce travail, plusieurs approches de modélisation alternatives ont été étudiées et évaluées pour chercher à implémenter des scénarios de natures diverses ayant trait à la répartition des personnes, des ménages et des logements sur le territoire de l'agglomération montréalaise. Les résultats principaux de cette recherche sont un ensemble de diagrammes algorithmiques synthétisant les différentes fonctions mises en jeu dans les processus de simulation qui se traduisent par différentes implémentations d'un modèle conceptuel en trois étapes, schématisé en Figure 3.1 et repris tout au long du développement de ce mémoire. Ces diagrammes devraient normalement permettre de proposer un outil de simulation plus avancé dans le cadre de recherches futures.

Dans un premier temps, notre développement méthodologique s'est appuyé sur l'utilisation d'un modèle de forme urbaine, tiré de la littérature en transport, pour définir un ensemble de cibles de densité de plus en plus grandes à mesure que l'on se rapproche du centre-ville de la région métropolitaine. Trois alternatives principales ont alors été envisagées pour simuler une répartition de la population selon les cibles de densité ainsi définies. La première des options envisagées (CHAPITRE 4) s'inspire de la méthode de prévision de la demande en transport utilisée au ministère des Transports (MTMDET) et repose sur un principe de factorisation pour augmenter le poids des personnes vivant dans les secteurs que l'on souhaite densifier. Cette approche est basée

sur une relocalisation des personnes sans tenir compte de leur ménage. C'est un point qu'il faudrait éclaircir si l'on choisissait de développer davantage cette méthode dont les fondements théoriques demeurent intéressants même si elle n'a pas été poussée jusqu'à son terme.

Les deux autres approches (CHAPITRE 5) proposent de procéder à une relocalisation des ménages sur la base d'un tirage aléatoire et se distinguent l'une de l'autre par la façon d'attribuer des comportements de mobilité aux personnes. L'une des méthodes (paragraphe 5.4.1) leur attribue les mêmes déplacements qu'une personne similaire à proximité de leur nouveau lieu de résidence, en se basant sur une typologie des personnes et des ménages, alors que l'autre (paragraphe 5.4.2), considère, en plus, qu'il est pertinent de conserver le nombre et les motifs de déplacements des personnes et que seules les modalités (heure de départ, destination, mode de transport) de ces déplacements sont à redéfinir sur la base des principes de similarité et de proximité.

En se basant sur cette dernière approche de modélisation, qui procède à une relocalisation des ménages par tirage aléatoire et affecte de nouvelles caractéristiques aux déplacements des personnes relocalisées en conservant leur nombre de déplacements et leur motif respectif, une dernière forme de scénario a été élaborée dans l'optique de simuler des orientations d'aménagement de la métropole et, surtout, de proposer une autre façon de définir les cibles de densité de ménage. Cette méthode (CHAPITRE 6) a l'avantage de la flexibilité et pourrait simuler n'importe quel scénario qui spécifierait une matrice de densités cibles de ménages.

Enfin, suite à cette exploration méthodologique qui constitue le corps principal de ce travail, nous avons proposé un ensemble d'indicateurs pertinents pour évaluer les simulations réalisées dans une perspective de développement durable et d'étude d'impacts sur la santé (CHAPITRE 7). Si ces résultats ne peuvent être admis tels quels en raison du nombre limité de simulations réalisées et du fait qu'aucun modèle d'affectation et de choix modal n'ait été implémenté à ce stade des recherches, ceux-ci sont encourageants dans la perspective de cette étude puisqu'ils sont globalement conformes aux hypothèses que nous avions pu formuler a priori. Des recherches plus poussées devraient pouvoir évaluer ces indicateurs et garantir leur validité tant sur le plan statistique que sur le plan de l'équilibre entre l'offre et la demande.

D'un point de vue plus transversal, cette recherche a aussi permis de mettre en valeur l'influence de la proximité au centre-ville sur certaines variables de mobilité, notamment les heures de départ, les zones de destination et les modes de transport. En effet, des tests statistiques ont montré que

leurs distributions étaient significativement différentes dans les secteurs centraux et les secteurs périphériques pour la segmentation retenue en se basant sur le modèle de Bussière. À travers les différentes expérimentations réalisées, nous avons aussi contribué à donner une meilleure idée du niveau d'agrégation qu'il est possible d'envisager pour les différentes variables du modèle selon le nombre de données disponibles dans l'enquête OD de 2008. Les recherches basées sur nos travaux devraient en bénéficier dans une certaine mesure. Enfin, un des partis pris de ce travail a été de chercher à simuler des scénarios macroscopiques, ou de rupture. Nous pensons qu'un tel point de vue dans les modèles peut s'avérer fécond dans l'optique d'initier des pratiques de modélisation innovantes, pour ouvrir la voie à la modélisation de scénarios de rupture qui sont encore trop peu considérés par les différentes instances en charge de la planification et de l'aménagement.

8.2 Limites

Dans les sections suivantes, nous récapitulons les principales limites envisagées dans les différentes méthodes de simulation. Nous présentons aussi les principales limites techniques rencontrées afin d'encourager le développement d'un outil de simulation plus simple d'utilisation et plus performant. En plus des limites répertoriées plus bas, il faut mentionner le caractère inhérent des limites liées à l'utilisation des données de l'enquête OD de 2008. De plus, le fait de ne pas tenir compte de la capacité d'accueil des territoires peut être vu comme une limite à notre étude si l'on cherche à simuler des scénarios réalistes. Néanmoins, l'intégration des capacités d'accueil ne constituerait pas un défi majeur dans le cadre des méthodes de simulations envisagées. Il faudrait simplement intégrer une contrainte aux modèles pour définir les cibles de densité par secteur.

8.2.1 Utilisation du modèle de Bussière

À propos du modèle de Bussière, la principale limite qui a été rencontrée est le fait que celui-ci est difficilement applicable dans un contexte où les zones d'agrégation ne sont pas concentriques. La formulation des cibles de densité par modélisation de l'évolution de la population et par déformation du modèle pour augmenter le gradient de densité en direction du centre-ville se heurte au problème du découpage spatial utilisé dans la mesure où l'augmentation des densités ne suit pas rigoureusement ce qui était prévu par le modèle (voir section 7.1.1). La question des hautes variations de densité induites par le modèle est aussi à considérer. Si l'on souhaitait ramener ces variations de densité à un ordre de grandeur comparable à celles induites dans le scénario basé sur

le PMAD, il est probable que les écarts entre le modèle et les données expérimentales deviennent prépondérants par rapport aux variations que l'on chercherait à induire par la perturbation du modèle. Pour cette raison, l'utilisation du modèle de Bussière n'est vraisemblablement pertinente que dans le cadre d'une formulation de scénarios suffisamment contrastés.

8.2.2 Factorisation des données de l'enquête OD de 2008

Les limites liées à la factorisation des données de l'enquête OD de 2008 ont été largement présentées dans le paragraphe 4.4. Elles concernent principalement le lien entre les facteurs de pondération des ménages et des personnes et la nécessité de segmenter la population avant de procéder aux modifications des facteurs de pondération.

8.2.3 Relocalisations par sélection aléatoire

Au sujet de la relocalisation des ménages par sélection aléatoire, la principale limite dans notre cas est que cette approche probabiliste nécessiterait normalement de réaliser plus d'une seule simulation pour valider les résultats. Cela n'a pas été fait dans le cadre de cette recherche en raison du temps nécessaire pour les simulations avec notre outil. Un outil plus simple d'utilisation et plus performant devrait permettre de répondre à cette limite. Le caractère aléatoire de la méthode engendre aussi une non reproductibilité qui peut apparaître comme une limite dans la mesure où l'on ne se baserait pas sur un nombre suffisant de simulations.

8.2.4 Affectation de comportements par mimétisme

À propos de la méthode d'affectation des comportements de mobilité par mimétisme, il faut souligner le fait que la démarche est assez lourde à mettre en œuvre, notamment en raison de l'outil utilisé pour appliquer la démarche à savoir Excel puisqu'on travaille avec l'ensemble des déplacements enregistrés dans l'enquête OD de 2008 (plus de 350 000 enregistrements).

Une autre limite a été identifiée concernant les typologies de personnes, de ménages et de déplacements utilisées pour les affectations d'un comportement de mobilité par la méthode de la transformée inverse. Le choix des variables à privilégier et leur niveau d'agrégation n'est pas trivial et il faudrait recourir à des tests pour déterminer quelles variables devraient être préférées. Enfin, la question du voisinage utilisé pour appliquer le mimétisme est aussi une limite à la démarche de modélisation. Ce voisinage est pris à l'échelle des secteurs municipaux et il faudrait un plus grand

échantillon de données dans l'enquête OD pour penser le raffiner. De manière générale, il faudrait veiller à disposer d'un échantillon de personnes représentatif dans le voisinage considéré pour le tirage des différentes composantes de mobilité.

8.2.5 Prise en compte des projections démographiques

Dans les méthodes de simulation envisagées, nous nous sommes contentés de relocaliser la population de l'enquête OD de 2008. Il faudrait réfléchir à certaines adaptations pour tenir compte des projections démographiques afin de simuler les impacts des scénarios de répartition de la population sur les mobilités à un horizon d'étude futur. À condition de disposer des informations socio-économiques sur les populations projetées à l'horizon d'étude, il pourrait être envisagé d'allouer des attributs de mobilité selon une approche de mimétisme similaire à la deuxième approche qui a été envisagée dans ce mémoire. Ceci n'est envisageable que dans le cas de migrations vers des quartiers échantillonnés dans l'enquête OD. Si les migrations sont orientées vers un secteur non échantillonné, il faudra adapter une méthode d'ensemencement. Ce dernier point est également valable pour des scénarios basés sur les données de 2008 où l'on chercherait à relocaliser les ménages vers des secteurs pas ou peu échantillonnés.

8.2.6 Répartition des lieux d'activité et développement des infrastructures

Aucune hypothèse particulière n'a été prise concernant la répartition des emplois et des autres lieux d'activité suite à la relocalisation de la population. Même si la procédure de mimétisme induit une forme de relocalisation des emplois et des lieux d'activité, il faudrait normalement envisager que ceux-ci puissent être redistribués sur le territoire. En particulier, la question des lieux scolaires apparaît comme un élément important dans un scénario de relocalisation puisque les enfants pourraient changer d'école selon leur lieu de résidence, notamment dans le cas des écoles publiques. Par ailleurs, aucun développement d'infrastructure n'a été pris en compte et, comme nous l'avons vu, aucun modèle d'affectation sur le réseau ou de choix modal n'a été envisagé à ce stade des recherches.

8.3 Perspectives de recherche

Suite aux différentes limites ayant été identifiées à propos du travail présenté dans ce mémoire, trois axes principaux ont été retenus pour ouvrir des perspectives à des recherches futures. Dans un

premier temps, des recherches supplémentaires devraient s'intéresser au perfectionnement des approches de modélisation qui ont été envisagées à travers notre démarche, notamment pour proposer un outil intégrant les différentes alternatives proposées et facilitant la réalisation de scénarios multiples par les modélisateurs. D'autres enjeux ont aussi été identifiés concernant la densification polycentrique et la relocalisation des populations et des emplois de façon optimale.

8.3.1 Perfectionnement des modèles

En réponse aux principales limites identifiées dans le paragraphe précédent, des recherches postérieures basées sur notre travail et inscrites dans le paradigme du développement durable devraient par exemple chercher à évaluer l'impact du choix des variables dans les modèles de mimétisme ainsi que de leur niveau d'agrégation respectif. Les typologies de personnes, de ménages et de déplacements pourraient ainsi faire l'objet d'une étude plus approfondie pour proposer un modèle plus performant.

Dans la perspective d'un perfectionnement de nos travaux, des recherches pourraient aussi s'orienter plus précisément sur la question des liens entre les personnes et les ménages qui a freiné le développement de notre méthode basée sur la factorisation des données de l'enquête OD de 2008. Certaines adaptations sont aussi requises afin de tenir compte des projections démographiques dans la région d'étude pour les horizons de planification visés.

Enfin, il faudrait envisager une implémentation des méthodes dans une interface commune et suffisamment efficace qui faciliterait la modification des différents paramètres en jeu ainsi que la génération d'un nombre suffisamment important de simulations pour garantir la représentativité statistique des résultats. Un enjeu important est de proposer une méthode alternative pour l'affectation des caractéristiques de déplacement dans la seconde approche de mimétisme là où aucune valeur n'a pu être attribuée par notre approche. Cela pourrait relever d'une agrégation moins fine des variables du modèle, notamment les zones de destination, ou d'une approche alternative basée sur une caractérisation des personnes et des ménages concernés par les erreurs d'affectation.

8.3.2 Densification polycentrique automatisée

En se basant sur la méthode de densification résidentielle monocentrique reposant sur l'utilisation du modèle de population cumulée de Bussière, il est possible d'imaginer une série de scénarios où

l'on se donnerait un ensemble de centres secondaires vers lesquels favoriser une augmentation des densités. Nous avons distingué trois types de scénarios qui pourraient être évalués par une méthode similaire à la nôtre, en modifiant simplement les nœuds considérés comme des centres secondaires ainsi que le découpage spatial utilisé. Ces scénarios proposent soit d'orienter la densification résidentielle vers les nœuds de transport collectif, soit vers les principales municipalités de la région montréalaise (Laval, Longueuil, Montréal), soit vers les principaux pôles d'emplois. Ces derniers pourraient être estimés en s'appuyant sur les destinations de motif travail enregistrés dans l'enquête OD de 2008.

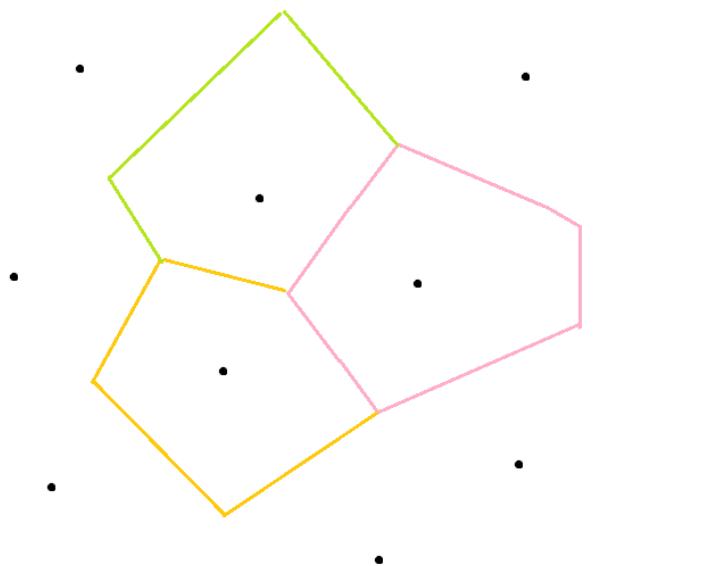


Figure 8.1 : Représentation schématique de centres secondaires et de leur zone d'influence respective définies par les polygones de Voronoï de l'ensemble des nœuds

Après avoir convenu d'un ensemble de centres secondaires pour orienter la procédure de densification, la méthode nécessite de déterminer une zone d'influence de ces centres. Nous proposons d'utiliser la notion de polygone de Voronoï pour définir ces zones. Ces polygones, représentés schématiquement sur la Figure 8.1, sont construits de façon à assurer que l'ensemble des points à l'intérieur d'un polygone ont tous le même nœud comme nœud le plus proche à vol d'oiseau. En pratique, les polygones de Voronoï s'obtiennent en considérant les médiatrices de chaque segment reliant deux centres secondaires. Ils sont calculables facilement par n'importe quel logiciel de SIG. Après les avoir construits pour l'ensemble des centres secondaires que l'on souhaite considérer, on imposera qu'aucun ménage ne puisse être relocalisé dans un autre polygone

que son polygone d'origine et nous chercherons à sélectionner des ménages en bordure des polygones pour les relocaliser à proximité du centre secondaire associé à leur polygone.

Si les secteurs municipaux de l'enquête Origine-Destination (OD) pouvaient convenir comme zones d'agrégation des lieux de résidence des ménages dans le cas d'une densification monocentrique à l'échelle de la région montréalaise, il faudra voir si les scénarios de densification polycentrique n'induisent pas un changement d'échelle contraignant à agréger les lieux de résidence sur la base d'un autre découpage spatial. Une méthode à envisager dans ce cas serait de définir un ensemble de zones concentriques à l'intérieur de la zone d'influence d'un centre secondaire (Figure 8.2) puis de procéder comme précédemment, c'est-à-dire, à une déformation de la répartition de la population par rapport au centre-secondaire, à la relocalisation des résidents et à l'affectation d'un comportement de mobilité aux personnes relocalisées.

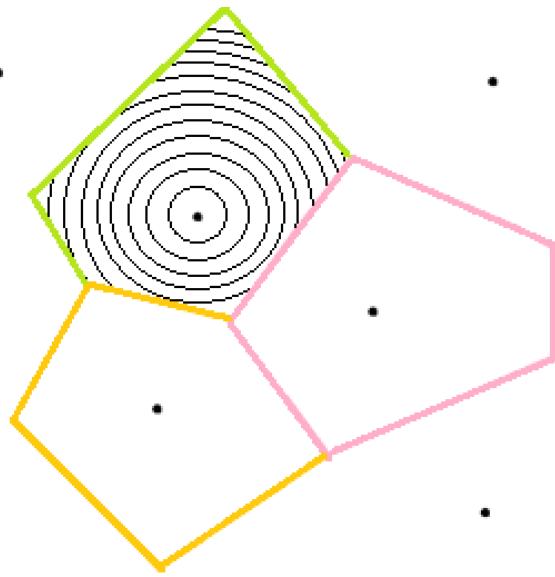


Figure 8.2 : Représentation schématique des polygones de Voronoi pour un ensemble de centres secondaires et construction de zones concentriques à l'intérieur d'un polygone

Concernant ce dernier point, notre étude a montré qu'il était délicat de procéder au mimétisme des comportements sur la base d'une agrégation spatiale minutieuse en raison du nombre limité d'enregistrements dans la base de données de l'enquête OD de 2008. Plusieurs pistes peuvent être explorées pour pallier cette lacune. Nous pouvons d'abord tenter d'apporter une solution en cherchant à développer notre méthode préliminaire de relocalisation des résidents, en s'appuyant sur une perturbation des facteurs de pondération utilisés dans les données de l'enquête OD de 2008.

On pourrait ainsi viser à augmenter les facteurs de pondération des personnes et des ménages à mesure que ceux-ci ont déclaré vivre proche d'un centre secondaire, au détriment des facteurs des personnes et des ménages qui résident à proximité des frontières des zones d'influence. Dans ce cas, il faudra préciser une série d'hypothèses en lien avec les limites que nous avons déjà mentionnées à propos d'une méthode qui s'appuierait sur une perturbation des facteurs de pondération. Si l'on choisit de conserver une approche de mimétisme par tirages aléatoires dans le cas d'une densification polycentrique, il est certain qu'il faudra procéder à un choix entre les différentes variables impliquées dans les typologies de ménages, de personnes et de déplacement considérées. Il est probable que cette approche ne soit pas valide si le nombre de centres secondaires devient trop important. Seul un échantillon plus large de données pourrait nous permettre d'envisager cette méthode dans le cas d'un ensemble de nœuds important.

Si l'ensemble des nœuds considérés comme des centres secondaires n'est pas trop important, il est possible qu'une agrégation des lieux de résidence selon le découpage des secteurs municipaux de l'enquête Origine-Destination soit encore envisageable. Dans ce cas, il ne sera pas nécessaire de procéder à une nouvelle segmentation à l'intérieur des zones d'influence. À la place, il pourrait être envisagé de redéfinir la zone d'influence en considérant l'ensemble des secteurs municipaux dont le centroïde se situe à l'intérieur du polygone de Voronoï associé à un centre secondaire. On considérera alors que les résidents de ces secteurs municipaux vont chercher à déménager à proximité du centre secondaire dont le polygone de Voronoï contient le centroïde de leur secteur municipal.

8.3.3 Relocalisations optimales des personnes et des lieux d'activité

Dans ce mémoire, nous avons choisi d'orienter les relocalisations de personnes, de ménages et de logements selon un principe de densification résidentielle, tantôt orienté vers le centre-ville de Montréal, tantôt orienté vers les nœuds de transport collectif. Si la notion de densification résidentielle est aujourd'hui une thématique en vogue dans les différentes instances en charge de la planification des transports et de l'aménagement, à commencer par les collectivités territoriales, d'autres orientations de la répartition de la population seraient intéressantes à envisager et à simuler.

Parmi ces scénarios alternatifs de répartition de la population, il pourrait être pertinent de s'intéresser à l'optimisation des coûts de déplacement à l'échelle de la métropole. Les personnes

ou les ménages pourraient par exemple être relocalisés individuellement pour minimiser le temps total de déplacement, puis, suite à l'atteinte d'un équilibre entre l'offre et la demande sur le réseau et à un transfert de mode de transport, celles-ci pourraient trouver un autre lieu de résidence de manière itérative, jusqu'à l'atteinte d'un temps total minimum sur les réseaux. Un travail d'optimisation similaire pourrait être implémenté pour la localisation des lieux d'activité.

Même si un tel scénario semble largement irréalisable dans la pratique, son estimation devrait apporter une quantification intéressante du potentiel des bénéfices maximaux que l'on peut espérer tirer d'une politique basée sur une relocalisation de la population ou des lieux d'activité.

BIBLIOGRAPHIE

- AMT. (2009). *Enquête Origine-Destination 2008 : La mobilité des personnes dans la région de Montréal*. AMT. Tiré de <https://www.amt.qc.ca/Media/Default/pdf/section8/mobilite-des-personnes-dans-la-region-de-montreal.pdf>
- Antoni, Bonin, Frankhauser, Hirtzel, Houot, Le Néchet, . . . Tomasoni. (2013). *Ville et mobilité durable: une évaluation par la simulation*. Communication présentée à Colloque international "Modélisation, dynamique urbaine et étalement urbain".
- Babisch. (2008). Road traffic noise and cardiovascular risk. *Noise and Health*, 10(38), 27-33.
- Ben-Akiva, & Bowman. (1998). Activity based travel demand model systems. Dans *Equilibrium and advanced transportation modelling* (p. 27-46): Springer.
- Ben-Akiva, & Lerman. (1985). *Discrete choice analysis, theory and application to travel demand* (vol. 4ème édition). Cambridge, Massachusetts, Etats-Unis: MIT Press.
- Bonnel. (2002). *Prévision de la demande de transport*. (Université Lumière - Lyon II, Economies et finances).
- Bonnel. (2004). *Prévoir la demande de transport*. Paris: Presses des Ponts
- Bonnel, Bouzouina, & Monchambert. (2013). Croissance urbaine et accessibilité : intérêts et limites de l'approche par les densités dans une perspective de modélisation de l'usage du sol. *Cybergeo*. doi: 10.4000/cybergeo.25892
- Bourbonnais (2016, 11 janvier 2016). [Apperçu historique des transports publics, cours de technologies de transport, Ecole Polytechnique de Montréal].
- Bussière. (1972). *Modèle urbain de localisation résidentielle*. Paris: Centre de recherche d'urbanisme.
- Chiesura. (2004). The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape and urban planning*, 68(1), 129-138.
- Cicolella. (2013). *Toxique planète: le scandale invisible des maladies chroniques*. Paris: Éditions du Seuil.
- Cloutier, Auberlet, Bruneau, Dommes, Granié, Paquin, . . . Torres. (2014). La ville sous nos pieds: connaissances et pratiques favorables aux mobilités piétonnes. Actes du 4e Colloque francophone international du GERIE COPIE.
- CMM. (2011). *Projet de Plan métropolitain d'aménagement et de développement*. Montréal: CMM. Tiré de http://cmm.qc.ca/fileadmin/user_upload/pmad2011/documentation/20110428_projetPMA_D_complet.pdf
- Cutts, Darby, Boone, & Brewis. (2009). City structure, obesity, and environmental justice: an integrated analysis of physical and social barriers to walkable streets and park access. *Social science & medicine*, 69(9), 1314-1322.

- De Nazelle, Nieuwenhuijsen, Antó, Brauer, Briggs, Braun-Fahrlander, . . . Fruin. (2011). Improving health through policies that promote active travel: a review of evidence to support integrated health impact assessment. *Environment international*, 37(4), 766-777.
- De Saint-Exupéry. (2001). *Le petit prince : avec des aquarelles de l'auteur*. Paris: Éditions Gallimard.
- Demers, & Forest. (2008). *Pour une ville qui marche : aménagement urbain et santé*. Montréal: Ecosociété.
- Desgagnés. (2004). *Prise en compte de scénarios d'aménagement dans un modèle de projection démographique à micro-échelle*. Communication présentée à Congrès et exposition annuels de l'Association des transports du Canada, Québec. Tiré de <http://conf.tac-atc.ca/english/resourcecentre/readingroom/conference/conf2004/docs/s6/desgagnes.pdf>
- Devroye. (1986). *Sample-based non-uniform random variate generation*. Communication présentée à Proceedings of the 18th conference on Winter simulation (p. 260-265).
- Domencich, & MacFadden. (1975). *Urban travel demand : a behavioural analysis*. Amsterdam, Pays-Bas: Elsevier.
- Enault. (2003). *Densité, population cumulée et temps d'accès : analyse des relations entre morphologie urbaine et temps d'accès dans l'aire urbaine dijonnaise*. Communication présentée à 6èmes Rencontres de Théo Quant, Besançon. Tiré de <http://thema.univ-fcomte.fr/theoq/pdf/2003/TQ2003%20ARTICLE%2016.pdf>
- Espinassous. (2010). *Pour une éducation buissonnière*. Saint-Étienne: Éditions Hesse.
- Espinassous. (2014). *Besoin de Nature, santé physique et psychique*. Saint-Étienne: Éditions Hesse.
- Ewing, Schmid, Killingsworth, Zlot, & Raudenbush. (2003). Relationship between urban sprawl and physical activity, obesity, and morbidity. *American journal of health promotion*, 18(1), 47-57.
- Frank, Andresen, & Schmid. (2004). Obesity relationships with community design, physical activity, and time spent in cars. *American journal of preventive medicine*, 27(2), 87-96.
- Giles-Corti, & Donovan. (2003). Relative influences of individual, social environmental, and physical environmental correlates of walking. *American journal of public health*, 93(9), 1583-1589.
- Gouvernement du Québec. (2006). *Loi sur le développement durable*. Tiré de <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr>ShowDoc/cs/D-8.1.1>
- Gouvernement du Québec. (2007). *Stratégie gouvernementale de développement durable 2015-2020*. Tiré de http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/developpement/strategie_gouvernementale/strategie-DD.pdf
- Health Effects Institute. (2010). *Traffic-related air pollution: a critical review of the literature on emissions, exposure, and health effects*. Health Effects Institute. Tiré de <https://www.healtheffects.org/publication/traffic-related-air-pollution-critical-review-literature-emissions-exposure-and-health>
- Illich, Giard, & Dupuy. (1973). *Énergie et équité*. Paris: Editions du Seuil.

- Jeon, Lokken, Hu, & Van Dam. (2007). Physical activity of moderate intensity and risk of type 2 diabetes a systematic review. *Diabetes care*, 30(3), 744-752.
- Kaufmann. (2008). *Les paradoxes de la mobilité: bouger, s' enracer*. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Le Breton. (2012). *Marcher : Eloge des chemins et de la lenteur*. Paris: Editions Métailié.
- Le Gauffre (2016, Mars 2015). [Simulation stochastique et méthode de Monte-Carlo, cours d'Aide à la Décision 2 (AD2), Institut National des Sciences Appliquées de Lyon].
- Lim, Vos, Flaxman, Danaei, Shibuya, Adair-Rohani, . . . Andrews. (2013). A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The lancet*, 380(9859), 2224-2260.
- Lopez. (2004). Urban sprawl and risk for being overweight or obese. *American Journal of Public Health*, 94(9), 1574-1579.
- Ma. (2007). *Modèle dynamique de transport basé sur les activités*. (Ecole des Ponts ParisTech, Paris). Tiré de <https://tel.archives-ouvertes.fr/pastel-00003309/document>
- Manheim. (1984). *Fundamentals of transportation systems analysis, vol 1 : basic concepts*. Cambridge, Massachusetts, Etats-Unis: MIT Press.
- Marconis, & Vivier. (2009). *150 ans de transports publics à Toulouse*. Toulouse: Editions Privat.
- Martin. (2016). *Exploration de données spatiales pour l'analyse des victimes routières et du partage de la rue*. (École Polytechnique de Montréal).
- Miedema, & Oudshoorn. (2001). Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environmental health perspectives*, 109(4), 409.
- Miranda-Moreno, Morency, & El-Geneidy. (2011). The link between built environment, pedestrian activity and pedestrian–vehicle collision occurrence at signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 43(5), 1624-1634.
- Mohamed, Saunier, Miranda-Moreno, & Ukkusuri. (2013). A clustering regression approach: A comprehensive injury severity analysis of pedestrian–vehicle crashes in New York, US and Montreal, Canada. *Safety science*, 54 27-37.
- Morency. (2005). *Contributions à la modélisation totalement désagrégée des interactions entre mobilité urbaine et dynamiques spatiales*. (Ecole Polytechnique de Montréal).
- Morency (2015, 15 octobre 2015). [cours de planification des transports, Ecole Polytechnique de Montréal].
- Morency, & Trépanier. (2013). *Enrichissement du processus de modélisation de la demande de transport à l'aide des modèles d'activités*. Ecole Polytechnique de Montréal. Tiré de <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1147869.pdf>
- Morency, Trépanier, & Demers. (2011). Walking to transit: An unexpected source of physical activity. *Transport Policy*, 18(6), 800-806. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2011.03.010>

- MTQ. (2016). *Prévision de la demande en transport des personnes : scénario tendanciel Montréal 2008-2031*. Présentation Power Point. MTQ.
- Newman, & Kenworthy. (1989). *Cities and automobile dependence : and international sourcebook*. Brookfield, Etats-Unis: Gower Publishing.
- Nouri. (2016). *Enhancing the Gasoline Vehicles' CO2 Emissions Estimation in Montreal*. (École Polytechnique de Montréal).
- Oja, Titze, Bauman, De Geus, Krenn, Reger-Nash, & Kohlberger. (2011). Health benefits of cycling: a systematic review. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(4), 496-509.
- Ortuzar, & Willumsen. (2001). *Modelling Transport* (vol. (third edition)). Chichester: Wiley.
- Paluska, & Schwenk. (2000). Physical activity and mental health. *Sports medicine*, 29(3), 167-180.
- Pas. (1997). *Recent advances in activity-based travel demand modeling*. Communication présentée à Activity-Based Travel Forecasting Conference.
- Patterson, Damant-Sirois, & El-Geneidy. (2014). *Nouveau modèle urbain : vers la mise en place d'un cadre intégré de modélisation*. Tiré de <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1164907.pdf>
- Pérez López. (2015). Quand le piéton défie la ville: traverser la chaussée à Mexico. *Environnement Urbain/Urban Environment [en ligne]*, 9. Tiré de <http://eue.revues.org/538>
- Pirrera, De Valck, & Cluydts. (2010). Nocturnal road traffic noise: A review on its assessment and consequences on sleep and health. *Environment international*, 36(5), 492-498.
- Poliquin, Morency, & Demers. (2014). *Estimation du marché actuel et potentiel de la marche à Montréal*. Communication présentée à Connaissances et pratiques favorables aux mobilités piétonnes, Montréal, Canada (p. 51-64). Tiré de http://www.copie.ucs.inrs.ca/Actes_colloques_COPIE_VF.pdf
- Potestio, Patel, Powell, McNeil, Jacobson, & McLaren. (2009). Is there an association between spatial access to parks/green space and childhood overweight/obesity in Calgary, Canada? *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 6(1), 77.
- Pouyanne. (2004). Des avantages comparatifs de la ville compacte à l'interaction forme urbaine-mobilité. Méthodologie et premiers résultats. *Les cahiers scientifiques du transport*, 45 49-82.
- Reyes, Páez, & Morency. (2014). Walking accessibility to urban parks by children: a case study of Montreal. *Landscape and Urban Planning*, 125 38-47.
- Ries, Voorhees, Roche, Gittelsohn, Yan, & Astone. (2009). A quantitative examination of park characteristics related to park use and physical activity among urban youth. *Journal of Adolescent Health*, 45(3), S64-S70.
- Rissel, Curac, Greenaway, & Bauman. (2012). Physical activity associated with public transport use—a review and modelling of potential benefits. *International journal of environmental research and public health*, 9(7), 2454-2478.
- Rodrigue, Comtois, & Slack. (2013). *The geography of transport systems*. New York: Routledge.

- Roorda, & Miller. (2006). Assessing transportation policy using an activity-based microsimulation model of travel demand. *ITE Journal*, 76(11), 16-21.
- SAAQ. (2016). Bilan routier 2016. Québec : Société de l'Assurance Automobile du Québec. Tiré de <https://saaq.gouv.qc.ca/fileadmin/documents/publications/bilan-routier-2016.pdf>
- Sallis, Bowles, Bauman, Ainsworth, Bull, Craig, ... Matsudo. (2009). Neighborhood environments and physical activity among adults in 11 countries. *American journal of preventive medicine*, 36(6), 484-490.
- Sattelmair, Pertman, Ding, Kohl, Haskell, & Lee. (2011). Dose response between physical activity and risk of coronary heart disease a meta-analysis. *Circulation*, 124(7), 789-795.
- Saunier, & Rabion. (2014). Analyse d'interactions entre usagers motorisés et non-motorisés en présence de pistes cyclables: cas d'étude à Montréal. *Connaissances et pratiques favorables aux mobilités piétonnes* 265-275. Tiré de http://www.copie.ucs.inrs.ca/Actes_colloques_COPIE_VF.pdf
- Schéou. (1998). L'estimation de la population totale à un niveau communal: utilisation d'une fonction de densité exponentielle négative. *Espace géographique*, 27(4), 301-316.
- Sisiopiku, & Akin. (2003). Pedestrian behaviors and perceptions towards various pedestrian facilities: an examination based on observation and survey data. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 6(4), 249-274. doi: 10.1016/j.trf.2003.06.001
- Smargiassi, Morency, Morency, Hatzopoulou, & Eluru. (2014). *Quantification of health risks and benefits of future transportation plans*. Demande de subventions (document non publié). Instituts de recherche en santé du Canada.
- Théberge-Barrette. (2013). *Modéliser l'impact de la construction résidentielle sur la demande de déplacements* (Ecole Polytechnique de Montréal).
- Touzin. (2013). *Étude des méthodes de Monte-Carlo et de leurs efficacités relatives*. (Université du Québec à Trois-Rivières).
- Trépanier, & Chapleau. (2001). Analyse orientée-objet et totalement désagrégée des données d'enquêtes ménages origine-destination. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 28(1), 48-58. doi: 10.1139/l00-106
- Ville de Montréal. (2008). *Réinventer Montréal : Plan de transport 2008*. Montréal: Ville de Montréal. Tiré de http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ARROND_VSP_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PLAN_DE_TRANSPORT_2008_0.PDF
- Witten, Hiscock, Pearce, & Blakely. (2008). Neighbourhood access to open spaces and the physical activity of residents: a national study. *Preventive medicine*, 47(3), 299-303.
- Wolin, Yan, Colditz, & Lee. (2009). Physical activity and colon cancer prevention: a meta-analysis. *British journal of cancer*, 100(4), 611-616.
- World Health Organization. (2010). Global Recommendations on Physical Activity for Health. Genève: ISBN 978-92-4-159-997-9.
- World Health Organization. (2013). *Global status report on road safety 2013: supporting a decade of action*. Genève, Suisse: World Health Organization.

Wu, Zhang, & Kang. (2013). Physical activity and risk of breast cancer: a meta-analysis of prospective studies. *Breast cancer research and treatment*, 137(3), 869-882.

Yasmin. (2016). *Enhancing the Modelling of Travel Demand Using an Activity-Based Approach*. (École Polytechnique de Montréal).

ANNEXE A – DÉTAILS PROCÉDURAUX POUR LA MÉTHODE DE RELOCALISATION DE LA POPULATION DE MÉNAGES PAR SÉLECTION ALÉATOIRE - ETAPE DE « SEGMENTATION DES SECTEURS ET DES MÉNAGES »

Cette étape préliminaire à l'étape de relocalisation de la population du schéma méthodologique exposé en Figure 5.1, consiste fondamentalement à un réarrangement des données sources résultant de l'étape de définition des cibles de densité. Les trois sections qui suivent détaillent les tables de données utilisées ainsi qu'un ensemble de macro VBA qui permettent de les générer, en fonction des cibles de densité. Les fonctions présentées dans cette section réalisent des traitements de données élémentaires (sélection, copies) et leur implémentation ne sera pas détaillée.

- **Tables de données « smlog_surplus » et « men_don » :**

Les onglets « smlog_surplus » et « men_don » du fichier Excel présentent les tables de données dont un extrait est présenté dans les tables ci-dessous pour un taux de perturbation donné de la fonction de Bussière. Ces deux tables de données constituent les entrées fondamentales de l'algorithme qui a été construit par une succession de macros VBA et s'obtiennent essentiellement à partir des surplus calculés précédemment. On définit le type d'un secteur par le signe de son surplus. Si le surplus est négatif, alors le secteur est défini comme un « secteur receveur » (on cherche à augmenter son nombre de ménage), sinon le secteur est défini comme un « secteur donneur » (il donne des ménages aux autres secteurs). De même on parlera de « ménage receveur » et de « ménage donneur » en fonction du type du secteur de résidence du ménage dans le fichier de l'enquête OD.

Concrètement, la table « smlog_surplus » indique pour tous les secteurs d'agrégation quelle est leur distance par rapport au centre-ville de Montréal (DCV), leur type (« donneur » ou « receveur ») et, enfin, leur surplus, c'est-à-dire le nombre de ménages qu'ils devront fournir ou accueillir selon le niveau de densification que l'on s'est fixé. La table « men_don » indique pour chaque ménage du fichier de l'enquête OD, le secteur de son lieu de résidence (smlog) ainsi que sa distance au centre-ville (c'est à dire celle de son secteur de résidence), le facteur de pondération du ménage et le type (« donneur » ou « receveur ») du secteur de résidence.

Tableau A.1 : Extrait de la table de données « smlog_surplus » dans le cas d'une simulation de densification au seuil défini par le paramètre $b = 0,00015$ (soit une distance $1/b = 6,66 \text{ km}$)

Smlog (identifiant du secteur municipal de l'enquête OD de 2008)	DCV (m)	Surplus (nombre de ménages à donner ou à recevoir)	donneur_receveur (segmentation des secteurs selon le type « donneur » ou « receveur »)
101	-	2 595	donneur
102	2 471	50 718	receveur
106	2 978	13 041	donneur
122	3 369	20 018	receveur

Tableau A.2 : Extrait de la table de données « men_don » dans le cas d'une simulation de densification au seuil défini par le paramètre $b = 0,00015$ (soit une distance $1/b = 6,66 \text{ km}$)

Nolog (identifiant du ménage)	Smlog (identifiant du secteur municipal de l'enquête OD de 2008)	DCV (m)	Facmen (facteur de pondération du ménage)	smlog_donneur (segmentation des ménages selon le type « donneur » ou « receveur » du secteur de domicile)
141833	104	4 658	29.34	donneur
5174	543	11 908	17.57	receveur
30563	104	4 658	27.94	donneur
211490	104	4 658	25.34	donneur

Ces deux tables de données sont utilisés par l'algorithme pour générer les tables de données présentées aux paragraphes suivant à l'aide des macros VBA nommées GENERE_SMLOG_DON_REC_SURPLUS_CV() et GENER_MEN_DON_REC_CV() dans le fichier Excel. Afin de prévenir des erreurs qui pourraient survenir suite à plusieurs exécutions de ces macros, les macros SUPPR_SMLOG_DON_REC_SURPLUS_CV() et SUPPR_MEN_DON_REC_CV() devront être exécutées préalablement à l'exécution des macros GENERE_SMLOG_DON_REC_SURPLUS_CV() et GENER_MEN_DON_REC_CV(). La macro SUPPR_SMLOG_DON_REC_SURPLUS_CV() permet en fait de supprimer l'ensemble des enregistrements présents dans les tables « smlog_don_surplus_cv » et « smlog_rec_surplus_cv » et la macro SUPPR_MEN_DON_REC_CV() supprime ceux des tables « men_don_cv » et « men_rec_cv ».

- **Tables de données « smlog_don_surplus_cv » et « smlog_rec_surplus_cv »**

Les tables de données « smlog_don_surplus_cv » et « smlog_rec_surplus_cv », présentées dans les tableaux ci-dessous, constituent de simples copies des données de la table « smlog_surplus »

présentée dans la section précédente sur laquelle les données ont été filtrées selon le type de secteur. Ainsi, la table « smlog_don_surplus_cv » présente les secteurs municipaux de type « donneur » alors que la table « smlog_rec_surplus_cv » contient les données des secteurs municipaux de type « receveur ». Ces deux tables n'ont été générées que dans le but de manipuler les données plus aisément à l'aide de macros VBA et sont obtenues par le déroulement successif des macros SUPPR_SMLOG_DON_REC_SURPLUS_CV() et GENERE_SMLOG_DON_REC_SURPLUS_CV() du module VBA.

Tableau A.3 : Extrait de la table de données « smlog_don_surplus_cv » dans le cas d'une simulation de densification au seuil défini par le paramètre $b = 0,00015$ (soit une distance $1/b = 6,66$ km)

Smlog (identifiant du secteur municipal de l'enquête OD de 2008)	DCV (m)	Surplus (nombre de ménages à donner ou à recevoir)	donneur_receveur (segmentation des secteurs selon le type « donneur » ou « receveur »)
101	0	2 595	donneur
106	2978	13 041	donneur
103	3843	12 115	donneur
104	4658	22 812	donneur

Tableau A.4 : Extrait de la table de données « smlog_rec_surplus_cv » dans le cas d'une simulation de densification au seuil défini par le paramètre $b = 0,00015$ (soit une distance $1/b = 6,66$ km)

Smlog (identifiant du secteur municipal de l'enquête OD de 2008)	DCV (m)	Surplus (nombre de ménages à donner ou à recevoir)	donneur_receveur (segmentation des secteurs selon le type « donneur » ou « receveur »)
102	2471	-	receveur
122	3369	-	receveur
121	3580	-	receveur
304	4545	-	receveur

- **Tables de données « men_don_cv » et « men_rec_cv » :**

Les tables de données « men_don_cv » et « men_rec_cv », présentées dans les tableaux suivants, constituent de simples copies des données de la table « men_don » sur laquelle les données ont été

filtrées selon le type de secteur du lieu de résidence des ménages²³ et ordonnées aléatoirement au sein d'un même secteur à l'aide d'un tri à trois niveaux sur les attributs « DCV » puis « Smlog » puis « Alea », généré pour chaque ménage par la fonction *Randomize* en VBA (nombre aléatoire entre 0 et 1).

L'exécution des macros `GENER_MEN_DON_REC_CV()` et `ORDONNE_MEN_DON_REC_CV_ALEA_DCV_SMLOG()` du module VBA permet de générer ces deux nouvelles tables de données à partir de la table « *men_don* ». Plus précisément, la macro `GENER_MEN_DON_REC_CV()` construit les deux tables de données à partir de la table « *men_don* » et attribue un nombre aléatoire à chaque enregistrement, puis la macro `ORDONNE_MEN_DON_REC_CV_ALEA_DCV_SMLOG()`, qui lui succède, s'assure d'ordonner les enregistrement de ménages selon la distance au centre-ville de leur secteur de résidence, le secteur municipal de résidence (smlog) et le nombre aléatoire (Aléa).

Ces deux tables ont été générées dans l'optique de manipuler les données plus aisément à l'aide de macros VBA et permettent de garantir le caractère aléatoire de la sélection des ménages que l'on relocalise depuis un secteur périphérique (secteur « donneur ») vers un secteur central (secteur « receveur ») lorsque l'on parcourt dans l'ordre la table « *men_don_cv* » (ceci est réalisé par la macro `MEN_SELECT()` détaillée dans le paragraphe suivant) ou bien, lorsque l'on cherche une nouvelle adresse de résidence aléatoirement pour les ménages relocalisés vers les secteurs de type « receveur » (ceci est réalisé par l'exécution de plusieurs macros, détaillé plus en aval de ce rapport).

Tableau A.5 : Extrait de la table de données « *men_don_cv* » dans le cas d'une simulation de densification au seuil défini par le paramètre $b = 0,00015$ (soit une distance $1/b = 6,66 \text{ km}$)

Nolog (identifiant du ménage)	Smlog (identifiant du secteur municipal de l'enquête OD de 2008)	DCV (m)	Facmen (facteur de pondération du ménage)	smlog_donneur (segmentation des ménages selon le type « donneur » ou « receveur » du secteur de domicile)	Alea (nombre aléatoire généré dans]0;1[))
222 303	101	0	29.75	donneur	0.001
108 459	101	0	23.93	donneur	0.006
15 919	101	0	32.95	donneur	0.015
118 579	101	0	29.75	donneur	0.016

²³ la table « *men_don_cv* » présente les données des ménages résidents des secteurs municipaux de type « donneur » et la table « *men_rec_cv* » contient les données des ménages résidents des secteurs municipaux de type « receveur »

Tableau A.6 : Extrait de la table de données « men_rec_cv » dans le cas d'une simulation de densification au seuil défini par le paramètre $b = 0,00015$ (soit une distance $1/b = 6,66 \text{ km}$)

Nolog (identifiant du ménage)	Smlog (identifiant du secteur municipal de l'enquête OD de 2008)	DCV (m)	Facmen (facteur de pondération du ménage)	smlog_donneur (segmentation des ménages selon le type « donneur » ou « receveur » du secteur de domicile)	Alea (nombre aléatoire généré dans]0;1[))
100 648	102	2 471	24.56	receveur	0.0000
253 459	102	2 471	24.56	receveur	0.0007
190 443	102	2 471	30.62	receveur	0.0013
51 932	102	2 471	27.26	receveur	0.0015

ANNEXE B – DÉTAILS PROCÉDURAUX POUR LA MÉTHODE DE RELOCALISATION DE LA POPULATION DE MÉNAGES PAR SÉLECTION ALÉATOIRE - ÉTAPE DE « SÉLECTION ALÉATOIRE DE MÉNAGES CANDIDATS À UNE RELOCALISATION »

- **Garantir le caractère aléatoire de la méthode :**

La sélection aléatoire des ménages est garantie par la génération d'un rang aléatoire (réalisé par la macro `GENER_MEN_DON_REC_CV()`) pour chaque ménage puis par un tri aléatoire de la table « `men_don_cv` » (réalisé par la macro `ORDONNE_MEN_DON_REC_CV_ALEA_DCV_SMLOG()`). Dès lors, il suffit de parcourir la table de données ordonnée aléatoirement pour garantir le caractère aléatoire de la sélection réalisée par l'exécution de la macro `MEN_SELECT()`.

- **Constitution d'un ensemble de ménages candidats à une relocalisation : génération de la table de données « `men_smlog_new` » :**

La macro `MEN_SELECT()` permet de générer la table de données « `men_smlog_new` » (cf. tableau suivant) à partir des tables « `smlog_don_surplus_cv` » et « `men_don_cv` ». Cette macro, présentée dans l'organigramme ci-dessous, sélectionne des ménages résidents des secteurs donneurs pour constituer un groupe de ménages candidats à une relocalisation vers un secteur central. Concrètement, la table de données « `men_smlog_new` » présente un ensemble de ménages sélectionnés aléatoirement dans les secteurs périphériques de façon à respecter le surplus de ces secteurs, soit le nombre de ménages à relocaliser selon les cibles de densité préalablement définies.

Tableau B.1 : Extrait de la table de données « `men_smlog_new` » dans le cas d'une simulation de densification au seuil défini par le paramètre $b = 0,00015$ (soit une distance $1/b = 6,66 \text{ km}$)

Nolog (identifiant du ménage « mobile » sélectionné aléatoirement parmi les ménages résidant d'un secteur « donneur »)	Facmen (facteur de pondération du ménage)	Alea (nombre aléatoire généré dans $]0;1[$)
75 980	16.36	0.000017
222 299	24.21	0.000021
11 258	23.57	0.000022
37 958	29.31	0.000055

Une première boucle permet de parcourir chaque secteur municipal de type « donneur » inscrit dans la table de données « `smlog_don_surplus_cv` » et de garder en mémoire son surplus, puis, une

deuxième boucle inscrit successivement dans la nouvelle table « men_smlog_new » une séquence de ménages (enregistrements de la table de données « men_don_cv ») provenant du secteur « donneur » en cours de traitement tel que la somme des facteurs de pondération des ménages sélectionnés aléatoirement²⁴ par secteur équivaille au surplus du secteur en cours de traitement.

Par exemple, au moment où la première boucle s'arrête sur le secteur 101, le secteur 101 devient le secteur « donneur » en cours de traitement et on enregistre son surplus, soit environ 2594,8 ; la deuxième boucle parcourt alors (dans l'ordre) les données de la table « men_don_cv », qui contient l'ensemble des ménages résidents des secteurs « donneurs » ainsi que leurs facteurs de pondération et sélectionne successivement des ménages tout en cumulant leur facteur de pondération dans une variable nommée « compteur », jusqu'à atteindre le surplus du secteur en cours de traitement (arrêt lorsque compteur > surplus ; soit 2594,8 dans ce cas-ci). Les ménages sélectionnés sont inscrits l'un après l'autre dans la table « men_smlog_new » avant d'itérer la première boucle et de traiter le secteur suivant, jusqu'au traitement de l'ensemble des secteurs « donneurs » défini par taux de densification choisi. En parallèle des opérations qui viennent d'être décrites, la procédure MEN_SELECT() affecte à chaque nouvel enregistrement de la table « men_smlog_new » un nombre aléatoire entre 0 et 1, par l'intermédiaire du générateur de nombres aléatoires *Randomize*, ceci dans l'optique d'affecter un nouveau secteur de résidence de façon aléatoire à chaque candidat à une relocalisation présent dans la table « men_smlog_new ».

Comme dans le cas des macros SUPPR_SMLOG_DON_REC_SURPLUS_CV() et SUPPR_MEN_DON_REC_CV(), dont a vu qu'elles devaient être exécutées avant SUPPR_SMLOG_DON_REC_SURPLUS_CV() et GENER_MEN_DON_REC_CV(), l'exécution de la macro MEN_SELECT() doit faire suite à celle de la macro SUPPR_MEN_SMLOG_NEW() qui permet de supprimer les données de la table « men_smlog_new » générée par une première exécution de la macro MEN_SELECT(). D'une manière générale, les macros chargées de supprimer les données des tables intermédiaires entre deux générations successives du programme sont exécutées au début du programme.

²⁴ La table de données « men_don_cv » est ordonnée aléatoirement par secteurs

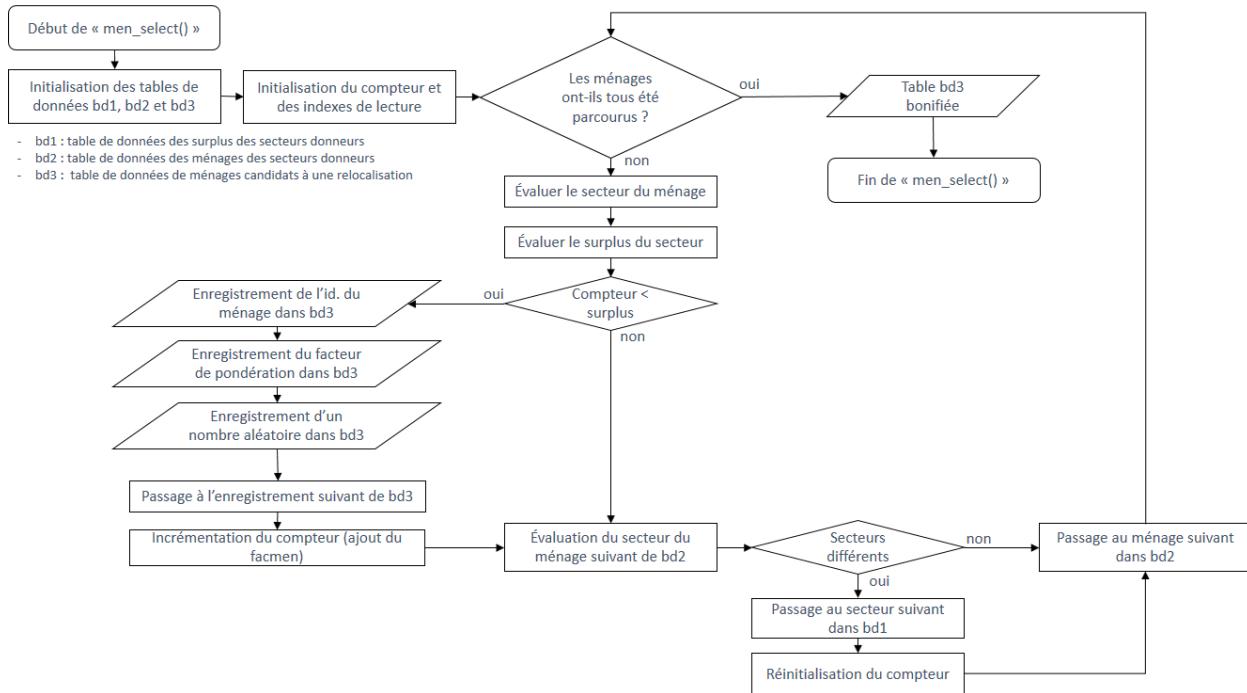


Figure B.1 : Diagramme algorithmique de la fonction « MEN_SELECT() »

ANNEXE C – DÉTAILS PROCÉDURAUX POUR LA MÉTHODE DE RELOCALISATION DE LA POPULATION DE MÉNAGES PAR SÉLECTION ALÉATOIRE - ÉTAPE DE « SÉLECTION ALÉATOIRE D’UN SECTEUR D’ACCUEIL POUR LES MÉNAGES RELOCALISÉS »

Après avoir constitué un ensemble de ménages candidats à une relocalisation par les moyens développés dans la section précédente (5.3.2), l'étape suivante consiste à associer à chacun de ces ménages un nouveau secteur municipal de résidence en garantissant le caractère aléatoire des affectations.

- **Garantir le caractère aléatoire de la méthode :**

Pour chacun des ménages prélevés aléatoirement dans un secteur « donneur » (en respectant les surplus relatifs au seuil de densification choisi), on cherche à affecter un nouveau secteur de résidence lui aussi déterminé de façon aléatoire afin de garantir une mixité de provenance des migrants dans les secteurs « receveurs » et de rendre ainsi la procédure plus neutre. C'est à cet effet que l'attribut « Alea » a été généré au moment de la création de la table « men_smlog_new » par la macro `MEN_SELECT()`.

Suite à l'exécution de cette macro, la macro `ORDONNE_MEN_SMLOG_NEW_ALEA()` est appelée pour réordonner les données de ménages « candidats à une relocalisation » aléatoirement de sorte que les ménages de même provenance ne constituent plus des enregistrements successifs et que l'on puisse attribuer successivement un secteur municipal à chaque enregistrement de façon aléatoire. La procédure utilisée pour attribuer un nouveau secteur de résidence (parmi les secteurs de type « receveur ») aux ménages candidats à une relocalisation (enregistrements de la table de données « men_smlog_new ») est décrite dans la section suivante.

- **Affectation d'un secteur d'accueil aux ménages relocalisés : bonification de la table de données « men_smlog_new » :**

La macro `GENERE_NOUVEAU_SMLOG()` permet d'attribuer un nouveau secteur de résidence aux ménages candidats à une relocalisation dans la table de données « men_smlog_new » générée par la macro `MEN_SELECT()` puis ordonnée aléatoirement par la macro `ORDONNE_MEN_SMLOG_NEW_ALEA()`. Cette fonction parcourt les tables de données « men_smlog_new » et « smlog_rec_surplus_cv » et inscrit un nouvel attribut dans la table

« men_smlog_new », correspondant à un nouveau secteur de résidence pour le ménage candidat à une relocalisation, en s'assurant que le critère de surplus (relatif au seuil de densification choisi et correspondant à l'opposé du nombre de places disponibles dans le secteur de type « receveur ») ne soit pas dépassé par le cumul des facteurs de pondération des ménages relocalisés.

Du fait de la marge de tolérance sur le critère du nombre du surplus (la somme des facteurs de pondération ne tombe jamais égale au surplus), il est possible que certains ménages candidats à une relocalisation (enregistrements de la table « men_smlog_new ») ne se voient attribuer aucun nouveau secteur de résidence. Dans ce cas, qui peut se produire pour certains niveaux de densification²⁵, les ménage « excédentaires » ne sont pas relocalisés. Un extrait de la table de données « men_smlog_new » bonifiée par l'exécution de la macro GENERE_NOUVEAU_SMLOG() est présenté ci-dessous. L'attribut « smlog_new » correspond au nouveau secteur de domicile des ménages relocalisés. En particulier, ce tableau permet de remarquer que la procédure traite successivement chacun des secteurs (ici, seul le secteur « receveur » 102 a été affecté à des ménages provenant de secteurs de type « donneur ») et c'est pourquoi la table « men_smlog_new » a été ordonnée selon l'attribut « Alea » pour garantir la mixité des provenances de ménages relocalisés dans les secteurs centraux (comme le secteur 102)²⁶.

Tableau C.1 : Extrait de la table de données "men_smlog_new" bonifiée du nouveau secteur de domicile pour chaque ménage « mobile »

Nolog (identifiant du ménage « mobile » sélectionné aléatoirement parmi les ménages résidant d'un secteur « donneur »)	Facmen (facteur de pondération du ménage)	Alea (nombre aléatoire généré dans]0;1[)	smlog_new (nouveau secteur de résidence du ménage « mobile »)
75 980	16.36	0.000017	102
222 299	24.21	0.000021	102
11 258	23.57	0.000022	102
37 958	29.31	0.000055	102

²⁵ Par exemple, pour un niveau de densification défini par le paramètre $b = 0,00025$ (soit une distance $1/b = 4,00 \text{ km}$) et pour une exécution du programme en particulier, il a été observé 20 enregistrements de ménages « candidats à une relocalisation » dans cette situation, représentant un total de 534 ménages par l'intermédiaire de leurs facteurs de pondération. Cela peut être considéré comme peu important devant les 36289 enregistrements de ménages « candidats à une relocalisation » (soit 900 856 ménages) ayant correctement été traités dans ce cas précis.

²⁶ Sinon, les nouveaux ménages du secteur 102 proviendraient d'un nombre restreint de secteurs périphériques

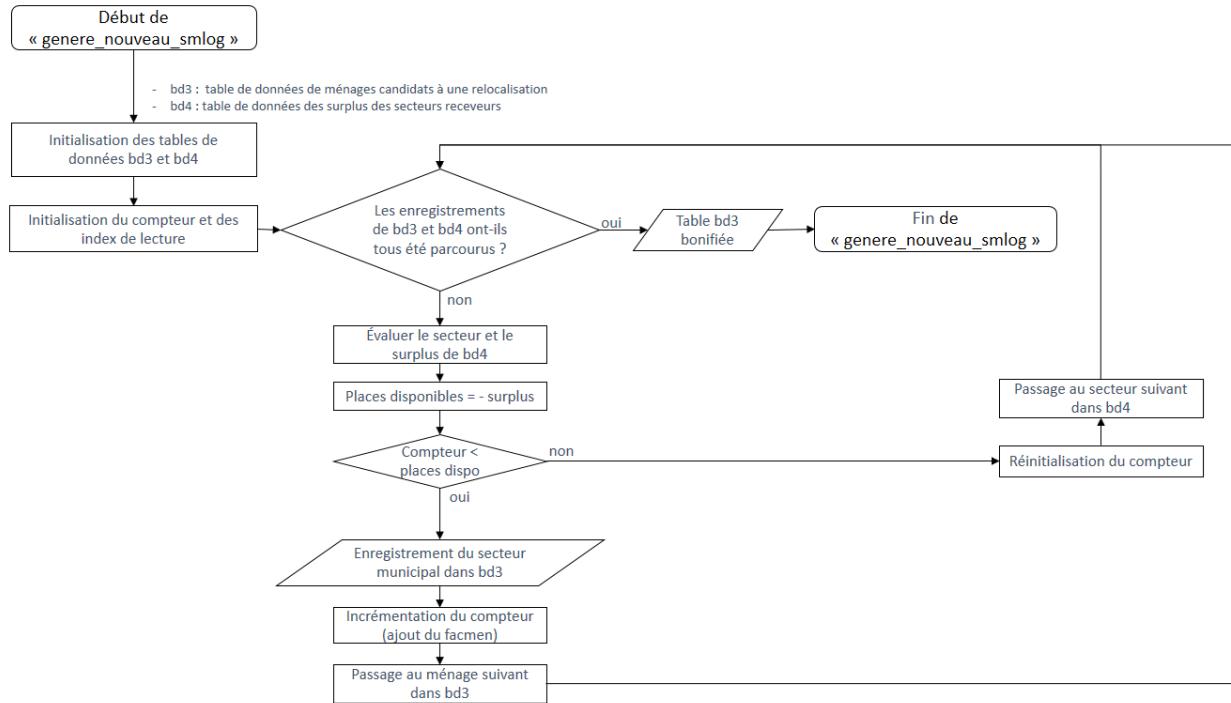


Figure C.1 : Diagramme algorithmique de la fonction « GENERE_NOUVEAU_SMLOG() »

ANNEXE D – DÉTAILS PROCÉDURAUX POUR LA MÉTHODE DE RELOCALISATION DE LA POPULATION DE MÉNAGES PAR SÉLECTION ALÉATOIRE - ÉTAPE DE « SÉLECTION ALÉATOIRE D'UNE NOUVELLE ADRESSE DE RÉSIDENCE »

- **Sélection aléatoire d'une nouvelle adresse de résidence :**

Après avoir déterminé un nouveau secteur de résidence pour les ménages à relocaliser dans des secteurs centraux, comme cela a été développé dans les sections précédentes, on peut chercher à attribuer à chacun des ménages relocalisés une nouvelle adresse de résidence dans son nouveau secteur de domicile. Nous avons besoin d'une telle information pour la première approche de mimétisme que nous avons étudiée.

Pour simplifier, il a été choisi d'attribuer à ces ménages une adresse déjà occupée par des ménages résidents dans le secteur d'accueil. Le choix d'une nouvelle adresse (représentée par un couple de coordonnées (x, y) dans le système de projection MTM8) se fait alors en sélectionnant aléatoirement un ménage « d'ancrage » parmi les ménages résidents déjà dans le secteur d'accueil à l'aide de la table de données « men_rec_cv » et de la macro `ANCRAGE_SELECT_V2()`. Il suffit ensuite de recopier les coordonnées du ménage d'ancrage dans la base de données des ménages relocalisés.

- **Garantir le caractère aléatoire de la méthode :**

La sélection aléatoire des ménages est garantie par la génération d'un rang aléatoire (réalisé par la macro `GENER_MEN_DON_REC_CV()`) pour chaque ménage de la table de données « men_rec_cv », puis, par un tri aléatoire de la table « men_rec_cv » (réalisé par la macro `ORDONNE_MEN_DON_REC_CV_ALEA_DCV_SMLOG()`). Dès lors, il suffit de parcourir la table de données ordonnée aléatoirement pour garantir le caractère aléatoire de la sélection des ménages « d'ancrage » réalisée par l'exécution de la macro `ANCRAGE_SELECT_V2()`.

- **Affectation d'un ménage d'ancrage aux ménages relocalisés : bonification de la table de données « men_smlog_new » :**

En pratique, la macro `ANCRAGE_SELECT_V2()` (diagramme ci-dessous) boucle sur les tables « men_smlog_new » et « men_rec_cv » et inscrit un nouvel attribut à la table « men_smlog_new »,

nommé « nolog_ancrage » qui constitue l’identifiant du ménage d’ancrage sélectionné parmi les enregistrements de la table « men_rec_cv ». Ce ménage d’ancra est utilisé pour définir le nouveau lieu de résidence d’un ménage relocalisé dans le même secteur.

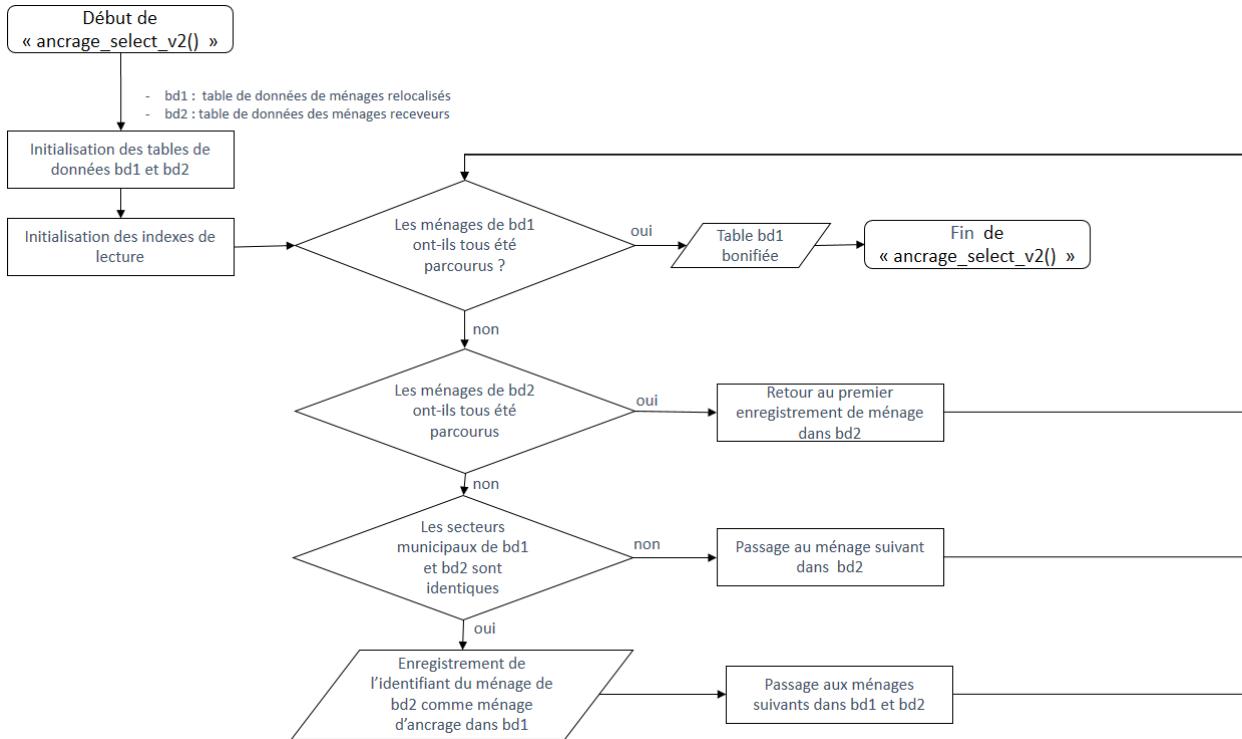


Figure D.1 : Diagramme algorithmique de la fonction « ANCRAVE_SELECT_V2() »

Tableau D.1 : Extrait de la table de données « men_smlog_new » bonifiée de l’identifiant du ménage d’ancrage pour chaque ménage « mobile » dans le cas d’une simulation de densification au seuil défini par le paramètre $b = 0,00025$ (soit une distance $1/b = 4,00 \text{ km}$)

Nolog (cf.)	Facmen (cf.)	Alea (cf.)	smlog_new (cf.)	nolog_ancrage
194 081	35.8	0.00002	101	139 606
191 709	29.07	0.00003	101	152 368
21 304	33.82	0.00006	101	128 130
197 185	18.96	0.00007	101	34 343

- Copie des coordonnées du ménage d’ancrage et des ménages receveurs :**

Après avoir attribué à chaque ménage relocalisé un ménage d’ancrage avec la macro ANCRAVE_SELECT_V2(), l’exécution de la macro RECHERCHE_COORD_NOLOG_ANCRAGE_MTM8() bonifie la table « men_smlog_new » en recherchant les coordonnées X et Y du ménage

« d'ancrage » en MTM8 que l'on attribue de fait au ménage « mobile » associé. Parallèlement, l'exécution de la macro `RECHERCHE_COORD_NOLOG_MEN_REC_CV()` permet de bonifier la table « `men_rec_cv` » en lui ajoutant les attributs « `nolog_men_rec_xmtm8` » et « `nolog_men_rec_ymtm8` » qui représentent les coordonnées en MTM8 de chacun des ménages dont le lieu de résidence initial se trouve dans un secteur « receveur ». Dans la suite du programme, ces coordonnées sont utilisées pour calculer la distance entre les lieux de résidence afin de rechercher des ménages « cibles » utilisés pour appliquer le concept de mimétisme au ménages relocalisés.

Les fonctions `RECHERCHE_COORD_NOLOG_ANCRAGE_MTM8()` et `RECHERCHE_COORD_NOLOG_MEN_REC_CV()` procédant à des traitements de données élémentaires, nous n'avons pas représenté de diagramme pour les décrire schématiquement.

Tableau D.2 : Extrait de la table de données « `men_smlog_new` » bonifiée des nouvelles coordonnées MTM8 pour chaque ménage « mobile » dans le cas d'une simulation de densification définie par le paramètre $b = 0,00025$ (soit une distance $1/b = 4,00 \text{ km}$)

Nolog	Facmen	Alea	smlog_new	nolog_ancrage	nolog_ancrage_xmtm8 (nouvelle coordonnée X en MTM8 du ménage)	nolog_ancrage_ymtm8 (nouvelle coordonnée Y en MTM8 du ménage)
194 081	35.8	0.00002	101	139 606	299 525	5 041 829
191 709	29.07	0.00003	101	152 368	299 993	5 040 693
21 304	33.82	0.00006	101	128 130	299 657	5 041 515
197 185	18.96	0.00007	101	34 343	299 780	5 042 262

Tableau D.3 : Extrait de la table de données « `men_rec_cv` » dans le cas d'une simulation de densification définie par le paramètre $b = 0,00025$ (soit une distance $1/b = 4,00 \text{ km}$)

Nolog	Smlog	DCV	Facmen	smlog_don neur	Alea (cf.)	nolog_men_rec_xmtm 8 (coordonnée X en MTM8 du ménage)	nolog_men_rec _yntm8 (coordonnée Y en MTM8 du ménage)
100 648	102	2 471	24.56	receveur	0.0000	299 525	5 041 829
253 459	102	2 471	24.56	receveur	0.0007	299 993	5 040 693
190 443	102	2 471	30.62	receveur	0.0013	299 657	5 041 515
51 932	102	2 471	27.26	receveur	0.0015	299 780	5 042 262

ANNEXE E – DÉTAILS PROCÉDURAUX POUR L'ATTRIBUTION D'UN TYPE À CHAQUE MÉNAGE DANS LA PREMIÈRE APPROCHE DE MIMÉTISME

- **Attribution d'un code typologique à chaque enregistrement de la base de données des ménages de l'enquête OD de 2008 :**

Le code typologique de chaque enregistrement de ménages est présenté dans l'onglet « typo_men » du fichier Excel utilisé pour la procédure de relocalisation. Ces données sont copiées et actualisées dans l'onglet « OD2008_men » qui constitue la table de données « ménages » de l'enquête OD de 2008 » pour la suite des traitements (colonne AE de la table « OD2008_men » dans Excel). En pratique, c'est la colonne AE de la table « OD2008_men » qui est utilisée pour la suite de programme comme code typologique. Quand il s'agira d'étudier d'autres typologies de ménages, il suffira normalement d'agir sur cet attribut.

- **Attribution d'un code typologique aux ménages « relocalisés » et aux ménages résident initialement dans un secteur « receveur » :**

En s'appuyant sur la mise à jour du code typologique « typo_code_2 » présent dans la colonne AE de la table « OD2008_men » du fichier Excel, les macro RECHERCHE_TYP_CODE_2_MEN_SMLOG_NEW() et RECHERCHE_TYP_CODE_2_MEN_REC(), qui sont exécutées après la sélection d'un ménage d'ancrage pour chaque ménage relocalisé et par la copie de ses coordonnées comme nouveau lieu de résidence du ménage concerné, ont pour effet de bonifier respectivement les tables de données « men_smlog_new » et « men_rec_cv » en leur ajoutant un attribut correspondant au code typologique du ménage « typo_code_2 ». Cet attribut est nommé « nolog_men_rec_typo_code_2 » dans la table « men_rec_cv » et « nolog_typo_code_2 » dans la table « men_smlog_new ». Sur la base des données désormais présentes dans chacune de ces tables, la recherche de ménages similaires à proximité du nouveau lieu de résidence des ménages relocalisés va pouvoir s'opérer à plusieurs niveaux de contraintes de proximité successifs par l'intermédiaire des macros MIMETISME(), MIMETISME_AUC_MEN_ITE() et MIMETISME_AUC_MEN_ITE_2().

ANNEXE F – DÉTAILS PROCÉDURAUX POUR LA RECHERCHE D’UN MÉNAGE SIMILAIRE DANS LA PREMIERE APPROCHE DE MIMÉTISME

- **Recherche de « ménages similaires » à proximité du nouveau lieu de résidence des ménages relocalisés vers un secteur central : la macro MIMETISME()** :

La recherche de « ménages similaires » à proximité du nouveau lieu de résidence est d’abord réalisée par la fonction MIMETISME(), présentée schématiquement dans l’organigramme de la Figure 5.11. Comme cette partie du programme est assez coûteuse en temps d’exécution²⁷, deux macros supplémentaires (MIMETISME_AUC_MEN_ITE() et MIMETISME_AUC_MEN_ITE_2()) ont été ajoutées au code pour étudier la faisabilité de la recherche de ménages similaires par la présente méthode ; ces macros feront l’objet d’une courte présentation après celle de la macro MIMETISME(). Leur principale fonction est d’agrandir le rayon de recherche de ménages similaires par rapport à la fonction initiale.

Concrètement, la macro MIMETISME() s’appuie sur les données des tables « men_smlog_new » et « men_rec_cv » et vise à bonifier la table « men_smlog_new » d’un nouvel attribut, nommé « mime_nolog_1000m ». Celui-ci représente soit l’identifiant d’un ménage similaire ayant pu être localisé dans un disque de rayon $R = 1000m$ (rayon modifiable dans les paramètres d’entrée de la fonction) à partir du nouveau lieu de résidence du ménage relocalisé soit un message d’erreur « aucun ménage similaire à proximité » si aucun ménage similaire n’a pu être détecté dans un disque de rayon R à partir du nouveau lieu de résidence. Dans le cas où un ménage similaire a pu être identifié à proximité du nouveau lieu de résidence, on qualifiera ce dernier de ménage cible.

²⁷ Lorsqu’aucun ménage similaire n’est détecté, la macro a parcouru tous les ménages des secteurs receveurs. Le temps d’exécution pourrait être réduit de façon significative en excluant d’office de la recherche les ménages vivant dans un secteur de résidence différent. Une simplification plus radicale pourrait consister à définir la notion de proximité comme l’appartenance à un même secteur municipal (SM). Cette dernière solution sera envisagée dans notre deuxième approche de mimétisme (paragraphe 5.4.2)

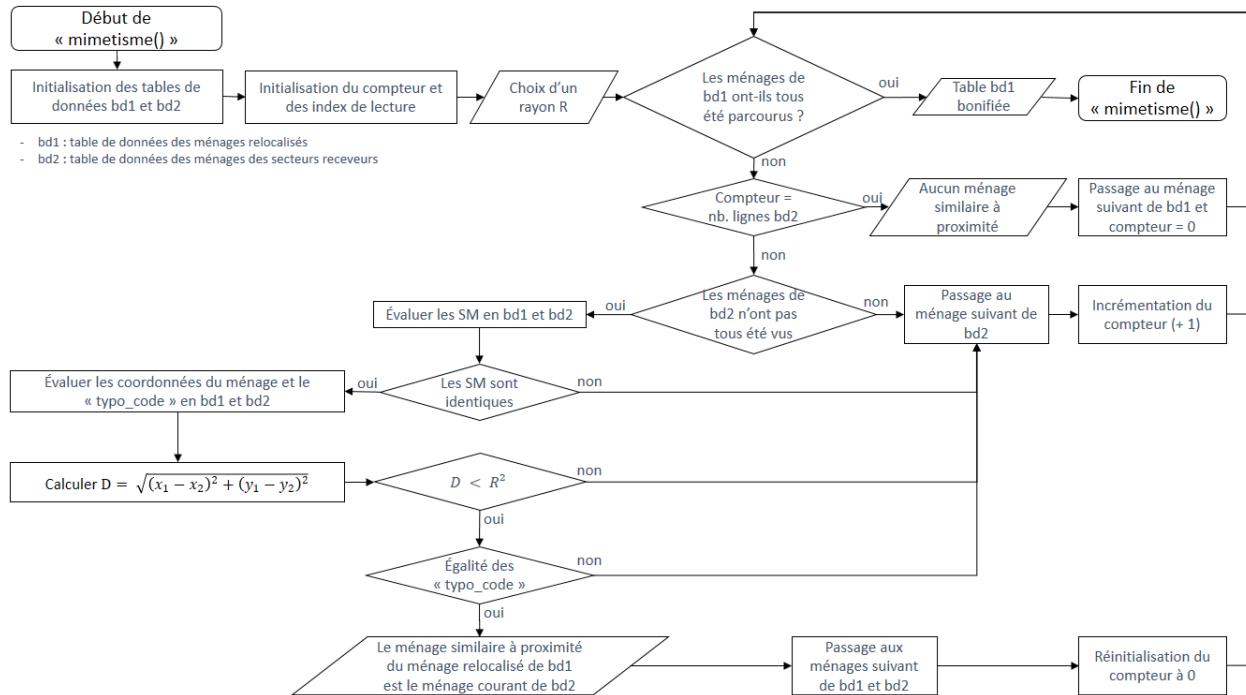


Figure F.1 : Diagramme algorithmique de la fonction « MIMETISME() »

Pour chaque enregistrement de ménage relocalisé de la table de données « men_smlog_new », une boucle parcourt les enregistrements de ménages de la table « men_rec_cv » et teste pour chacun d'eux si ceux-ci résident dans le même secteur municipal que le secteur de son nouveau lieu de résidence, avant de tester la distance $D_{m1,m2}$ qui sépare les deux domiciles²⁸. Si les deux tests sont validés, donc en particulier si $D_{m1,m2} \leq R$, alors les codes typologiques des enregistrements (« nolog_men_rec_typo_code_2 » dans « men_rec_cv » et « nolog_typo_code_2 » dans men_smlog_new) sont comparés afin de déterminer si l'enregistrement de ménage de la table « men_rec_cv » peut être considéré similaire à l'enregistrement de ménage « relocalisé » de la table « men_smlog_new ». Si un seul des tests n'est pas validé, alors la boucle avance dans la table « men_rec_cv » jusqu'à trouver un ménage similaire, auquel cas on passe au traitement de l'enregistrement suivant dans la table « men_smlog_new », ou bien on attribue la valeur « aucun

²⁸ On utilise la distance euclidienne $D_{m1,m2}$ entre les domiciles des ménages m_1 et m_2 . Celle-ci est calculée par la formule $D_{m1,m2} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$ où x_i et y_i représentent respectivement les coordonnées en X et en Y du domicile du ménage m_i dans le système de projection MTM8 (attributs « nolog_ancre_xmtm8 » et « nolog_ancre_ymtm8 », dans la table « men_smlog_new »)

ménage similaire à proximité » à l'attribut « *mime_nolog_1000m* » de l'enregistrement de « *men_smlog_new* » en cours de traitement, si aucun ménage similaire à proximité n'a pu être identifié selon la typologie des ménages choisie.

Une variable « *compteur* » permet de garder en mémoire le nombre d'enregistrements parcourus et il est ainsi possible de déterminer si tous les enregistrements de la table « *men_rec_cv* » ont été parcourus ; lorsque la boucle arrive au dernier enregistrement de la table, son indice est de fait actualisé vers le premier enregistrement et il s'agit donc d'une boucle sans fin sur la table « *men_rec_cv* ». La fonction *MIMETISME()* prend fin lorsque tous les enregistrements de la table « *men_smlog_new* » ont été parcourus et que chacun s'est vu affecter une valeur pour l'attribut « *mime_nolog_1000m* ».

La macro *MIMETISME_AUC_MEN_ITE()* réalise la même procédure mais seulement pour les ménages dont la valeur de l'attribut « *mime_nolog_1000m* » est « aucun ménage similaire à proximité » en élargissant le rayon de recherche ($R = 2000m$ par défaut). Son exécution permet de bonifier la table « *men_smlog_new* » de l'attribut « *mime_nolog_2000m* » dans lequel la fréquence d'apparition de la valeur d'erreur « aucun ménage similaire à proximité » est logiquement réduite. De même, la macro *MIMETISME_AUC_MEN_ITE_2()* recherche les ménages similaires dans un rayon plus large ($R = 3000m$ par défaut) pour les enregistrements ayant une valeur d'erreur pour l'attribut « *mime_nolog_2000m* » et la table « *men_smlog_new* » est alors bonifiée de l'attribut « *mime_nolog_3000m* » où la valeur d'erreur « aucun ménage similaire à proximité » a encore diminué. Après avoir exécuté ces macros dans le cas d'une simulation de densification définie par le paramètre $b = 0,00025$ (soit une distance $1/b = 4,00\text{ km}$), il a été observé que des proportions relativement importantes d'enregistrements de ménages « *relocalisés* » ne trouvaient pas d'enregistrement de ménage similaire à proximité du nouveau lieu de résidence qui leur a été affecté par la macro *ANCRAGE_SELECT_V2()* pour les trois seuils de proximité étudiés. Pour un seuil de 1000m (macro *MIMETISME()*) ce taux s'élève à 18,14% des enregistrements de la table de données « *men_smlog_new* » alors qu'il passe à 11,47% puis à 9,62% en élargissant la recherche respectivement à 2000m (macro *MIMETISME_AUC_MEN_ITE()*) puis 3000m (macro *MIMETISME_AUC_MEN_ITE_2()*). Ces trois onglets permettent aussi de constater que, pour cette simulation, seuls entre 8100 et 8500 enregistrements de ménages ont été identifiés comme ménage cible par un ménage *relocalisé* parmi 18815 enregistrements qui auraient potentiellement pu être sélectionnés pour jouer ce rôle (c'est-à-dire les enregistrements de la table « *men_rec_cv* »). Ce

chiffre invite à questionner l'algorithme de sélection de ménages similaires qui peut potentiellement privilégier certains ménages lors de la sélection.