

Comparaison de scénarios de développement résidentiel pour Québec et sa périphérie dans une perspective de développement durable

Rapport

Étude réalisée pour le

**Service de la planification et de la coordination de l'aménagement du territoire,
Division de la planification stratégique du territoire**

Ville de Québec

par

**Marius Thériault, Ph.D, François Des Rosiers, Ph.D. et
Marie-Hélène Vandersmissen, Ph.D.¹**



Avril 2017

¹ Marius Thériault est géographe et professeur émérite ; François Des Rosiers est économiste et professeur titulaire au département de Finance, assurance et immobilier de la Faculté des Sciences de l'administration ; Marie-Hélène Vandersmissen est professeure titulaire et directrice du département de Géographie de la Faculté de Foresterie, de Géographie et de Géomatique. Tous trois sont membres du Centre de recherche en aménagement et développement (CRAD) de l'Université Laval.

Avant-Propos et Remerciements

La réalisation de cette étude et la production de ce rapport ont été réalisées grâce à l'étroite collaboration de plusieurs professionnels et cadres de la Ville de Québec et du Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports du Québec. Nous tenons à les remercier pour leur appui soutenu, car ce sont leurs contributions qui ont permis de réaliser une étude basée sur des données de première qualité et d'affiner l'interprétation des résultats lors des réunions du comité de suivi. Les paragraphes suivants relatent la nature des contributions à la réalisation de cette étude.

David Duval, conseiller en urbanisme (Division de la planification du territoire, Service de la planification et de la coordination de l'aménagement du territoire, Ville de Québec), a agi comme responsable du projet et procédé à la collecte et à la validation des données de potentiel de logement des municipalités, des données sociodémographiques et du marché immobilier.

Frédéric Brie, directeur de section temporaire gestion des programmes (Bureau de l'habitation, Ville de Québec), a participé au comité de suivi du projet et procédé à la collecte et à la validation des données sociodémographiques et de marché immobilier.

David Lesage, économiste (Division de la planification du territoire, Service de la planification et de la coordination de l'aménagement du territoire, Ville de Québec), a participé au comité de suivi du projet et procédé à la collecte et à la validation des données sur le marché immobilier.

François Trudel, directeur (Division de la planification du territoire, Service de la planification et de la coordination de l'aménagement du territoire, Ville de Québec), a participé au comité de suivi du projet.

Jaime Alejandro Calderon Quintero, conseiller en urbanisme (Division de la planification du territoire, Service de la planification et de la coordination de l'aménagement du territoire, Ville de Québec), a réalisé les calculs de potentiels de logements des secteurs Bourg-Royal et Saint-Augustin-de-Desmaures.

Pierre Desgagnés, conseiller-expert en sociodémographie des transports (Service de l'économie, de la prospective et des stratégies, Direction de la planification, Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports du Québec), a fourni les données sur les indices de similarité entre les secteurs et sur les navettes des travailleurs.

Table des matières

1. Introduction : Objectifs et mandat de l'étude	1
1.1. Objectifs de l'étude	1
1.2. Mandat de l'étude	2
2. Mise en contexte et organisation de l'étude	3
2.1. Évolution démographique et développement durable	3
Figure 1. Perspectives d'évolution des ménages de l'Agglomération de Québec, 2016-2036.....	3
Figure 2. La demande résidentielle des ménages de l'Agglomération de Québec selon le groupe d'âge de la personne de référence en 2011	4
Tableau 1. Répartition des typologies résidentielles de 2016 à 2036 pour l'Agglomération de Québec (scénario tendanciel considérant le cycle de vie des ménages).....	5
Tableau 2. Estimation du potentiel d'accueil de maisons et duplex et d'appartements et condominiums — 2016-2036.....	5
Carte 1. Potentiels de logement et ajout des superficies dans la zone agricole permanente (568 hectares).....	6
2.2. Organisation du rapport	7
3. Procédure d'évaluation de la durabilité des développements résidentiels	8
3.1. Positionnement théorique	8
3.2. La procédure d'évaluation et de modélisation.....	9
Figure 3. La procédure d'évaluation des scénarios de développement résidentiel.....	10
Carte 2. Émissions moyennes de GES par ménage et par jour en 2006 (kilogrammes).....	12
Carte 3. Taux d'effort des ménages pour le logement (% du revenu disponible).....	12
Carte 4. Taux d'effort des ménages pour le transport (% du revenu disponible).....	13
Carte 5. Taux de motorisation (véhicules / 100 conducteurs).....	13
Carte 6. Part modale des déplacements comme conducteur (% des déplacements).....	14
Carte 7. Part modale des déplacements comme piéton (% des déplacements)	14
3.3. La procédure de simulation et d'aide à la décision	15

Figure 4. La procédure d'aide à la décision pour comparer les scénarios de développement.....	16
4. Modélisation du système métropolitain et inférence avec l'approche SEM	18
4.1. Les modèles à équations structurales (SEM).....	18
4.2. Caractéristiques du SEM de la région de Québec	19
Figure 5. Choix, capacité de payer et impacts environnementaux.....	19
Figure 6. Facteurs exogènes et endogènes des choix de mobilité	20
Figure 7. Le modèle à équations structurales de la région de Québec	21
Tableau 3. Coefficients de détermination des 8 variables endogènes du SEM de la région de Québec	23
5. Spécification des scénarios et simulation des développements résidentiels	24
5.1. Identification des scénarios de développement résidentiel.....	24
Carte 8. Le secteur de Bourg-Royal	25
Tableau 4. Scénarios de développement résidentiel.....	26
Carte 9. Le secteur de Saint-Augustin-de-Desmaures.....	27
5.2. Spécification des scénarios de développement résidentiel	28
Tableau 5. Spécification des scénarios — Aspects sociaux (bornes)	30
Tableau 6. Spécification des scénarios — Aspects économiques (bornes).....	31
Figure 8. Distributions de fréquence des prix des maisons unifamiliales par scénario.....	32
Figure 9. Boîtes de Tukey (box plots) des prix des maisons unifamiliales par scénario.....	33
Figure 10. Boîtes de Tukey des revenus annuels disponibles des ménages par scénario.....	34
5.3. Spécification des comportements de mobilité et de l'accessibilité	35
Tableau 7. Spécification des scénarios — Choix de mobilité (bornes).....	36
Tableau 8. Spécification des scénarios — Centralité et accessibilité (constantes par cellule).....	38
5.4. Spécification des paramètres macro-économiques	38
Figure 11. Interface du simulateur d'impact des développements résidentiels.....	39
5.5. Réalisation des simulations.....	39
Figure 12. Processus d'interpolation des prédictions du SEM.....	40
6. Comparaison des scénarios	42
6.1. Les critères de comparaison.....	42

6.2.	La mise en œuvre des comparaisons	43
	Tableau 9. Simulations effectuées, invalidées et utilisées selon les scénarios.....	43
	Tableau 10. Simulations des prix de vente des résidences (\$) par scénario	44
	Tableau 11. Simulations des coûts annuels pour le logement (\$) par scénario.....	45
	Tableau 12. Simulations des coûts annuels pour le logement et le transport (\$ par scénario	46
7.	Présentation des résultats	47
7.1.	Coûts annuels du logement et du transport (Effort des ménages).....	47
	Figure 13. Comparaison des coûts annuels du logement (milliers de \$) par scénario.....	48
	Figure 14. Comparaison des coûts annuels du transport (milliers de \$) par scénario.....	49
	Figure 15. Comparaison des taux d'effort pour le logement (% du revenu disponible) par scénario	51
	Figure 16. Comparaison des taux d'effort pour le transport (% du revenu disponible) par scénario	52
	Figure 17. Comparaison des taux d'effort total (% du revenu disponible) par scénario.....	53
7.2.	Choix de motorisation et de mobilité	53
	Figure 18. Comparaison des taux de motorisation (automobiles / 100 conducteurs) par scénario.....	54
	Figure 19. Comparaison des parts modales de conducteurs d'automobile (%) par scénario	55
	Figure 20. Comparaison des parts modales de piétons (%) par scénario	56
7.3.	Émissions de GES pour le transport des personnes	56
	Figure 21. Comparaison des émissions de GES pour le transport de personnes (kg/ménage/jour) par scénario.....	57
8.	Discussion, classement des scénarios et recommandations	59
8.1.	Les postulats, les hypothèses et les limites de la simulation	59
8.2.	Le classement des scénarios de développement	63
	Tableau 13. Comparaison des médianes des scénarios selon les critères économiques	65
	Tableau 14. Comparaison des médianes des scénarios selon les critères sociologiques.....	67
	Tableau 15. Comparaison des médianes des scénarios selon les critères environnementaux	68

Tableau 16. Comparaison globale des scénarios selon les critères de développement durable	69
8.3. Recommandations et pistes d'action.....	70
Recommandation n° 1 — densité, mixité, centralité, accessibilité	70
Recommandation n° 2 — diversité des offres de transport	72
Recommandation n° 3 — information et sensibilisation	74
9. Conclusion	76
9.1. Rappel du contexte, des objectifs et du mandat de l'étude	76
9.2. Moyens utilisés.....	78
9.3. Résultats et comparaison des scénarios	79
9.4. Recommandations.....	81
Références	83
Annexe 1 Facteurs d'influence et procédures de randomisation des simulations	85
Tableau 1.1. Évaluation des composantes de mobilité, des coûts de transport et des émissions	86
Tableau 1.2. Caractérisation de la forme urbaine	87
Tableau 1.3. Caractérisation des attributs socio-économiques	88
Tableau 1.4. Caractérisation des facteurs macro-économiques et types de randomisation.....	89
Tableau 1.5. Évaluation des coûts de logement et types de randomisation.....	90
Tableau 1.6. Autres variables utilisées durant les simulations et types de randomisation.....	92
Annexe 2 Le SEM de la région de Québec – Aspects techniques.....	93
Tableau 2.1. Spécification fonctionnelle du SEM de la région de Québec	94
Tableau 2.2.a Coefficients du SEM de la région de Québec (effets directs) – 4 premières équations.....	95
Tableau 2.2.b Coefficients du SEM de la région de Québec (effets directs) – 4 dernières équations.....	95
Tableau 2.3 Qualité d'ajustement du SEM de la région de Québec	96
Annexe 3 Délimitation des alternatives de développement résidentiel.....	97
Carte 3.1. Périmètres d'urbanisation du scénario Bourg-Royal Emplois	97
Carte 3.2. Périmètres d'urbanisation du scénario Est	98
Carte 3.3. Périmètres d'urbanisation du scénario Est et Nord	99
Carte 3.4. Périmètres d'urbanisation du scénario Nord et Est	99
Carte 3.5. Périmètres d'urbanisation du scénario Saint-Augustin Emplois.....	100
Carte 3.6. Périmètres d'urbanisation du scénario Ouest et Sud.....	100

Carte 3.7. Périmètres d'urbanisation du scénario Ouest et Nord	101
Carte 3.8. Périmètres d'urbanisation du scénario Nord et Ouest	102
Annexe 4 Les distributions de fréquence des simulations de scénarios	103
Tableau 4.1. Seuils caractéristiques des coûts annuels pour le logement (\$) par scénario	103
Tableau 4.2. Seuils caractéristiques des coûts annuels pour le transport (\$) par scénario	104
Figure 4.1. Distribution de fréquence des coûts annuels pour le logement (\$) par scénario	105
Figure 4.2. Distribution de fréquence des coûts annuels pour le transport (\$) par scénario	106
Tableau 4.3. Seuils caractéristiques des taux d'effort pour le logement (% du revenu disponible) par scénario	107
Tableau 4.4. Seuils caractéristiques des taux d'effort pour le transport (% du revenu disponible) par scénario	107
Figure 4.3. Distribution de fréquence des taux d'effort pour le logement (% du revenu disponible) par scénario	108
Figure 4.4. Distribution de fréquence des taux d'effort pour le transport (% du revenu disponible) par scénario	109
Figure 4.5. Distribution de fréquence des taux d'effort pour le logement et le transport (% du revenu disponible) par scénario	110
Tableau 4.5. Seuils caractéristiques des taux d'effort pour le logement et le transport (% du revenu disponible) par scénario	111
Tableau 4.6. Seuils caractéristiques des taux de motorisation (Nombre d'automobiles par 100 conducteurs) par scénario	111
Figure 4.6. Distribution de fréquence des taux de motorisation (Nombre d'automobiles par 100 conducteurs) par scénario	112
Tableau 4.7. Seuils caractéristiques des parts modales des conducteurs d'automobile (% des déplacements) par scénario	113
Tableau 4.8. Seuils caractéristiques des parts modales des piétons (% des déplacements) par scénario	113
Figure 4.7. Distribution de fréquence des parts modales des conducteurs d'automobile (% des déplacements) par scénario	114
Figure 4.8. Distribution de fréquence des parts modales des piétons (% des déplacements) par scénario	115
Tableau 4.9. Seuils caractéristiques des émissions de GES pour le transport de personnes (kilogrammes / ménage / jour) par scénario	116
Figure 4.9. Distribution de fréquence des émissions de GES pour le transport de personnes (kilogrammes / ménage / jour) par scénario	117

1. Introduction : Objectifs et mandat de l'étude

1.1. Objectifs de l'étude

La présente étude repose sur un modèle statistique développé par les consultants dans un cadre de recherche et vise à comparer des scénarios de développement résidentiel sur le territoire de l'Agglomération de Québec avec des scénarios de croissance en dehors des limites de cette dernière. Dans une perspective de développement durable, ces comparaisons de scénarios doivent intégrer les efforts budgétaires des ménages concernés pour le logement et le transport (complémentarité et d'interdépendance), leurs besoins en motorisation (avec l'objectif de minorer la congestion), l'effet des formes urbaines induites par les types (et la localisation) de développement urbain sur la répartition des parts modales de transport, leur potentiel d'usage des transports collectifs et les prévisions d'émissions de gaz à effet de serre (GES) engendrées par leurs déplacements pour vaquer à leurs occupations quotidiennes dans la région métropolitaine de Québec. Les scénarios doivent atteindre des cibles de viabilité économique et environnementale tout en respectant des critères d'équité et d'efficience.

Calibrés pour la région métropolitaine de Québec, le modèle d'interdépendance élaboré par les consultants permet de considérer simultanément tous ces paramètres en plus des profils socioéconomiques (âge, revenu, instruction, taille de famille, statut de propriété) des habitants d'un quartier pour évaluer (1) d'une part, la faisabilité économique des options de développement en regard des clientèles ciblées et (2) d'autre part, les impacts de la localisation et de la conception des développements sur la motorisation des ménages, sur leurs types de mobilité et sur les émissions de GES qui en découlent.

La recherche déjà effectuée avant ce mandat a requis plusieurs années de travail et a été publiée sous la forme d'un article dans une prestigieuse revue internationale britannique en environnement et aménagement du territoire². Le modèle élaboré repose sur une simulation détaillée des déplacements effectués par la population de la région. Cette simulation repose sur l'ensemble des données individuelles de l'enquête OD 2006 de la région de Québec traitées dans un logiciel de SIG spécialisé en transport. Les trajets et distances de déplacement ainsi que les émissions de GES simulées ont été compilées à une échelle spatiale fine (cellules hexagonales de 250 mètres de rayon), combinées avec des indicateurs de forme urbaine (densité résidentielle nette, mixité des fonctions, accès aux transports, etc.) réalisés dans un SIG en lien avec les rôles d'évaluation de la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ), puis fusionnés avec les données

² Des Rosiers, F., M. Thériault, G. Biba and M.-H. Vandersmissen. 2016. Greenhouse Gas Emissions and Urban Form: Linking Households' Socio-economic Status with Housing and Transportation Choices. *Environment and Planning B: Planning and Design* (Forthcoming).
On line first: <http://epb.sagepub.com/content/early/2016/06/28/0265813516656862.abstract>

démographiques et socioéconomiques issues du recensement de Statistique Canada de 2006. La base de données et le modèle statistique permettent d'effectuer les liaisons fonctionnelles entre les quatre dimensions du développement durable : environnement, économie, société et équité. Par ailleurs, si la calibration du modèle s'effectue à l'aide de données de 2006, les résultats des simulations ont été ajustés pour refléter la situation de 2016 et tenir compte d'une date prévue de maturité des développements résidentiels à comparer.

La synthèse statistique a été réalisée à l'aide d'une approche de modélisation par équations structurales (SEM) qui solutionne simultanément les liens endogènes du système urbanisation-transport-environnement-économie et permet d'identifier les relations significatives, de calculer des coefficients applicables au territoire de la région métropolitaine de Québec, de comparer les effets en fonction de la localisation et des types de développement urbain. Cette approche permet de surcroît de distinguer les effets directs (économiques ou environnementaux) d'une politique et ses effets indirects qui sont médiatisés par les composantes endogènes du système. L'élaboration conceptuelle de ce système (SEM) a été financée par le gouvernement du Québec (FRQSC), le Ministère des Affaires municipales et l'Office de l'efficacité énergétique. Suite à une première publication des résultats de la recherche, la structure conceptuelle du modèle SEM a fait l'objet d'améliorations qui la rendent encore plus robuste. Ce projet vise à l'adapter pour répondre aux besoins de la Ville de Québec afin de comparer de manière rigoureuse les effets de certains scénarios de développement urbain sur son territoire, versus en-dehors de ses limites.

1.2. Mandat de l'étude

Sur la base de ce qui précède, le mandat de l'étude consiste à adapter le modèle d'équations structurelles (SEM) développé par les consultants afin d'effectuer des simulations et de comparer des scénarios de développement résidentiel sur le territoire de la Ville de Québec et en périphérie de son territoire, en termes d'impact économique pour les ménages, de motorisation et d'émissions de gaz à effets de serre liés au transport des personnes (ensemble de la mobilité quotidienne), et ce en tenant compte des choix de mode de transport et des émissions de GES liées à la combinaison mode-itinéraire-nombre de passagers. Les scénarios sont établis en collaboration avec les responsables du projet sur la base de paramètres de localisation des développements projetés, de forme urbaine (densité d'occupation du sol), d'offre de transport collectif et de profil de clientèle visée. Pour ce faire, le projet requiert le développement d'une méthode originale de simulation qui permet d'évaluer les impacts prévisibles (avec estimation probabiliste) des scénarios et de les comparer avec des indicateurs de performance.

2. Mise en contexte et organisation de l'étude

2.1. Évolution démographique et développement durable

Les plus récentes projections réalisées par l'Institut de la statistique du Québec (ISQ) et dans le cadre de l'*Étude de faisabilité du Tramway/SRB de Québec et de Lévis* prévoient une augmentation de la population entre 3 et 14 % et des ménages entre 5 et 15 % pour la période 2016-2036 (Figure 1). Pour les besoins de planification de l'agglomération de Québec, la Ville de Québec prévoit une augmentation de la population de plus de 57 000 personnes (9,8 %) et un accroissement de 28 200 ménages (10,3 %) entre 2016 et 2036 (basés sur le scénario de référence de l'ISQ 2014). Il s'agit d'une croissance que le périmètre d'urbanisation actuel serait partiellement incapable de soutenir, ce qui implique d'examiner et de comparer des scénarios d'aménagement urbain qui, en vertu des politiques de la Ville de Québec et des gouvernements supérieurs, doivent répondre à des objectifs de développement durable (et d'équité), tant en termes socioéconomiques qu'environnementaux.

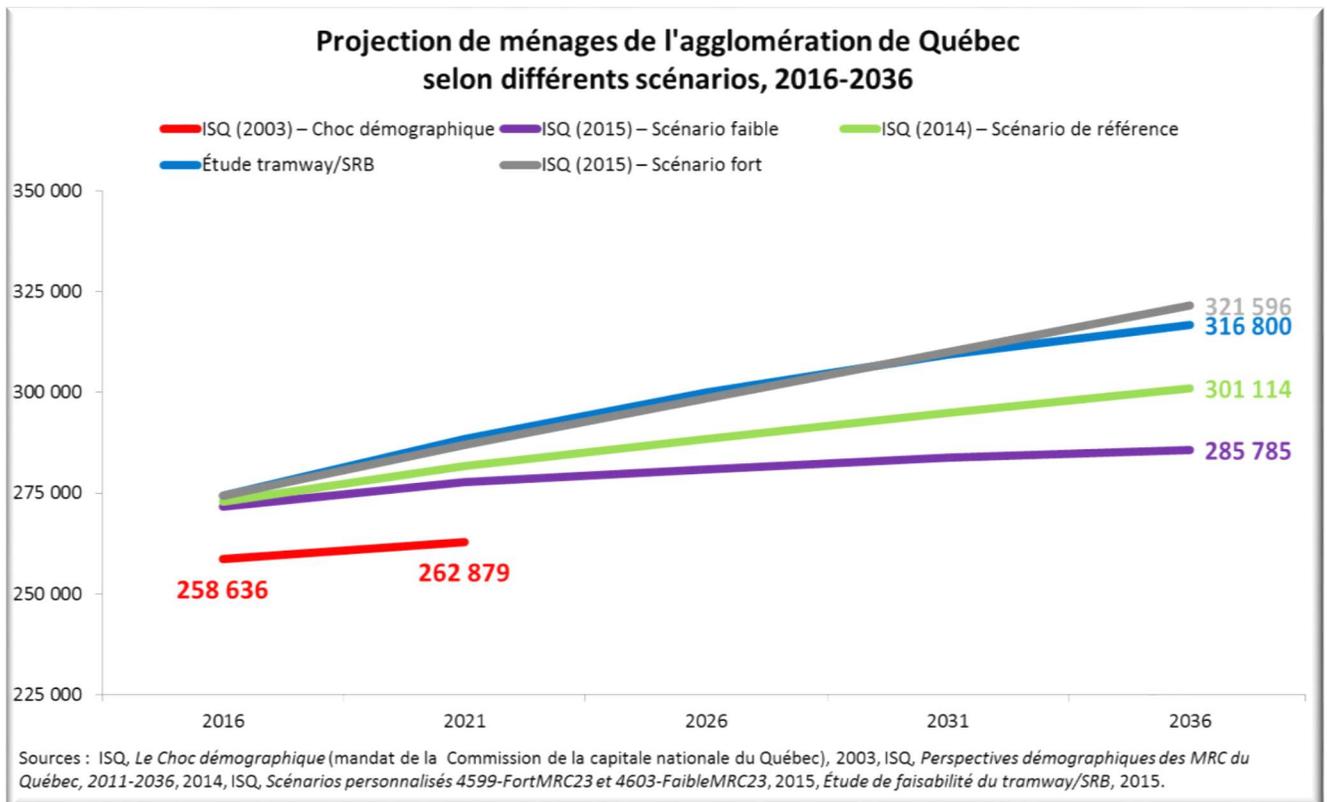


Figure 1. Perspectives d'évolution des ménages de l'Agglomération de Québec, 2016-2036

La demande résidentielle se partage entre, d'une part, les maisons unifamiliales (bungalows, cottages, jumelées et maisons en rangée) et les duplex et, d'autre part, les logements collectifs (locatifs et en copropriété). La répartition entre les deux types de logements évolue selon le cycle de vie des ménages, comme l'illustre la *Figure 2* qui reproduit la situation prévalant dans l'agglomération de Québec en 2011. Chez les ménages appartenant aux groupes d'âge des moins de 25 ans et des 25-34 ans, les logements collectifs dominent largement alors que c'est l'inverse pour les ménages dont l'âge du soutien se situe entre 35 et 74 ans, la part relative des maisons unifamiliales et des duplex culminant à 62 % de la demande totale chez les 45-54 ans. La situation s'inverse par la suite, les logements collectifs redevenant majoritaires chez les 75 ans et plus.

En transposant ces tendances au niveau des prévisions de ménages selon la méthode du taux de soutien par groupe d'âge, on obtient une répartition de la demande résidentielle par type de logement et par période quinquennale (Tableau 1).

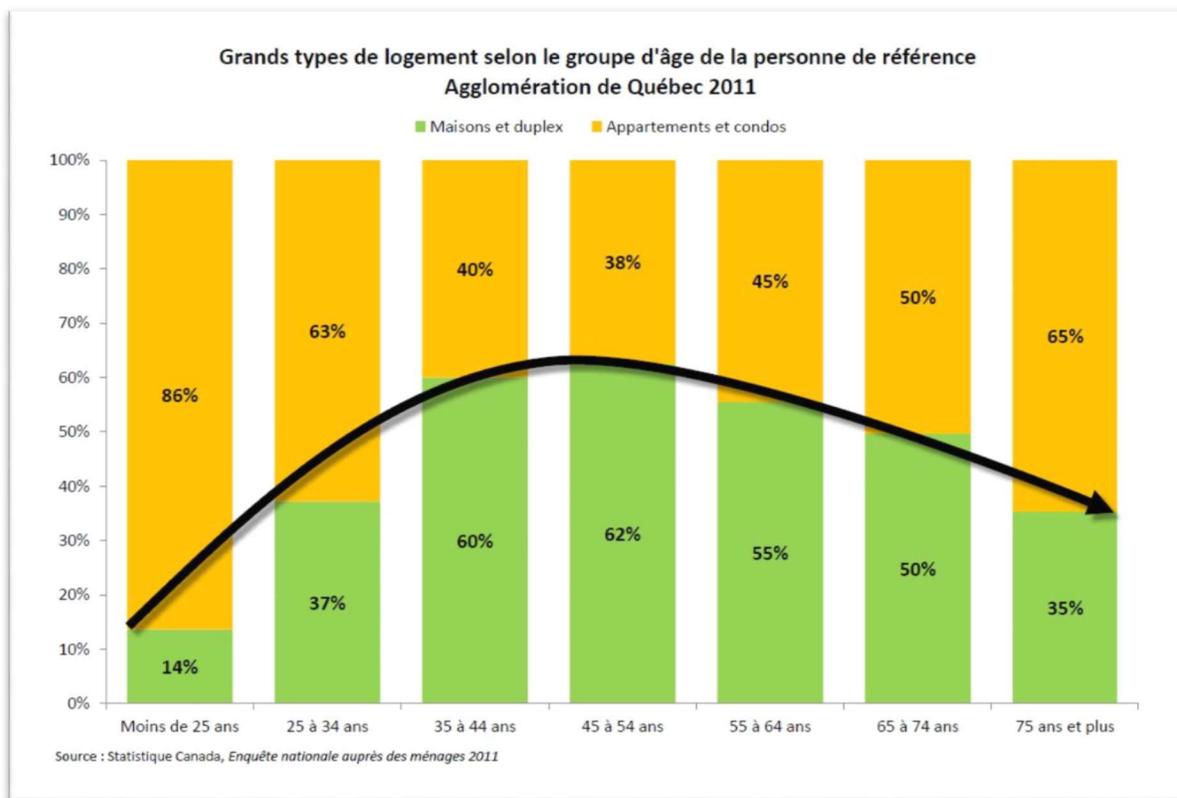


Figure 2. La demande résidentielle des ménages de l'Agglomération de Québec selon le groupe d'âge de la personne de référence en 2011

Année	Maisons et duplex	Appartements et condominiums	Total
2016	134 608	138 339	272 947
2021	138 607	143 154	281 761
2026	141 334	147 045	288 379
2031	143 474	151 539	295 013
2036	144 750	156 364	301 114
Variation 2016-2036	10 142	18 025	28 167

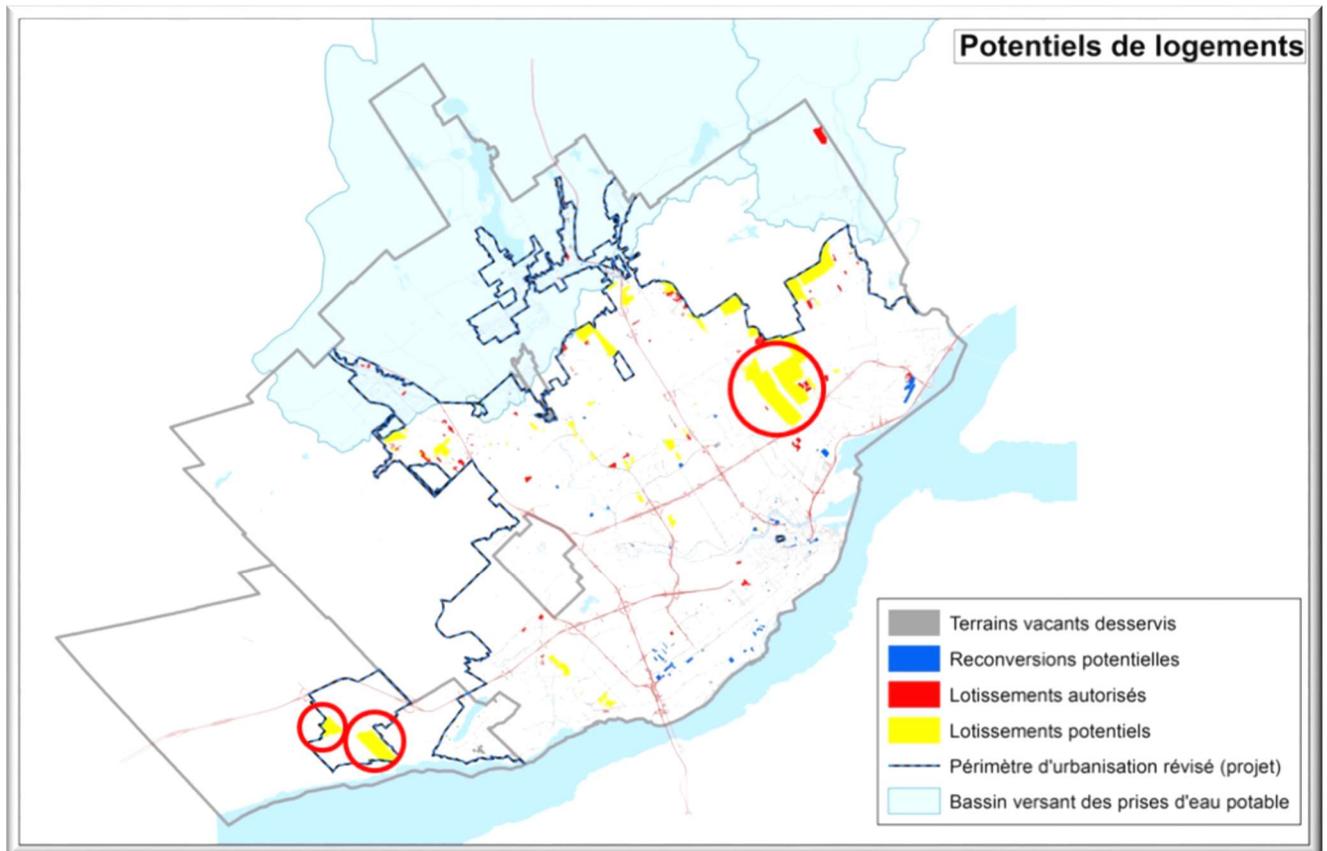
Tableau 1. Répartition des typologies résidentielles de 2016 à 2036 pour l'Agglomération de Québec (scénario tendanciel considérant le cycle de vie des ménages)

Le tableau 1 présente une évaluation de l'évolution de la demande résidentielle pour l'agglomération de Québec de 2016 à 2036. Le scénario tendanciel a été réalisé avec la méthode du taux de soutien par groupe d'âge à partir des données de *l'Enquête nationale auprès des ménages* de Statistique Canada (2011) et des *Perspectives démographiques des MRC du Québec 2011-2036* de l'Institut de la statistique du Québec. Il indique que, sur l'horizon de prévision (2016-2036), le nombre d'unités requises pour satisfaire la croissance de la demande résidentielle dans l'agglomération (28 167) se partagera entre les unifamiliales et duplex et les logements collectifs selon des proportions respectives de 36 % (10 142) et 64 % (18 025).

	Maisons et duplex	Appartements et condominiums	Total
<i>Demande estimée 2016-2036</i>	10 150	18 050	28 200
<i>Potentiel d'accueil</i>			
Périmètre d'urbanisation actuel (terrains vacants, conversions et lotissements potentiels)	7 595	23 430	31 025
Périmètre d'urbanisation actuel (insertions et densification)	1 520	2 705	4 225
Ajouts au périmètre d'urbanisation prévus au PMAD hors de la zone agricole	975	0	975
Ajouts au périmètre d'urbanisation prévus au PMAD dans la zone agricole	8 220	4 260	12 480
Potentiel d'accueil total	18 310	30 395	48 705
Potentiel d'accueil moins demande estimée 2016-2036	8 160	12 345	20 505
Ratio potentiel / demande	1,8	1,7	1,7

Tableau 2. Estimation du potentiel d'accueil de maisons et duplex et d'appartements et condominiums — 2016-2036

Le Projet de Schéma d'aménagement et de développement révisé (PSADR) de l'agglomération de Québec affirme qu'il n'est pas possible, dans les limites actuelles du périmètre d'urbanisation, d'accueillir l'ensemble de la demande pour des maisons unifamiliales isolées, jumelées et en rangée et des duplex. Le PSADR prévoit donc des agrandissements du périmètre d'urbanisation des villes de Québec et de Saint-Augustin-de-Desmaures (Carte 1), notamment en zone agricole. Le tableau 2 présente un bilan des options permettant de répondre à la demande résidentielle.



Carte 1. Potentiels de logement et ajout des superficies dans la zone agricole permanente (568 hectares)

La question qui se pose ici est la suivante : *compte tenu de la structure de la demande potentielle en matière de logement pour les vingt prochaines années, et en considérant l'ensemble des critères retenus pour l'établissement des scénarios (localisation des développements projetés, densité d'occupation du sol, offre de transport collectif et profil des clientèles) ainsi que leurs impacts économiques et environnementaux, quelles sont les localisations optimales des ménages pour favoriser le développement durable et réduire les émissions de GES ?*

C'est cette question que nous allons aider à résoudre à l'aide des modèles à équations structurales (SEM) et du simulateur d'impacts brièvement décrits plus haut et dont nous exposons en détail les étapes, les composantes et les résultats dans les pages qui suivent. L'application de cette procédure a nécessité de réaliser plusieurs milliers de simulations pour chaque scénario afin d'estimer les impacts les plus vraisemblables pour chacun, de tenir compte des incertitudes liées aux conditions macro-économiques ainsi que comportementales et d'obtenir des critères de comparaison conçus pour être utilisés dans une optique d'aide à la décision.

2.2. Organisation du rapport

Suite à la description des objectifs et du mandat de la présente étude ainsi que du contexte qui la sous-tend, le rapport couvre les aspects suivants :

- La procédure d'évaluation de la durabilité des développements résidentiels
- Les principes de modélisation et de simulation du système métropolitain avec l'approche SEM (*Structural Equation Modelling*)
- La spécification et le calibrage des scénarios de développement
- La simulation des impacts prévisibles des développements
- Les principes de comparaison des scénarios
- La présentation des résultats
- Une discussion des implications, un classement des scénarios et l'énoncé de recommandations
- Conclusion

3. Procédure d'évaluation de la durabilité des développements résidentiels

3.1. Positionnement théorique

Peu importe le point de vue disciplinaire, une région métropolitaine constitue un système complexe composé de sous-systèmes en interaction à plusieurs échelles qui relient les composantes physiques aux aspects sociétaux et aux impacts environnementaux, depuis le milieu physique, en passant par les infrastructures, le cadre bâti, la population résidente, les firmes et activités réalisées, les organismes gouvernementaux et la qualité des milieux de vie. Les impacts des décisions individuelles (et des ménages/firmes, etc.) s'agrègent pour occasionner des répercussions sur son fonctionnement, son économie et son environnement. On peut difficilement étudier la ville sous tous ses aspects en même temps. Il faut aborder les problèmes avec des questions spécifiques.

Chaque agglomération urbaine est unique et, considérant la complexité des interactions, la transposition d'un diagnostic ou d'un résultat obtenu dans une autre région présente des risques importants pour la prise de décision éclairée en matière d'établissement de politiques publiques. Par exemple, la démonstration qu'une augmentation de densité résidentielle à San Francisco (ou Portland) a eu des effets positifs sur une diminution de la congestion routière n'est pas directement transposable à Québec parce que : (1) ces deux villes ont des formes urbaines et des réseaux de transport différents; (2) elles sont régies par des systèmes politiques particuliers et des contraintes macro-économiques spécifiques; (3) une augmentation des densités résidentielles combinée à une amélioration de l'accès aux aménités urbaines fait hausser les prix de l'immobilier à des degrés variables; (4) les marchés immobiliers et les lieux d'accessibilité des deux villes sont différents, tout comme les revenus des ménages et leurs capacités de s'adapter; (5) des différences culturelles peuvent engendrer des écarts dans l'adaptation aux changements; (6) chaque ville a son histoire et a structuré sa forme urbaine en fonction du milieu physique local (avantages et contraintes); (7) les structures du marché de l'emploi sont différentes et les deux villes appartiennent à des réseaux urbains différenciés; etc. Dès lors, il est hasardeux d'appliquer sans vérification les grands principes d'urbanisme qui reposent sur quelques études de cas, bien qu'on doive s'en inspirer pour élaborer un modèle conceptuel des dynamiques urbaines.

La procédure d'évaluation qui est décrite dans les paragraphes suivants vise à prendre en compte un nombre substantiel d'enseignements tirés de la littérature en études urbaines à propos des dynamiques urbaines et de leurs implications sur l'évolution des quartiers et des villes afin d'élaborer une procédure relativement holistique pour évaluer les impacts probables de politiques et de stratégies d'aménagement du territoire. La procédure a été calibrée sur le cas spécifique de Québec en ce début de 21^e siècle et

repose sur une approche systémique des dynamiques métropolitaines et de leurs effets à l'échelle locale (rayon de 250 mètres). L'objectif ultime consiste à calibrer et opérationnaliser un outil d'aide à la décision valide pour la région de Québec et qui prend en compte les principaux aspects du développement durable : contraintes et impacts économiques, attentes et besoins de la population et impacts environnementaux. Ces aspects sont interprétés avec une perspective d'équité entre les groupes de citoyens. Cette approche d'aide à la décision opérationnalise une grande partie des constats que nos activités de recherche sur la région de Québec (et ailleurs) ont accumulé depuis une trentaine d'années au Centre de recherche en aménagement et développement de l'Université Laval.

3.2. La procédure d'évaluation et de modélisation

La procédure d'évaluation de la durabilité des développements résidentiels combine trois types d'éléments : (1) des données mesurées spécifiques de la région de Québec (incluant une cartographie de son territoire); (2) des modèles et des simulations visant à établir les relations systémiques entre les faits mesurés et à estimer les effets socioéconomiques et les impacts environnementaux; et (3) des spécifications de scénario de développement résidentiel, de facteurs macro-économiques qui affectent le coût prévisible du logement et des transports, ainsi que des critères de viabilité économique et de durabilité visant à comparer et classer les scénarios. La figure 3 présente la séquence des 11 étapes requises pour classer les scénarios en fonction de leur viabilité et de leur durabilité.

Les données mesurées proviennent de quatre sources principales : (1) l'enquête origine-destination de 2006 de la région de Québec (ensemble des déplacements recueillis à l'échelle des individus et des ménages); (2) le recensement de la population de 2006 de Statistique Canada à l'échelle des aires de diffusion (l'échelle la plus détaillée du recensement); (3) les données du répertoire des immeubles (rôles fonciers) de la CMQ à l'échelle des propriétés individuelles; et (4) la cartographie avec structuration topologique des réseaux de transport de la région de Québec (réseaux routiers et réseaux de transport en commun avec localisation des arrêts). Au besoin, des enquêtes spécifiques ont permis de compléter les faits, notamment à partir du *Plan métropolitain d'aménagement et de développement* (PMAD), d'échantillons de transactions immobilières récentes de résidences unifamiliales neuves, du recensement de 2011, des taux de taxation municipale et scolaire, des coûts de l'automobile selon le CAA, etc.

Les données de l'enquête OD de 2011 ne sont disponibles que depuis un an alors que les modèles et simulations requis pour élaborer le modèle SEM ont été réalisés il y a quatre ans. Il a été exclu de reprendre toutes les opérations d'analyse spatiale et de simulation avec les données de 2011 ce qui aurait requis un an de travail. Les données de 2006 ont été ajustées pour 2016 afin de tenir compte de l'inflation et des changements

survenus notamment au chapitre des revenus et du coût des logements. Comme les coefficients de relation entre les phénomènes urbains (par exemple, effet de l'accessibilité sur le coût de l'immobilier) sont stables et varient très peu d'une année à l'autre (différences non significatives), ce type d'ajustement suffit pour obtenir des résultats fiables. La variation des conditions macro-économiques et de la nature (forme, localisation et prix) des développements résidentiels comparés causent des variations nettement plus importantes que les coefficients de corrélation entre les faits mesurés.

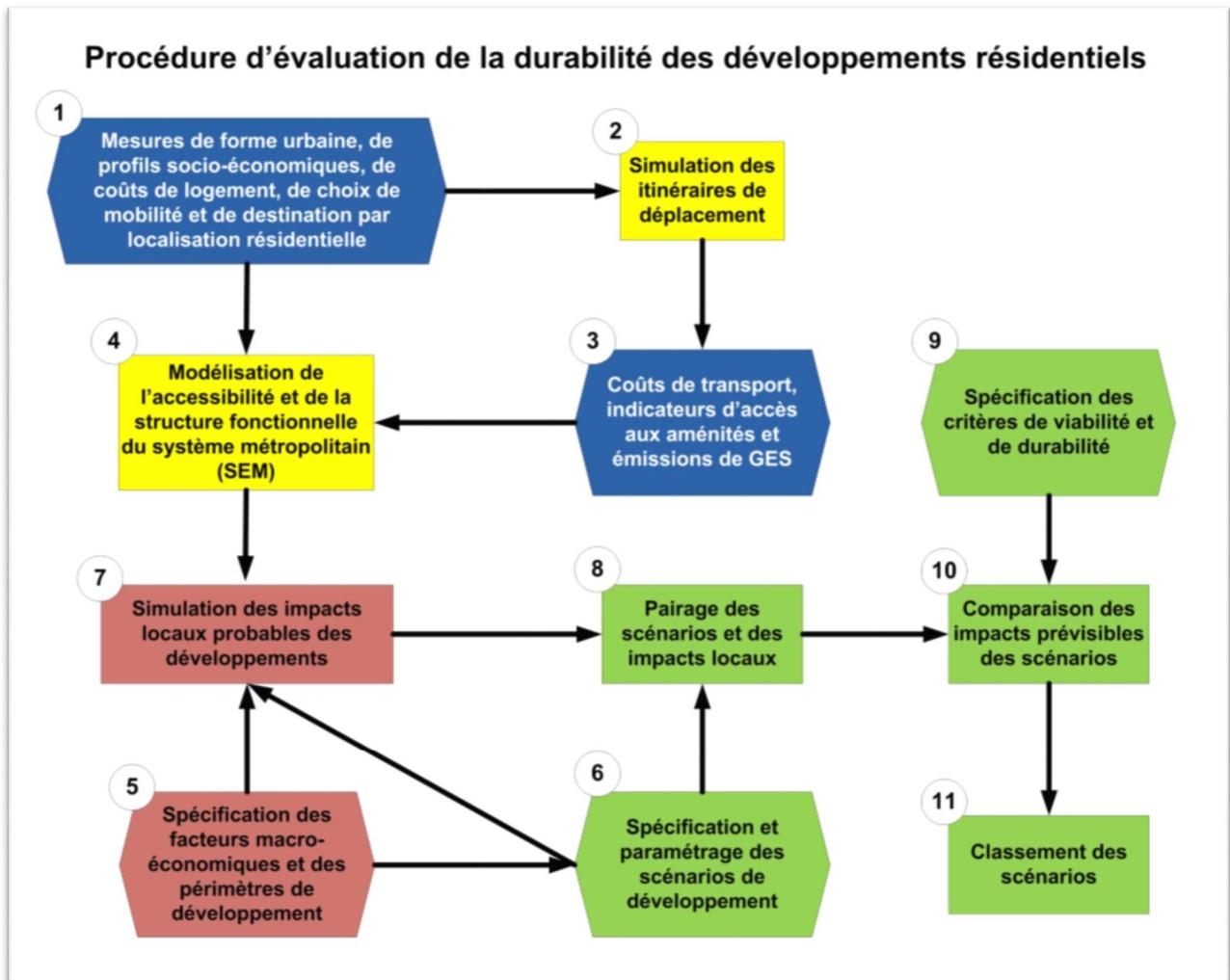


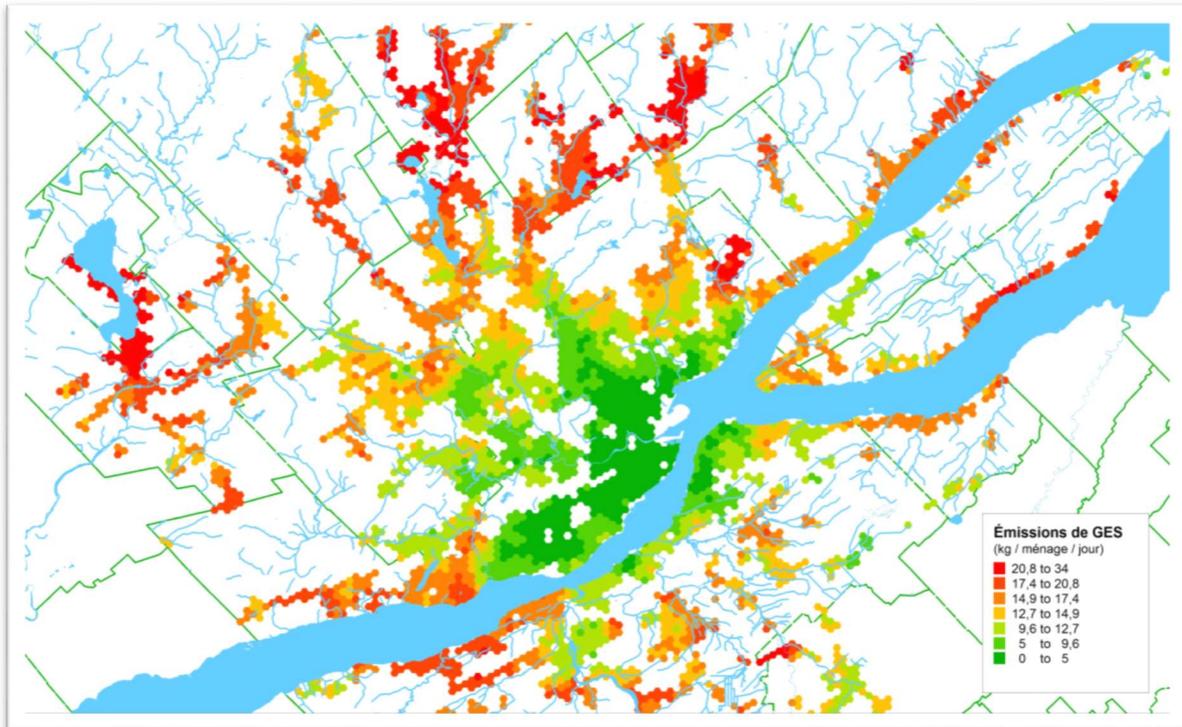
Figure 3. La procédure d'évaluation des scénarios de développement résidentiel

Sauf pour le recensement qui est agrégé à l'échelle des aires de diffusion, toutes les données utilisées pour l'étude sont obtenues à l'échelle des individus, des ménages, des propriétés foncières ou des tronçons de réseau, ce qui permet une modélisation très fine des dynamiques. Par exemple, l'enquête OD décrit 209 849 déplacements réalisés durant un jour de semaine typique (automne) par 78 207 personnes regroupées dans les 33 859

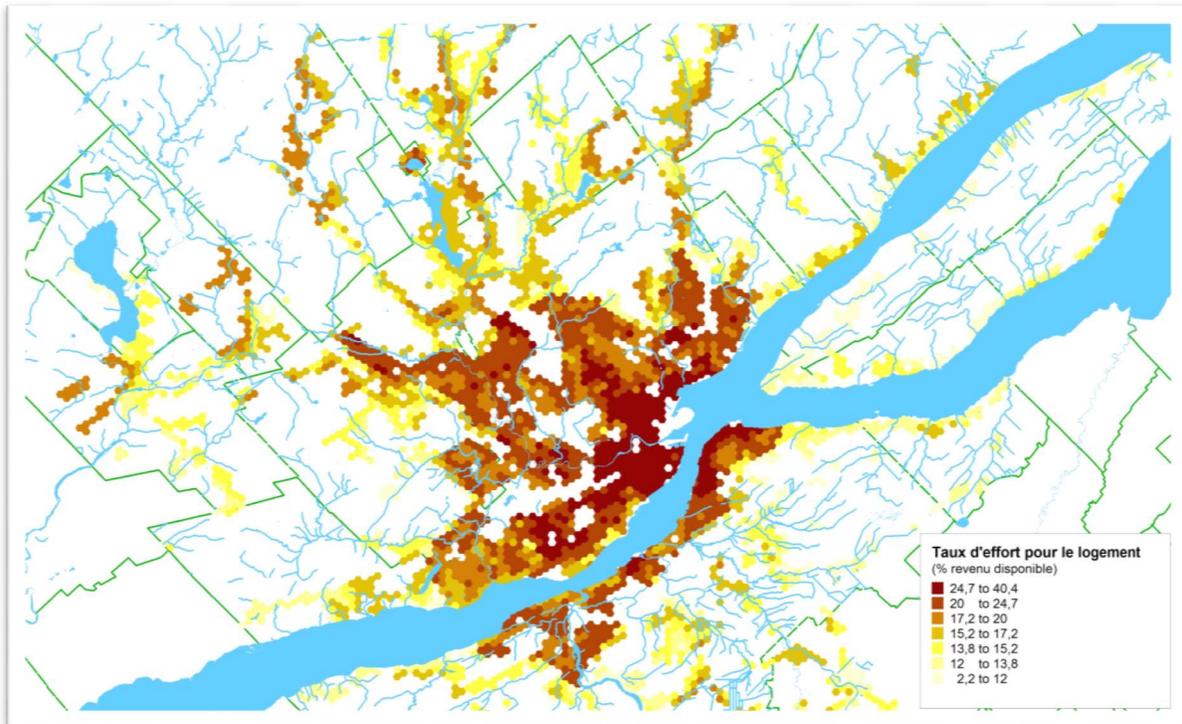
ménages enquêtés. Il s'agit d'un échantillon de 10,2 % des ménages de la région qui est redressé avec les données du recensement afin d'inférer les résultats sur l'ensemble de la population. Il fournit des données détaillées sur les personnes, les ménages, leur motorisation et leurs déplacements.

À l'étape 2 de la figure 3, chaque déplacement a été simulé dans un SIG-transport (selon le trajet le plus rapide) afin de déterminer un itinéraire réaliste et de mesurer la distance, la durée, la vitesse du trajet ainsi que les dépenses énergétiques (et coûts) et émissions de GES en fonction du mode de transport utilisé et d'une estimation du nombre de passagers dans le véhicule (conducteurs et passagers d'automobile ou utilisateur du transport collectif – autobus urbains ou scolaires). Les estimations d'émissions de GES tiennent compte de la vitesse des véhicules durant le trajet et des taux d'émission moyens établis avec des méthodes économétriques pour l'ensemble du parc automobile de la Province de Québec (Barla *et al.* 2008), pour le parc d'autobus opéré par le RTC (Tecsult Inc. 2008) et pour la flotte d'autobus desservant la Commission scolaire des Découvreurs. Les coûts de transport tiennent compte de la motorisation (coûts fixes de l'automobile selon les paramètres du CAA), des frais d'opération des véhicules (essence, entretien) et des prix de passage dans les transports publics. La procédure détaillée est décrite dans Des Rosiers *et al.* (2015 et 2016).

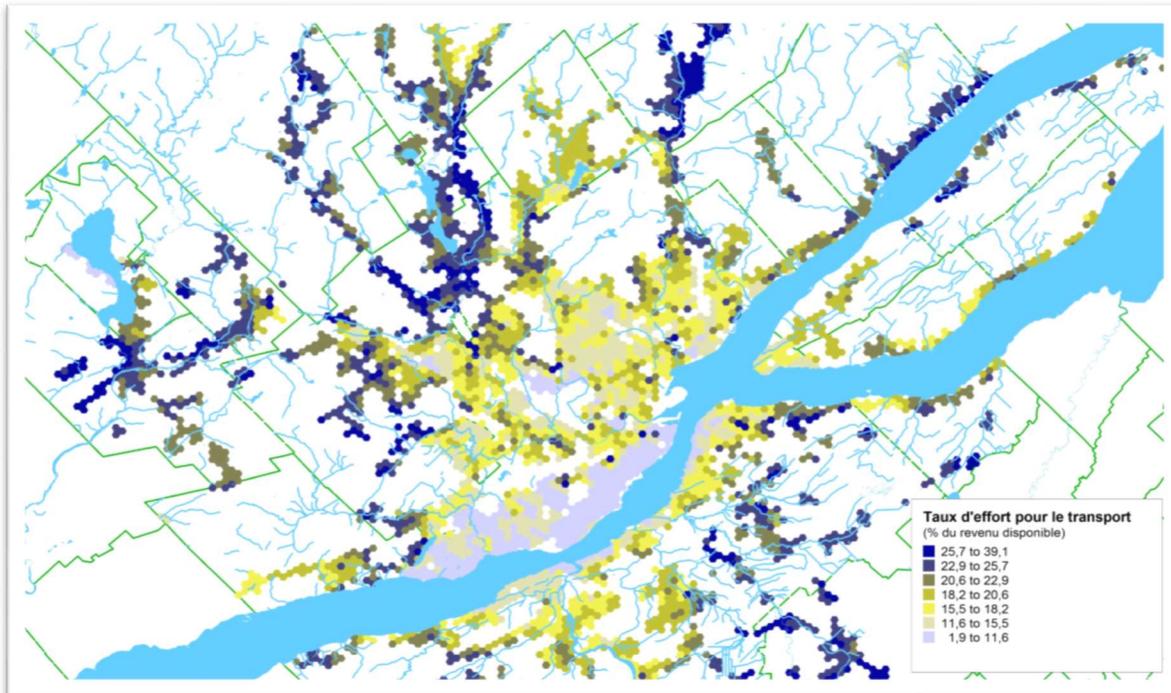
Les simulations de déplacement individuel et leurs effets (durée de trajet, coût de transport, émissions de GES) ont été redressés et agrégés au lieu de résidence en utilisant une grille de 3 892 cellules hexagonales de 250 mètres de rayon. Les coûts de transport et les indicateurs d'émission de GES ont été rapportés au nombre de ménages résidents pour une journée typique afin d'obtenir des coûts moyens et des taux d'émission moyens par ménage et par jour. La carte 2 présente la distribution des taux d'émission des GES. Les autres données (le recensement qui fournit notamment le revenu disponible des ménages et les coûts du logement ; les indicateurs de forme urbaine, dont la densité résidentielle nette, la mixité des fonctions ; et les indicateurs d'accessibilité aux aménités urbaines) ont été compilés par cellule de grille. Afin d'évaluer la capacité de payer des ménages, les taux d'effort (% du revenu disponible) pour le logement (Carte 3) et pour le transport (Carte 4) ont été estimés. Des indicateurs de motorisation (Carte 5) et les parts modales (%) des déplacements effectués en automobile comme conducteur (Carte 6) et à la marche (Carte 7) permettent de caractériser la variation spatiale des comportements, stratégies (ou contraintes) de mobilité des ménages sur le territoire.



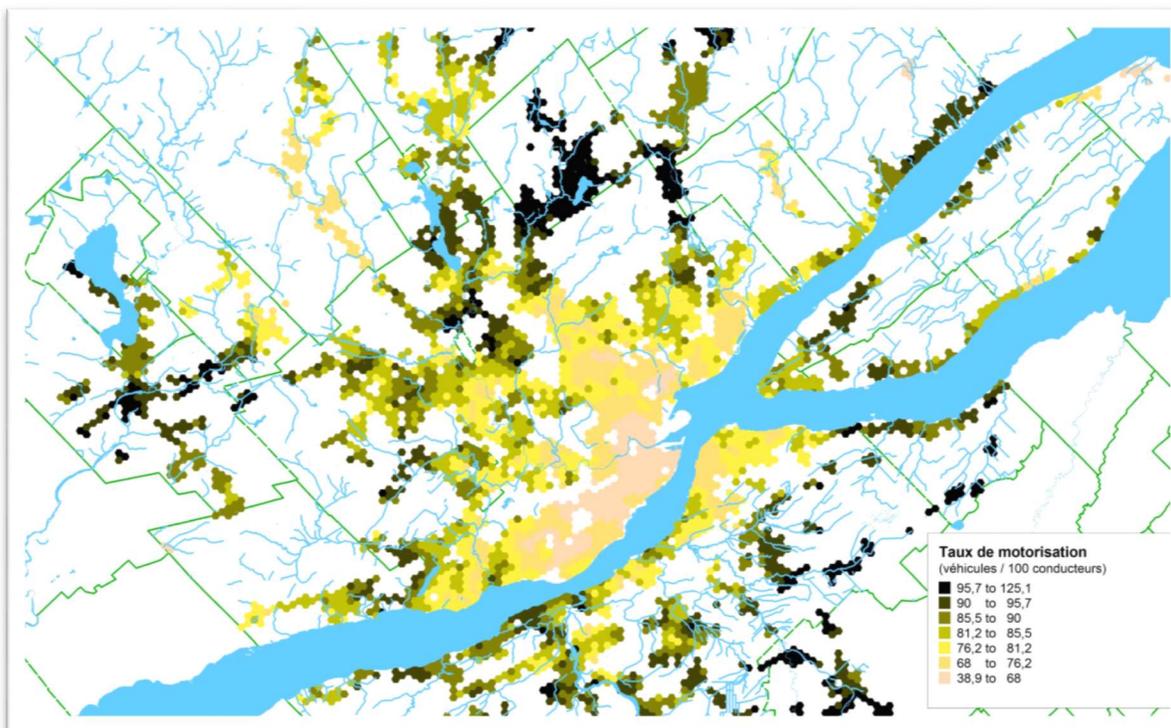
Carte 2. Émissions moyennes de GES par ménage et par jour en 2006 (kilogrammes)



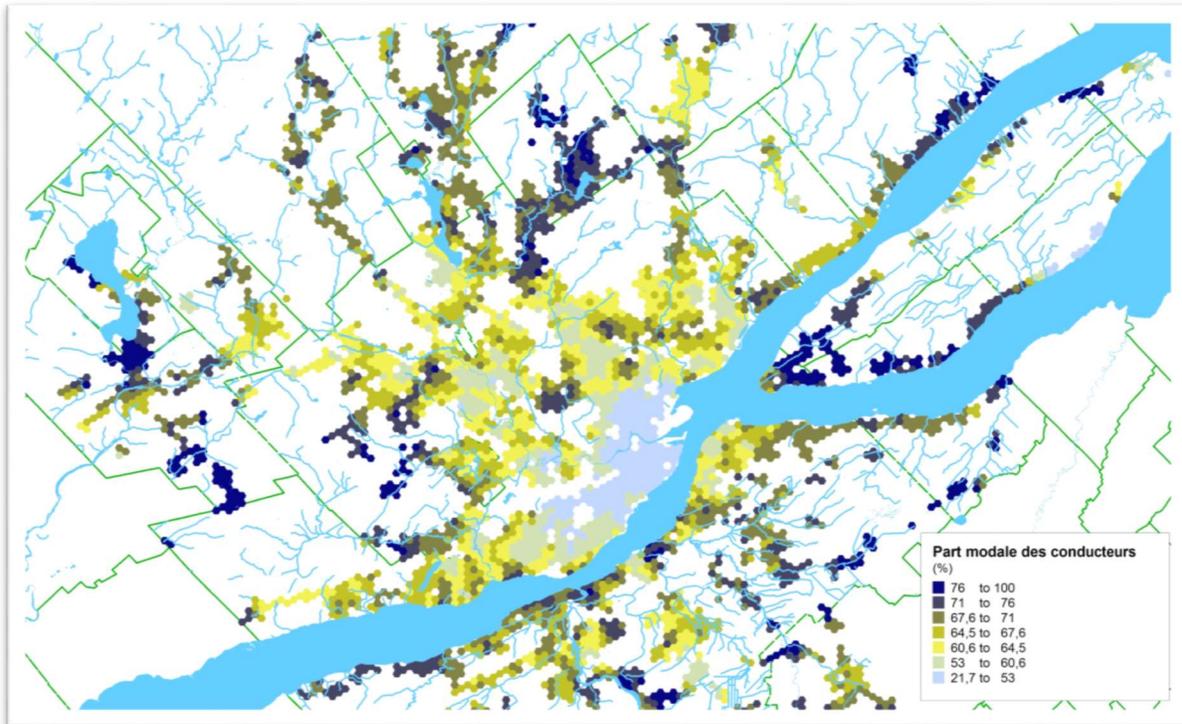
Carte 3. Taux d'effort des ménages pour le logement (% du revenu disponible)



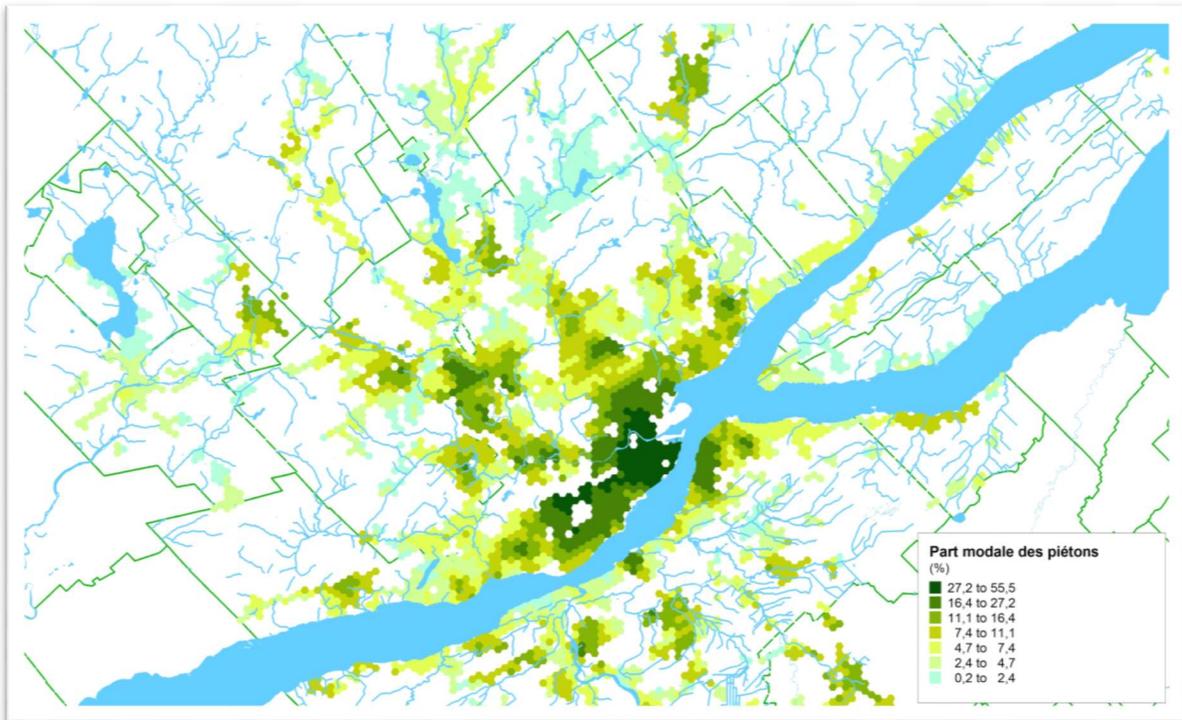
Carte 4. Taux d'effort des ménages pour le transport (% du revenu disponible)



Carte 5. Taux de motorisation (véhicules / 100 conducteurs)



Carte 6. Part modale des déplacements comme conducteur (% des déplacements)



Carte 7. Part modale des déplacements comme piéton (% des déplacements)

Les cartes 2 à 7 présentent six variables qui sont en forte interaction (influences réciproques) et requièrent d'être considérées simultanément (comme un sous-système endogène) pour tenir compte des ajustements des ménages aux avantages et contraintes reliées à chaque localisation résidentielle et le type de milieu de vie correspondant (accessibilité, densité, mixité, rente foncière, structure sociale, cycle de vie, etc.). L'étape 4 de la démarche utilise l'approche statistique des modèles à équations structurales (SEM) pour synthétiser la structure fonctionnelle complexe du système métropolitain afin de mesurer les effets directs et indirects des interrelations (voir la section 4.1). Le SEM synthétise les faits observés, mesure les relations, vérifie leur signification en termes statistiques et produit un outil permettant de prédire les conséquences moyennes des combinaisons de localisation et de forme urbaine sur les choix de localisation résidentielle (capacité de payer le logement et le transport), de mobilité (motorisation et choix modaux) et les émissions de GES qui en découlent. En plus de fournir les valeurs moyennes, le SEM permet de déterminer les marges de confiance probabilistes afin de calculer des minima et maxima.

La comparaison des scénarios débute avec l'étape 5 de la procédure et se termine à l'étape 11. On y distingue : (5) la spécification des facteurs macro-économiques prévisibles et des périmètres de développement visés ; (6) la caractérisation des scénarios ; (7) la simulation des impacts locaux ; (8) le pairage des scénarios et des impacts prévus ; (9) le choix des critères ; (10) la comparaison et (11) le classement des scénarios.

3.3. La procédure de simulation et d'aide à la décision

Le SEM développé pour la région de Québec synthétise les liens structurels entre les choix résidentiels et de transport en regard des émissions de GES en utilisant les faits mesurés sur le territoire, ce qui aboutit à constituer un modèle. Pour transposer ces relations dans le cas de nouveaux développements résidentiels, il faut d'une part, utiliser les équations du SEM pour prédire les conséquences de scénarios en tenant compte des interrelations entre les indicateurs de résultat locaux, d'autre part, tenir compte des incertitudes liées à des variations potentielles des conditions macro-économiques, comportementales, et des marchés. Ce sont les simulations présentées plus loin qui vont permettre d'intégrer et de contrôler ces variations afin de comparer les scénarios sur des bases probabilistes robustes (en considérant la gamme des variantes vraisemblables).

La figure 4 présente une vision opérationnelle de la procédure d'aide à la décision. Elle est constituée des étapes de mesure et d'évaluation qui ont été expliquées à la section 3.2 (sur fond bleu et jaune) et de deux étapes subséquentes liées à la simulation des effets de planification et de prévision des impacts afin de comparer les scénarios (sur fond saumon et vert). Les paragraphes suivants présentent quelques aspects liés aux simulations des effets prévisibles des scénarios de développement avec une approche

probabiliste, à leur synthèse statistique dans une optique de prévision des effets croisés (avec estimation des moyennes, des médianes et des valeurs extrêmes) et de comparaison des scénarios en vertu des critères liés aux impacts prévus.

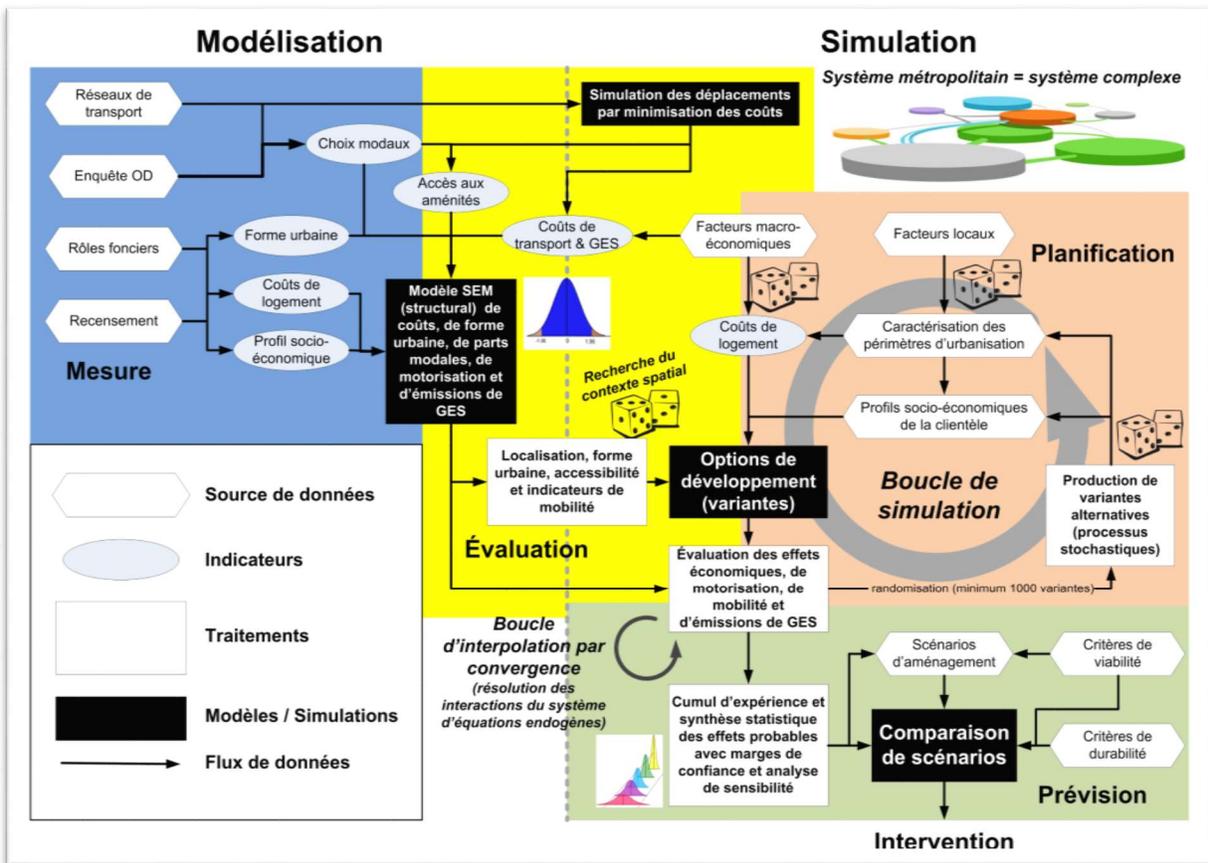


Figure 4. La procédure d'aide à la décision pour comparer les scénarios de développement

Bien que le SEM de la région de Québec produise un ensemble d'équations qui synthétisent les interdépendances observées du système métropolitain, plusieurs facteurs externes peuvent exercer des pressions sur les choix (ou contraintes) des ménages (par exemple, variation des taux d'intérêt hypothécaire, prix des maisons, coût de l'énergie, etc.). De plus, la réponse aux changements varie d'un ménage à l'autre et une prévision déterministe est peu réaliste. Le SEM renseigne sur les effets moyens observés, mais il faut faire intervenir des variations aléatoires dans une simulation pour mesurer les écarts possibles autour de ces moyennes et dégager des marges de confiance pour estimer les minima et maxima de chaque élément du système endogène. Il s'agit grosso modo de l'équivalent des notions de scénario faible et fort, bien que les bornes soient établies sur une base probabiliste grâce à une procédure de randomisation et que le système d'équations assure que les prévisions effectuées demeurent cohérentes en fonction des interrelations observées dans la région de Québec.

La randomisation consiste, pour chaque scénario et chaque cellule hexagonale, à répéter la simulation un grand nombre de fois en faisant chaque fois varier les facteurs d'influence de manière aléatoire entre des bornes minimales, moyennes et maximales telles qu'on peut les observer à divers endroits sur le territoire (par exemple, variation des taux de taxes foncières, des parts modales, etc.). On obtient ainsi un grand nombre de variantes qui constituent la gamme des « futurs possibles » et produisent autant de résultats prédits par le SEM. Cette approche de simulation est basée sur la théorie des probabilités. La littérature enseigne qu'il faut effectuer au moins 1 000 simulations pour estimer des marges de confiance à 5 % et 5 000 pour des marges de confiance à 1 %.

Cette étude est basée sur 5 000 variantes de simulation, ce qui signifie que pour chaque scénario simulé, la probabilité d'obtenir une valeur (émissions de GES, taux d'effort, etc.) à l'extérieur des bornes minimales et maximales présentées dans la section 8 est inférieure à 1 % dans chaque direction. Ces marges de confiance permettent de distinguer les scénarios qui présentent des résultats significativement différents (avantage absolu – nettement meilleur) des autres, en plus d'identifier les scénarios qui, tout en ayant des résultats moyens différents, constituent des options comparables (classées par performance relative). Les dés sur la figure 4 signalent les catégories de facteurs d'influence qui ont été randomisés lors des simulations. L'annexe 1 présente les facteurs d'influence avec les détails de la procédure de randomisation effectuée.

Après chaque simulation, le SEM est en mesure de prédire les effets attendus pour chaque élément du système endogène (GES, taux d'effort – logement et transport, parts modales – conducteur et piéton, motorisation, budget résiduel des ménages après les dépenses de logement et de transport). Toutefois, sauf pour les émissions de GES qui sont, comme nous le verrons à la section 4, une variable strictement dépendante, les éléments du système endogènes sont interdépendants et des itérations de la prédiction sont nécessaires pour faire converger les estimations. Ces itérations sont bornées afin d'éviter les extrapolations qui surviendraient si une valeur prédite sortait de la gamme des valeurs observées effectivement dans la région de Québec. Les effets prévus sont donc obtenus par interpolation à convergence des résultats prédits par le SEM. Les processus de simulation (5 000 étapes) et d'interpolation (de 3 à 54 itérations) sont représentés par des boucles sur la figure 4.

Cette procédure réalise un cumul d'expérience qui couvre la gamme des effets prévisibles et se prête à une synthèse statistique par scénario (groupes de cellules qui localisent des modalités d'aménagement spécifiques) afin de comparer leurs impacts sur les variables endogènes en fonction de critères de viabilité économique (coûts de logement et de transport abordables pour les ménages) et de durabilité (tendance d'évolution des taux d'effort, de la motorisation, des parts modales et des émissions de GES).

4. Modélisation du système métropolitain et inférence avec l'approche SEM

4.1. Les modèles à équations structurales (SEM)

Les SEM sont utilisés depuis les années 1970 pour élucider des questions ayant trait à des systèmes complexes (Hoyle 2012). Ils sont notamment répandus en psychologie pour relier les croyances et les attitudes aux actions, en sciences politique pour comprendre l'émergence des convictions, en marketing pour élaborer des profils de clientèles, en biologie pour distinguer des profils génétiques, en sociologie pour analyser les sentiers de causalité, en économie et en transport pour étudier les comportements des agents lors de prise de décisions complexes. Leur principe repose sur la fusion de plusieurs approches statistiques, notamment la régression multiple et l'analyse factorielle, dans un cadre unifié qui repose sur la solution simultanée de plusieurs équations à plusieurs inconnues. Contrairement aux modèles de régression classiques, les SEM admettent d'emblée l'existence de perturbations dans les mesures (ils fournissent des moyens de les contrôler) et n'exigent pas que les variables d'influence soient indépendantes, ce qui permet de modéliser des réponses endogènes (cœur du système complexe) influencées par des chocs exogènes (variables d'influence). Par exemple, dans le SEM présenté à la section 4.2, la variation des densités résidentielles entre les cellules exerce un effet direct sur la majorité des variables endogènes et des impacts indirects sur ces mêmes variables grâce à des effets intermédiaires à travers les variables endogènes (médiatrices).

Par leur flexibilité et leur capacité à reproduire des modèles conceptuels complexes, les SEM permettent de tester statistiquement la validité des théories et principes urbanistiques (environnementaux, comportementaux, fonctionnels, etc.) en regard des faits observés sur le territoire. Ils fournissent en outre des indicateurs d'ajustement afin de comparer les modèles conceptuels alternatifs en termes d'ajustement avec les faits mesurés (et/ou des indicateurs obtenus par simulation, par exemple des durées de trajet routier). Ils manipulent simultanément des valeurs mesurées sur toutes les échelles, des indicateurs binaires aux variables continues en passant par les catégories et les rangs. Ils fournissent même des instruments pour intégrer des phénomènes non mesurables (par exemple, des concepts comme l'*intelligence* — psychologie, le *conservatisme* — sciences politique ou une *attitude pro-environnementale*) grâce à leur capacité à synthétiser les facteurs latents. Un SEM permet d'analyser les relations réciproques (de covariance) dans un système complexe avec plusieurs variables exogènes (chocs externes), endogènes (effets directs et indirects), latentes (par synthèse d'indicateurs) et dépendantes (effet net). De plus, étant fondés sur des principes de probabilité et de statistique, ils offrent des outils pour vérifier la significativité des relations (indépendance du hasard) et effectuer des tests d'hypothèse sur le bon ajustement du modèle avec la réalité observée. Ces capacités permettent de faire de l'inférence, c'est-à-dire, de

transposer les conclusions tirées d'un échantillon (par exemple l'enquête OD) sur l'ensemble de la population (par exemple, la région de Québec). Le simulateur que nous avons élaboré pour cette étude généralise cette capacité d'inférence pour effectuer des prévisions de l'éventail des évolutions réalistes avec une procédure de randomisation.

4.2. Caractéristiques du SEM de la région de Québec

Le principe de base du SEM de la région de Québec est relativement simple (Figure 5) : les émissions de GES engendrées par le transport des personnes résultent des choix de court, moyen et long terme en logement et en transport des ménages afin d'atteindre leurs objectifs (qualité de vie, satisfaction, etc.) compte tenu des contraintes physiques et économiques auxquelles ils doivent s'ajuster. Pour la plupart des ménages, la principale contrainte provient de leur revenu disponible qui conditionne leur capacité à payer pour le logement et le transport. Le second principe est que les choix de logement et de transport sont intimement liés et doivent donc être pris en compte simultanément, ce qui fait qu'on ne peut pas évaluer les impacts environnementaux d'un développement résidentiel sans considérer ses relations avec la dimension transport.

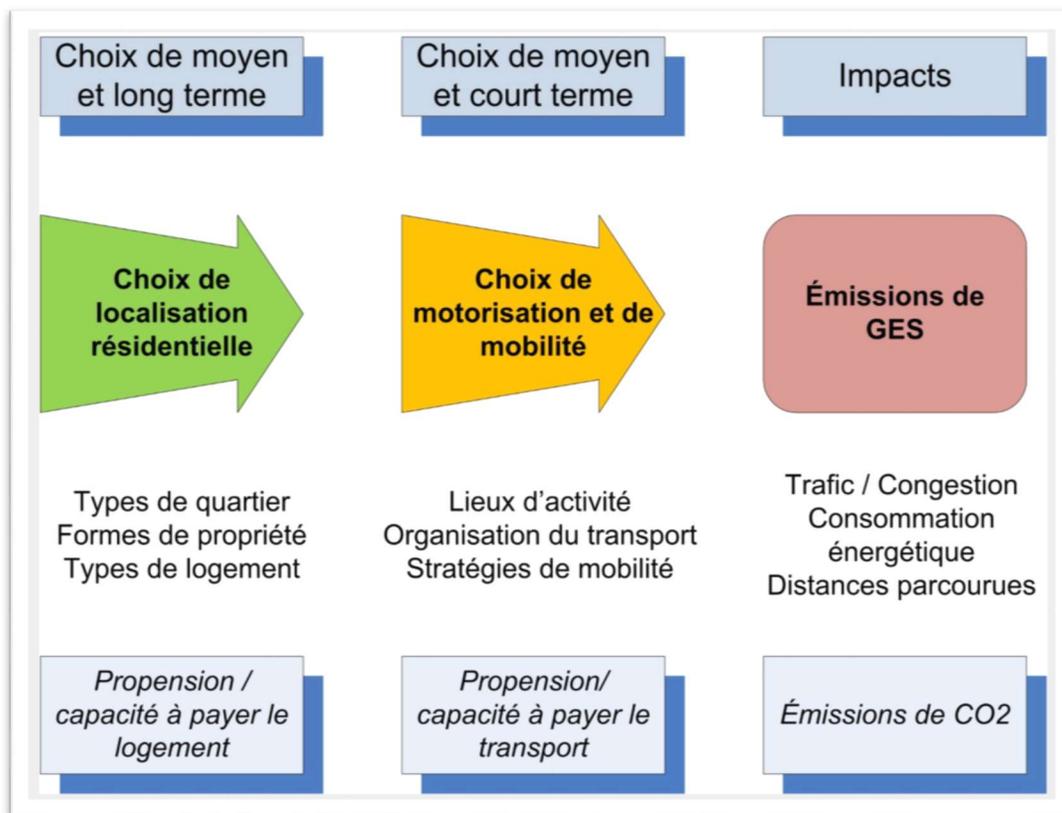


Figure 5. Choix, capacité de payer et impacts environnementaux

On peut énoncer que chaque ménage optimise ses décisions afin de satisfaire ses goûts et ses besoins. Toutefois, rien ne garantit que la somme des décisions des ménages va produire un optimum à l'échelle des quartiers ou de la ville entière ; c'est même peu probable, même si les marchés exercent un contrôle sur l'offre. Les ménages doivent gérer en fonction d'un budget et composer avec une limite dans l'effort qu'ils sont prêts à consentir pour chaque poste budgétaire, dont le logement et le transport. Au-delà d'un certain taux d'effort combiné, les ménages risquent de ne pas pouvoir atteindre leurs autres objectifs ou de subir des pénuries pour l'alimentation, les loisirs... Le taux d'effort est mesuré en pourcentage du revenu disponible (après impôt et charges similaires) et, dans cette étude, nous considérons qu'un taux d'effort global supérieur à 55 % pour le logement et le transport combinés correspond à une situation peu viable à long terme au plan économique.

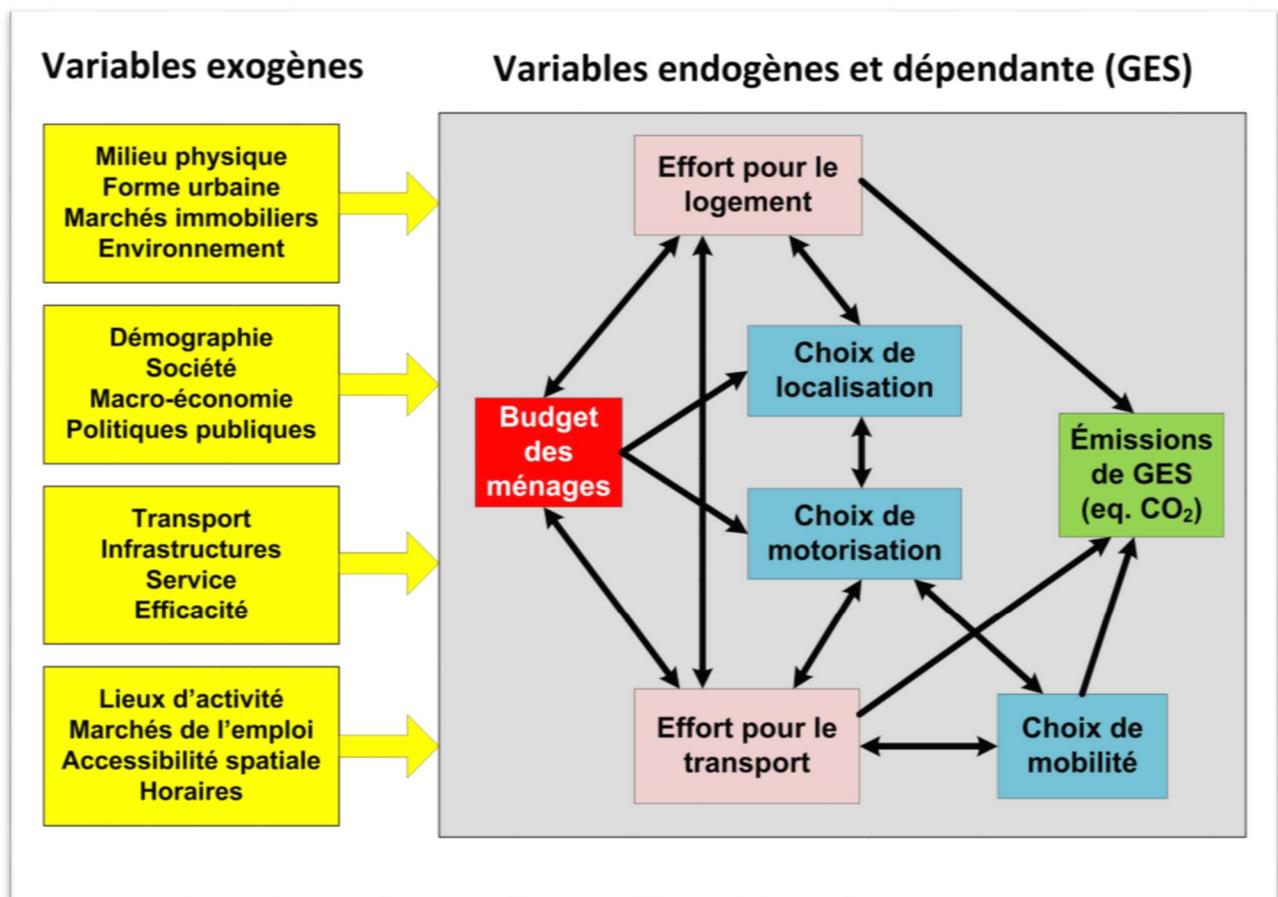


Figure 6. Facteurs exogènes et endogènes des choix de mobilité

La figure 6 présente les principaux facteurs d'influence des choix des ménages en matière de mobilité résidentielle et quotidienne en lien avec les facteurs du milieu qui influencent ces derniers et les impacts en termes d'émissions directes de GES. Certaines variables

sont dites exogènes (i.e. les valeurs de ces variables sont déterminées en dehors du système) parce qu'elles influencent les comportements sans être, à court et moyen terme, influencées par les comportements. Sur une plus longue période, elles pourraient modifier l'environnement (par exemple, l'étalement urbain qui augmente la congestion de l'infrastructure routière). On note d'une part, la diversité des facteurs d'influence exogènes qui vont du contexte macro-économique (par exemple, prix de l'essence, taux d'intérêt) à des considérations plus locales d'efficacité des services de transport ; d'autre part, une forte interaction entre les contraintes budgétaires, les choix des ménages et les émissions de GES qui forment un noyau de variables endogènes modélisé en fonction du contexte local (urbain et global) caractérisé par les variables exogènes.

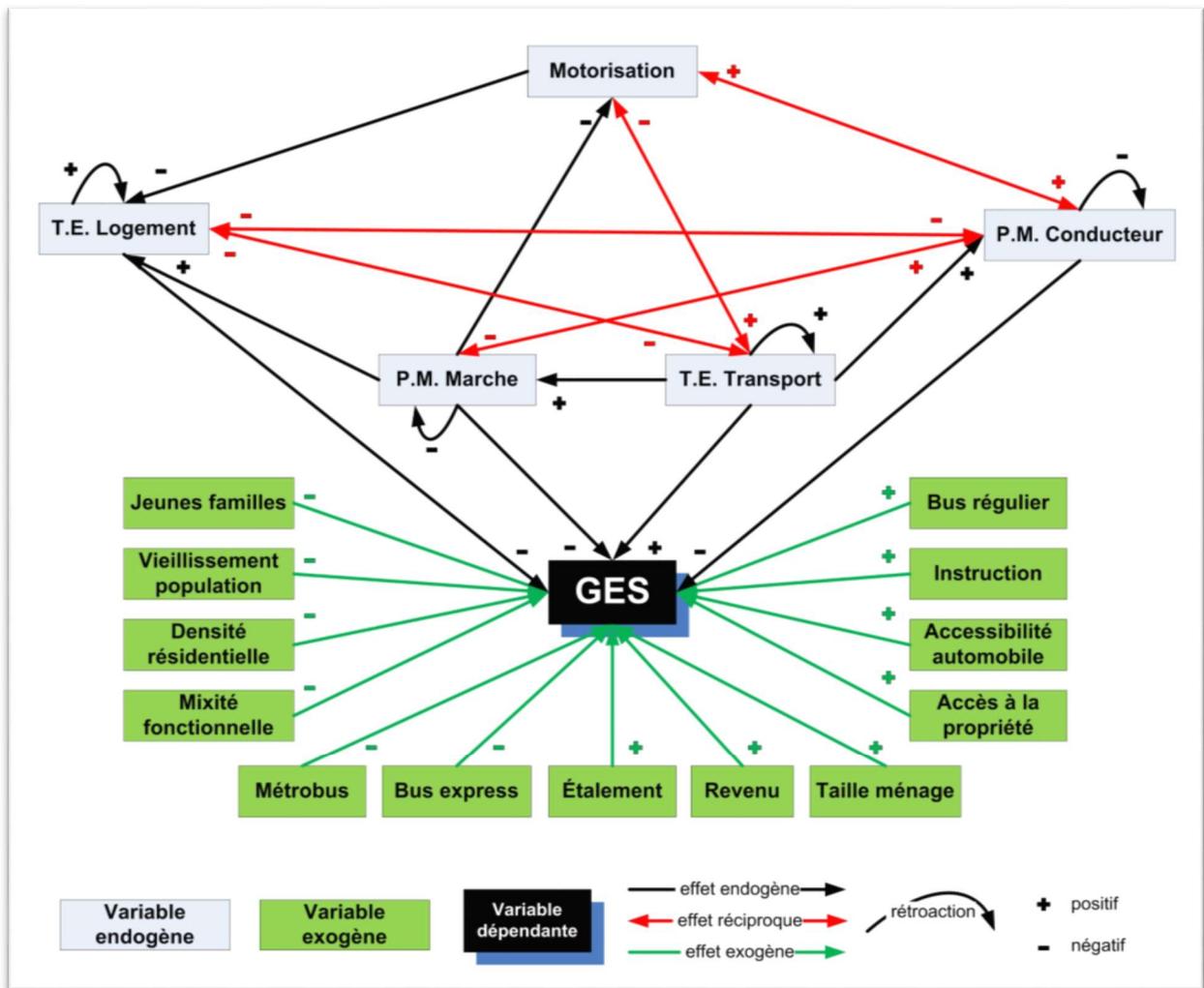


Figure 7. Le modèle à équations structurales de la région de Québec

La figure 7 illustre le même concept de manière encore plus spécifique puisqu'elle représente les principales variables utilisées pour élaborer le SEM de la région de Québec

avec précision du sens des effets totaux obtenus avec les données mesurées à l'échelle des cellules de grille. En plus d'influencer directement les émissions de GES, les variables exogènes influencent la grande majorité des autres variables endogènes, la figure a été simplifiée pour accroître sa lisibilité. Le modèle SEM implique deux conséquences primordiales : (1) l'établissement de politiques efficaces visant à réduire les émissions de GES ne peut pas s'appuyer sur quelques principes simples érigés en *recette miracle* ; (2) l'agrégation des décisions des ménages produit un système complexe avec des boucles d'influence réciproque (système non linéaire avec propagation des effets par médiation) dotées de mécanismes de rétroaction qui peuvent ralentir ou accélérer les ajustements. Le système est complexe et ne peut être réduit à une simple relation de cause à effet ; les éléments de contexte doivent être pris en compte.

C'est notamment le cas pour ce qui concerne les taux d'effort des ménages où une hausse de l'effort pour le logement induit une baisse de l'effort pour le transport (et vice versa) alors qu'une hausse de l'effort pour le transport induit une hausse accentuée de l'effort pour le transport (effet de rétroaction positive). Pour la région de Québec, nous observons un effet compensatoire entre les coûts de logement et de transport (équilibre réciproque négatif qui évite l'impasse budgétaire) qui coexiste avec des effets de spirale tant sur le logement que sur le transport (rétroaction positive), ce qui, dans certaines circonstances peut compromettre la durabilité des développements (risque d'escalade progressive des efforts requis en cas d'étalement ou de densification excessive – phénomène de surchauffe) et pose éventuellement des questions d'équité entre les catégories de revenu.

Il s'agit d'un modèle non récursif parce que les relations causales directes et/ou indirectes entre les variables endogènes agissent de façon multidirectionnelle (par exemple, X1 agit sur X2, et réciproquement). Néanmoins, ce modèle non récursif répond pleinement aux critères mathématiques garantissant sa stabilité dans la limite des données observées sur le territoire. Toutes les relations présentées sur la figure 7 sont très significatives avec des coefficients qui proviennent d'un modèle très bien ajusté aux données. Par ailleurs, les rétroactions négatives des parts modales de la marche et de l'automobile-conducteur sont moins préoccupantes puisqu'elles indiquent un ajustement modérateur qui limite graduellement la hausse de part modale. Seule une application de simulation mettant en œuvre les résultats d'un tel modèle est à même de dégager des conclusions claires compte tenu de l'enchevêtrement d'effets multiples combinés et/ou compensatoires. Les aspects plus techniques du SEM de la région de Québec sont présentés dans l'annexe 2.

Un SEM est bien ajusté quand il reproduit, par la méthode du maximum de vraisemblance, la matrice de covariance observée sur le territoire. Le SEM de la région de Québec a été ajusté avec une correction de Satorra-Bentler pour tenir compte de la non-normalité des distributions des 8 équations de régression qui estiment les variables endogènes. Pour

chaque équation, le coefficient de détermination (R^2) indique la proportion de la variance totale expliquée par le modèle. Ces coefficients sont très satisfaisants et présentés dans le tableau 3. Globalement, le SEM obtient un R^2 global de 0,99, ce qui indique qu'il reproduit très fidèlement la matrice de covariance entre les variables endogènes. Quelques autres indices développés pour les SEM permettent de juger de la qualité de cet ajustement : l'indice comparatif d'ajustement (FIT index) s'établit à 0,999 alors qu'un modèle est jugé satisfaisant lorsque l'indice excède 0,8 ; et l'erreur quadratique moyenne d'approximation (RMSEA) est de 0,019 ce qui est largement inférieur à 0,06 qui constitue le seuil maximal admissible. De plus, bien que non récursif, le SEM est stable en vertu du test du rayon unitaire (Hoyle 2012).

Variable endogène	R^2
Émissions de GES par le transport des personnes (kg éq. CO ₂ /ménage/jour)	0,79
Taux d'effort pour le logement (% du revenu disponible)	0,83
Taux d'effort pour le transport (% du revenu disponible)	0,90
Taux de motorisation des ménages (véhicules par 100 conducteurs)	0,71
Part modale des conducteurs d'automobile (% des déplacements)	0,53
Part modale des conducteurs piétons (% des déplacements)	0,74
Revenu résiduel après frais de logement (\$)	0,99
Revenu résiduel après frais de transport (\$)	0,99

Tableau 3. Coefficients de détermination des 8 variables endogènes du SEM de la région de Québec

5. Spécification des scénarios et simulation des développements résidentiels

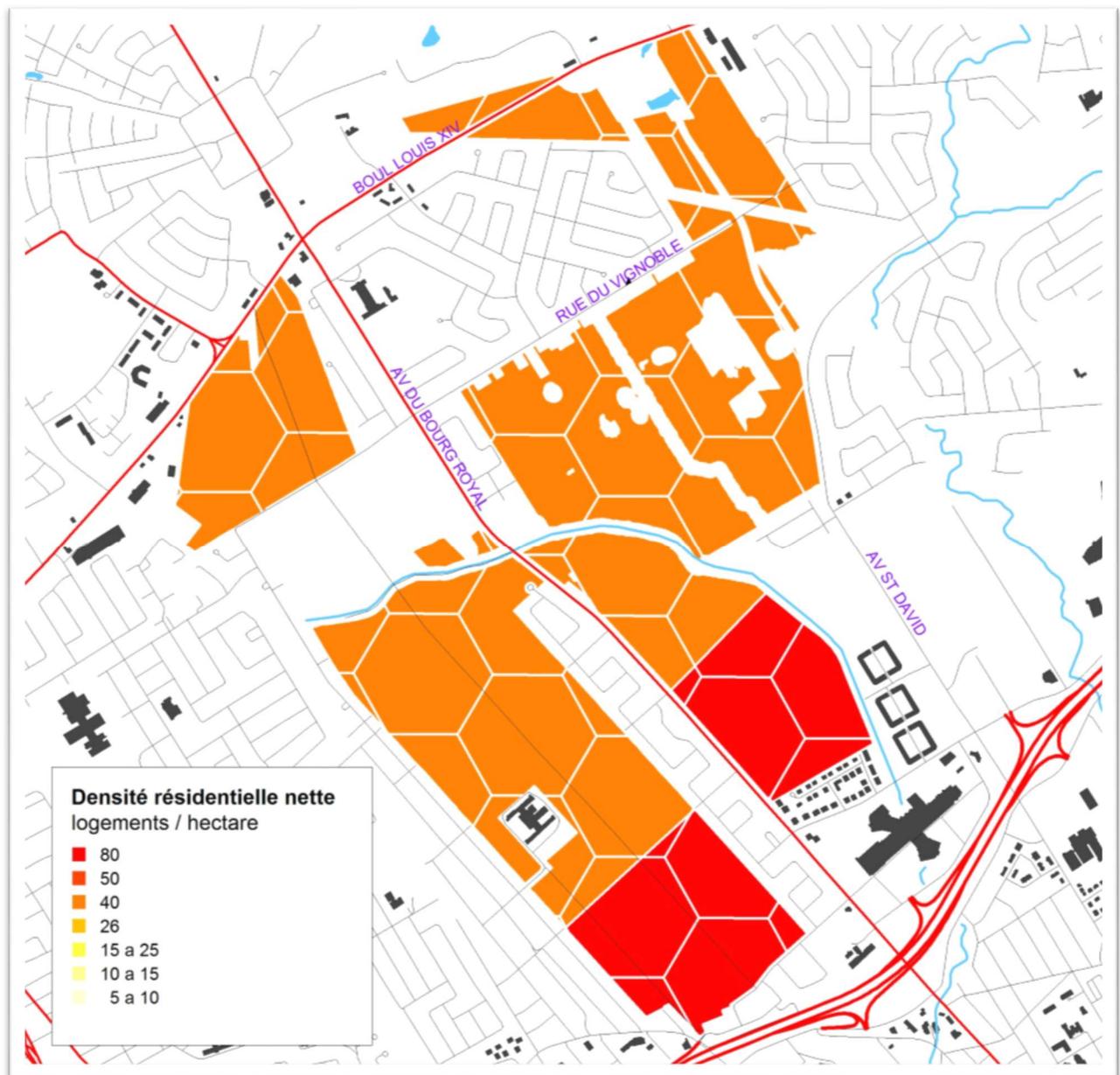
Afin de satisfaire la demande résidentielle prévue pour les maisons et les duplex, l'Agglomération de Québec prévoit étendre son périmètre d'urbanisation en périphérie immédiate de quartiers déjà développés dans deux secteurs, soit Bourg-Royal et Saint-Augustin-de-Desmaures. En plus d'assurer la continuité du cadre bâti, ces localisations offrent un accès immédiat à des infrastructures existantes et aux réseaux de transport collectif. Il s'avère néanmoins utile de valider la pertinence de ces développements en termes de développement durable en les comparant à des alternatives de développement en périphérie de l'agglomération. Cette section identifie les scénarios alternatifs et explique comment ces extensions des périmètres d'urbanisation sont spécifiées et comparées entre eux grâce au SEM de la région de Québec et aux simulations.

5.1. Identification des scénarios de développement résidentiel

Le secteur Bourg-Royal (Carte 8) est situé au nord de l'autoroute Félix-Leclerc, entre les arrondissements de Charlesbourg et de Beauport. Il s'agit de terres agricoles enclavées dans le tissu urbain actuel. Un devis préliminaire d'aménagement a identifié les espaces développables en tenant compte des contraintes environnementales (milieux humides) et des aires à conserver pour servir de bassins de rétention des eaux de pluie (Carte 8). En tenant compte des voies de circulation à aménager, les superficies développables atteignent 204,57 hectares. Compte tenu de la proximité du centre de l'agglomération et du prix des terrains, un développement rationnel de ce secteur prévoit deux sous-secteurs : (1) la partie sud (41,84 hectares) avec des résidences multifamiliales à 80 logements par hectare (3 447 logements); (2) la partie nord avec des résidences unifamiliales (50 % en rangée, les autres en maisons détachées et jumelées) pour une densité de 40 logements par hectare (6 509 logements).

Les quatre alternatives de développement (présentées dans le tableau 4 et délimitées dans l'annexe 3) visent les mêmes clientèles que le secteur Bourg-Royal. Elles sont situées à l'est et au nord de l'agglomération et sont développées avec des résidences unifamiliales détachées en conformité avec les densités prévues dans les documents de planification pertinents : (1) le *Scénario Bourg-Royal emplois* prévoit des développements dans les municipalités de la Rive Nord qui desservent le même bassin d'emploi que le secteur de Bourg-Royal ; (2) le *Scénario Est* comble les périmètres actuels d'urbanisation des MRC de la Côte-de-Beaupré et de l'Île-d'Orléans ; (3) le *Scénario Est et Nord* combine les périmètres d'urbanisation de la MRC de la Côte-de-Beaupré avec ceux de la municipalité de Saint-Gabriel-de-Valcartier ; (4) le *Scénario Nord et Est* prévoit des développements dans l'est de la MRC de la Jacques-Cartier et l'ouest de la MRC de la

Côte-de-Beaupré. Dans la nomenclature des scénarios (*Est et Nord* versus *Nord et Est*), la première direction cardinale indique la dominante en termes de résidences à construire.



Carte 8. Le secteur de Bourg-Royal

La carte 8 présente un exemple des découpages effectués pour réaliser les simulations. Les périmètres de développement sont d'abord nettoyés pour assurer la protection des zones humides et réserver les espaces requis pour les bassins de rétention d'eau. Dans un second temps, les périmètres résiduels sont divisés selon les densités résidentielles nettes prévues. Enfin, chaque polygone est éventuellement découpé avec la grille de cellules hexagonales. C'est à cette échelle (833 cellules au total) que les simulations et

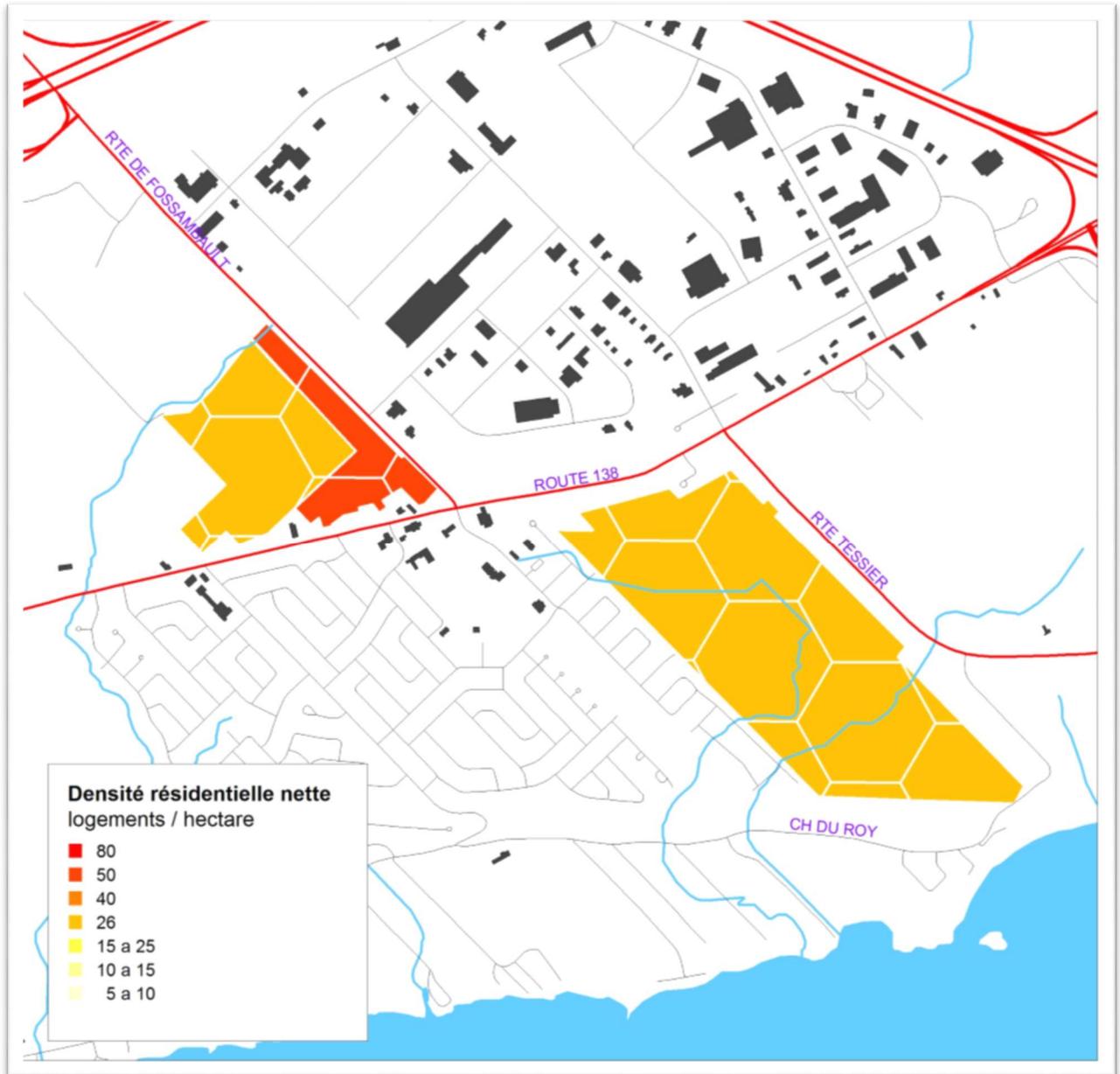
estimations sont réalisées. Les résultats sont ensuite agrégés par scénario pour les fins de cette étude.

Scénario	Description	Superficie résidentielle (hectares)	Logements (nombre)	Densité nette (Log./ha)
Bourg-Royal unifamiliales	• 162,73 hectares d'unifamiliales (50 % en rangée) à 40 logements/hectare	162,73	6 509	40,00
Scénario Bourg-Royal emplois	• Municipalités de la Rive Nord qui desservent le même bassin d'emploi que Bourg-Royal • Résidences unifamiliales avec des densités de 4 à 16 logements/hectare	534,70	6 771	12,66
Scénario Est	• MRC de la Côte-de-Beaupré et de l'Île-d'Orléans • Résidences unifamiliales avec des densités de 4 à 16 logements/hectare	531,12	6 643	12,51
Scénario Est et Nord	• MRC de la Côte-de-Beaupré et municipalité de Saint-Gabriel-de-Valcartier • Résidences unifamiliales avec des densités de 5 à 16 logements/hectare	594,62	7 000	11,77
Scénario Nord et Est	• MRC de la Jacques-Cartier et de la Côte-de-Beaupré (partie ouest) • Résidences unifamiliales avec des densités de 5 à 12 logements/hectare	856,26	6 593	7,70
Saint-Augustin unifamiliales	• 65,77 hectares d'unifamiliales (50 % détachées) à 26 logements/hectare	65,77	1 710	26,00
Scénario Saint-Augustin emplois	• Municipalités qui desservent le même bassin d'emploi que Saint-Augustin • Résidences unifamiliales avec des densités de 15 logements/hectare	176,20	2 643	15,00
Scénario Ouest et Sud	• MRC de Portneuf (partie est) et municipalité de Lévis (partie ouest) • Résidences unifamiliales avec des densités de 15 logements/hectare	147,87	2 218	15,00
Scénario Ouest et Nord	• MRC de Portneuf (partie est) et municipalité de Sainte-Catherine-de-la-Jacques-Cartier • Résidences unifamiliales avec des densités de 11 à 15 logements/hectare	141,66	1 858	13,12
Scénario Nord et Ouest	• MRC de la Jacques-Cartier (partie ouest) et municipalité de Neuville • Résidences unifamiliales avec des densités de 5 à 15 logements/hectare	232,30	1 846	7,95

Tableau 4. Scénarios de développement résidentiel

Le secteur de Saint-Augustin (Carte 9) est situé en continuité des développements actuels, à l'est et au nord de quartiers résidentiels. D'une superficie totale de 127 hectares, il fournit une superficie résidentielle nette de 82 hectares aménagés en deux sous-secteurs : (1) 65,77 hectares sont développés en résidences unifamiliales (50 % détachées) avec une densité de 26 logements par hectare (1 710 logements) ; (2) le reste est développé en résidences multifamiliales avec une densité de 50 logements par

hectare (811 logements). Le positionnement des développements permet d'optimiser les infrastructures existantes et donne accès au réseau actuel de transport collectif, tout en étant situé près des écoles et des services.



Carte 9. Le secteur de Saint-Augustin-de-Desmaures

Le secteur *Saint-Augustin unifamiliales* est comparé à quatre alternatives situées dans l'ouest du territoire. Elles sont présentées dans le tableau 4 et délimitées dans l'annexe 3. Il s'agit : (1) du *Scénario Saint-Augustin emplois* qui prévoit des développements dans les municipalités qui desservent le même bassin d'emploi que Saint-Augustin ; (2) du *Scénario Ouest et Sud* qui combine les périmètres d'urbanisation des municipalités

situées à l'est de la MRC de Portneuf avec certains périmètres de la MRC de Lévis situés à la tête des ponts ; (3) du *Scénario Ouest et Nord* qui combine les périmètres des municipalités situées à l'est de la MRC de Portneuf avec ceux de Sainte-Catherine-de-la-Jacques-Cartier ; (4) du *Scénario Nord et Ouest* qui utilise les périmètres d'urbanisation de la partie occidentale de la MRC de la Jacques-Cartier (au *nord*) avec ceux de Neuville (à l'*ouest*).

Le tableau 4 présente les variantes de développement avec les spécifications de type (unifamilial ; en rangée versus détaché) et de densité résidentielle nette (nombre de logements/superficie des terrains résidentiels). Afin d'optimiser l'usage du sol et de tenir compte de la pression de rente foncière, les secteurs de Bourg-Royal et de Saint-Augustin sont subdivisés en sous-secteurs pour prendre en compte la demande des ménages et de logements dans des édifices de plus grand gabarit pour optimiser l'usage des infrastructures. Afin de permettre des comparaisons avec les alternatives situées en périphérie, cette étude ne retient que les sous-secteurs d'unifamiliales nommés *Bourg-Royal unifamiliales* et *Saint-Augustin unifamiliales*. Ces secteurs fournissent un potentiel combiné de 8 219 logements en résidences unifamiliales, soit le nombre de maisons et duplex prévus dans les agrandissements du périmètre d'urbanisation en zone agricole (Tableau 2).

5.2. Spécification des scénarios de développement résidentiel

Afin d'être comparables, les scénarios de développement doivent offrir des types de logements similaires (résidences unifamiliales isolées ou en rangée) destinés aux mêmes profils de clientèles. De plus, il faut tenir compte des spécificités de chaque scénario en termes de coûts du logement (prix des résidences, taxes municipales et scolaires, énergie, etc.) et des effets de localisation en termes de coût de transport lié à des besoins accrus de motorisation et des distances de déplacement avec des coûts et des émissions de GES différenciés. Étant donné que ces différences dépendent de facteurs macro-économiques fluctuants (par exemple, variation des taux d'intérêt hypothécaires) et de spécificités locales (par exemple, taxes municipales et scolaires) ces aspects sont pris en compte par la phase de simulation. Toutefois, chacun des scénarios à simuler doit être spécifié en termes de clientèle cible, de prix de l'immobilier, de mobilité quotidienne, de dépenses de logement et de dépenses de transport afin de valider sa viabilité économique et retenir seulement les résultats de simulation réalistes (parmi les 5 000 variantes) pour la comparaison.

Ces variantes sont requises afin de prendre en compte les fluctuations prévisibles des facteurs d'influence et les variations issues des décisions des ménages en termes de choix de mobilité, de capacité (et de choix) pour assumer les dépenses de logement et de transport en tenant compte des règles des institutions financières (par exemple, mise

de fonds initiale, période d'amortissement, etc.). C'est dans cet esprit que plusieurs aspects de la spécification des scénarios ont été effectués afin de varier l'effet marginal des attributs macro-économiques et locaux entre des bornes minimales et maximales avec référence sur une valeur médiane qui exprime la tendance centrale. Ces bornes sont utilisées par un processus aléatoire (aussi appelé stochastique) de génération de valeurs pour produire des variantes lors des simulations. La spécification des attributs macro-économiques sera traitée dans la sous-section 5.4. Cette sous-section traite de la spécification des attributs locaux des scénarios présentés au tableau 4.

Le tableau 5 présente les caractéristiques des ménages visés. Il s'agit de catégories d'âge (cycle de vie), de la taille des ménages, de la proportion de propriétaires dans le voisinage (cellule ou quartier) et de la proportion de diplômés universitaires. Ces variables sont intégrées dans le SEM de la région de Québec parce que les études antérieures ont démontré que les besoins de logement et de transport des ménages varient selon leur taille, cycle de vie, mode de tenure et que leurs choix sont influencés par le niveau d'instruction. Ces paramètres ont été spécifiés séparément pour les secteurs de Bourg-Royal et de Saint-Augustin en utilisant les données du recensement de 2011 pour les 4 (Bourg-Royal) et 7 (St-Augustin) aires de diffusion du voisinage immédiat où un grand nombre de résidences unifamiliales ont été construites durant les 5 années précédentes. Ces résidences ayant été vendues à des prix analogues à ceux qui sont simulés dans cette étude et très semblables au plan architectural et localisation, nous postulons que ces profils sont représentatifs des clientèles susceptibles de s'établir dans les secteurs de Bourg-Royal et de Saint-Augustin. Comme il s'agit de comparer ces secteurs avec des alternatives, des profils de clientèle très similaires ont été assignés aux périmètres d'urbanisation de la périphérie. Les quelques différences s'expliquent par le fait que certains périmètres sont utilisés pour composer des scénarios alternatifs pour les deux secteurs de l'Agglomération de Québec, notamment les scénarios liés aux bassins d'emploi.

Scénario	0-14 ans (%)	15-24 ans (%)	65 ans + (%)	Taille des ménages (personnes)	Propriétaires (%)	Diplômés (%)
Bourg-Royal unifamiliales	26 (27) 28	10 (11) 13	3 (5) 7	2,8 (3,0) 3,1	81 (91) 100	28 (30) 36
Scénario Bourg-Royal emplois	21 (27) 29	9 (11) 17	3 (5) 7	2,8 (3,0) 3,6	81 (92) 100	26 (31) 50
Scénario Est	26 (27) 28	10 (11) 13	3 (5) 7	2,8 (3,0) 3,1	81 (91) 100	26 (30) 37
Scénario Est et Nord	26 (27) 28	10 (11) 13	3 (5) 7	2,8 (3,0) 3,1	81 (91) 100	26 (30) 37
Scénario Nord et Est	21 (27) 29	9 (11) 17	3 (5) 7	2,8 (3,0) 3,6	81 (92) 100	25 (31) 57
Saint-Augustin unifamiliales	21 (26) 29	9 (14) 17	3 (4) 7	3,0 (3,2) 3,6	88 (95) 100	40 (46) 55
Scénario Saint-Augustin emplois	21 (26) 29	9 (14) 17	3 (4) 7	3,0 (3,2) 3,6	88 (95) 100	35 (46) 53
Scénario Ouest et Sud	21 (26) 29	9 (14) 17	3 (4) 7	3,0 (3,2) 3,6	88 (95) 100	35 (46) 54
Scénario Ouest et Nord	21 (26) 29	9 (14) 17	3 (4) 7	3,0 (3,2) 3,6	88 (95) 100	32 (46) 54
Scénario Nord et Ouest	21 (26) 29	9 (14) 17	3 (4) 7	3,0 (3,2) 3,6	88 (95) 100	32 (46) 53

Minimum (Médiane) Maximum

Tableau 5. Spécification des scénarios — Aspects sociaux (bornes)

Le tableau 6 combine des informations sur les marchés fonciers avec les revenus des ménages visés et des indicateurs de taxation municipale et scolaire. Les données de revenus proviennent du recensement de 2011 pour les aires de diffusion qui ont servi à établir les profils de clientèle et ont été ajustées en dollars courants de 2016, tout comme toutes les données financières de l'étude. Ces ajustements ont été réalisés en utilisant un indice d'évolution des prix à la consommation (2005=100 ; 2010=107,4 ; 2016=119,05) pour la région métropolitaine de Québec (Cansim v41692870 et Ville de Québec pour le taux de 2016). Étant plus éloignées, les localisations périphériques commandent éventuellement des coûts de transport plus élevés. En contrepartie, la rente foncière est réduite et le prix des résidences est plus bas. De plus, ces prix varient d'un secteur à l'autre de la région. Il a donc été nécessaire de réaliser une étude des prix de vente de résidences unifamiliales construites entre 2013 et 2015 et vendues après janvier 2014 sur les territoires des MRC de Lévis, de la Côte-de-Beaupré, de la Jacques-Cartier et de Portneuf. Les 205 transactions considérées ont été compilées pour établir les bornes par groupe de 3 ou 4 municipalités et assignées dans les cellules concernées. Une étude analogue a été réalisée sur le territoire de l'Agglomération de Québec avec les données de prix de vente des maisons construites de 2012 à 2015. Dans les deux cas, les maisons de plus de 600 000 \$ ont été exclues. Les taux de taxes municipales et scolaires de 2016

ont été obtenus directement des municipalités et commissions scolaires concernées, de même qu'une estimation du coût annuel des services municipaux facturés par logement. Les données ont été regroupées par groupe de municipalités adjacentes afin d'obtenir les bornes présentées dans le tableau 6.

Scénario	Prix des maisons (\$ 000)	Revenu disponible (\$ 000)	Taux de taxes mun. + scol. (\$/\$100)	Coût annuel des services mun. (\$)
Bourg-Royal unifamiliales	235 (345) 585	84 (91) 97	1,03 (1,05) 1,09	440 (445) 450
Scénario Bourg-Royal emplois	162 (290) 490	84 (93) 187	0,62 (0,83) 1,13	176 (414) 740
Scénario Est	198 (292) 466	84 (91) 97	0,62 (0,82) 1,10	176 (403) 740
Scénario Est et Nord	198 (315) 523	84 (91) 97	0,61 (0,88) 1,10	127 (402) 894
Scénario Nord et Est	156 (359) 550	84 (93) 187	0,61 (0,87) 1,25	127 (568) 1113
Saint-Augustin unifamiliales	292 (441) 591	94 (136) 187	1,11 (1,13) 1,15	445 (450) 455
Scénario Saint-Augustin emplois	162 (337) 527	94 (136) 187	0,75 (0,82) 1,13	406 (442) 614
Scénario Ouest et Sud	162 (293) 527	94 (136) 187	0,73 (0,93) 1,20	400 (482) 614
Scénario Ouest et Nord	156 (271) 490	94 (136) 187	0,73 (1,04) 1,25	201 (493) 614
Scénario Nord et Ouest	156 (292) 490	94 (136) 187	0,80 (1,09) 1,25	201 (450) 614

Minimum (Médiane) Maximum

Tableau 6. Spécification des scénarios — Aspects économiques (bornes)

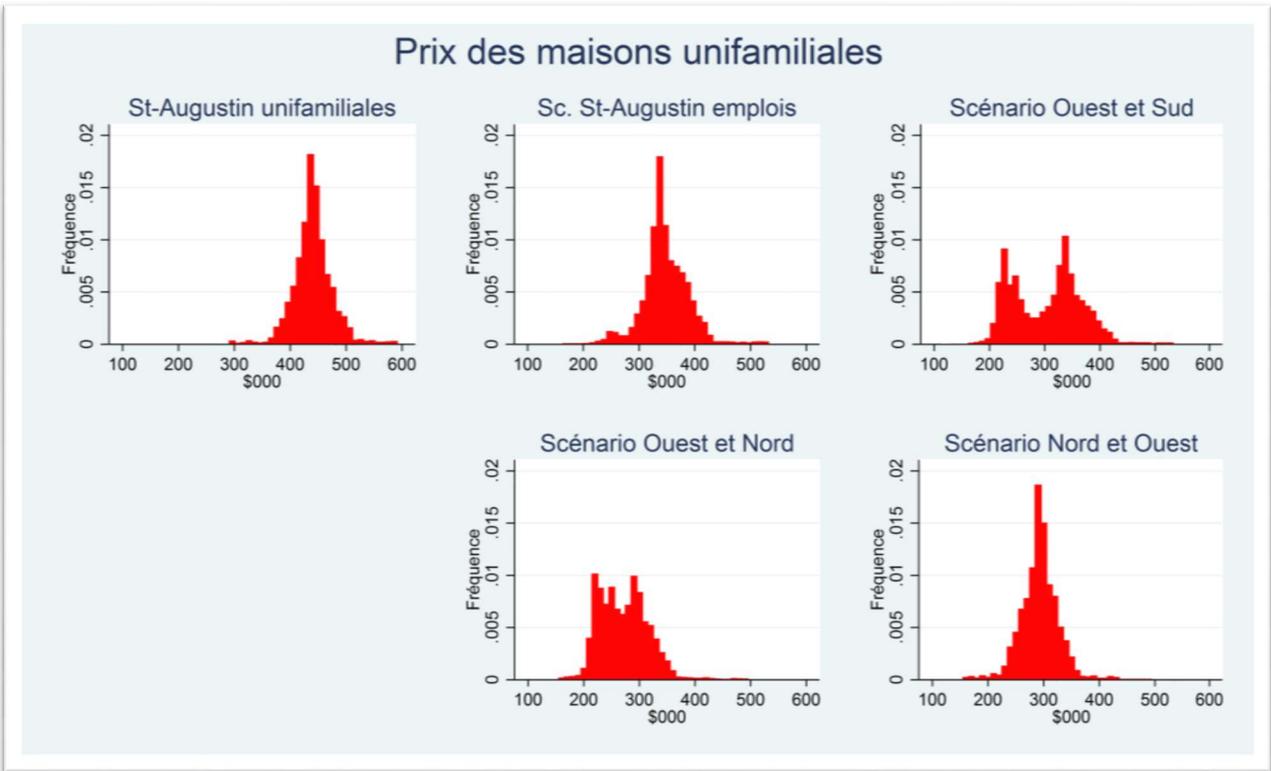
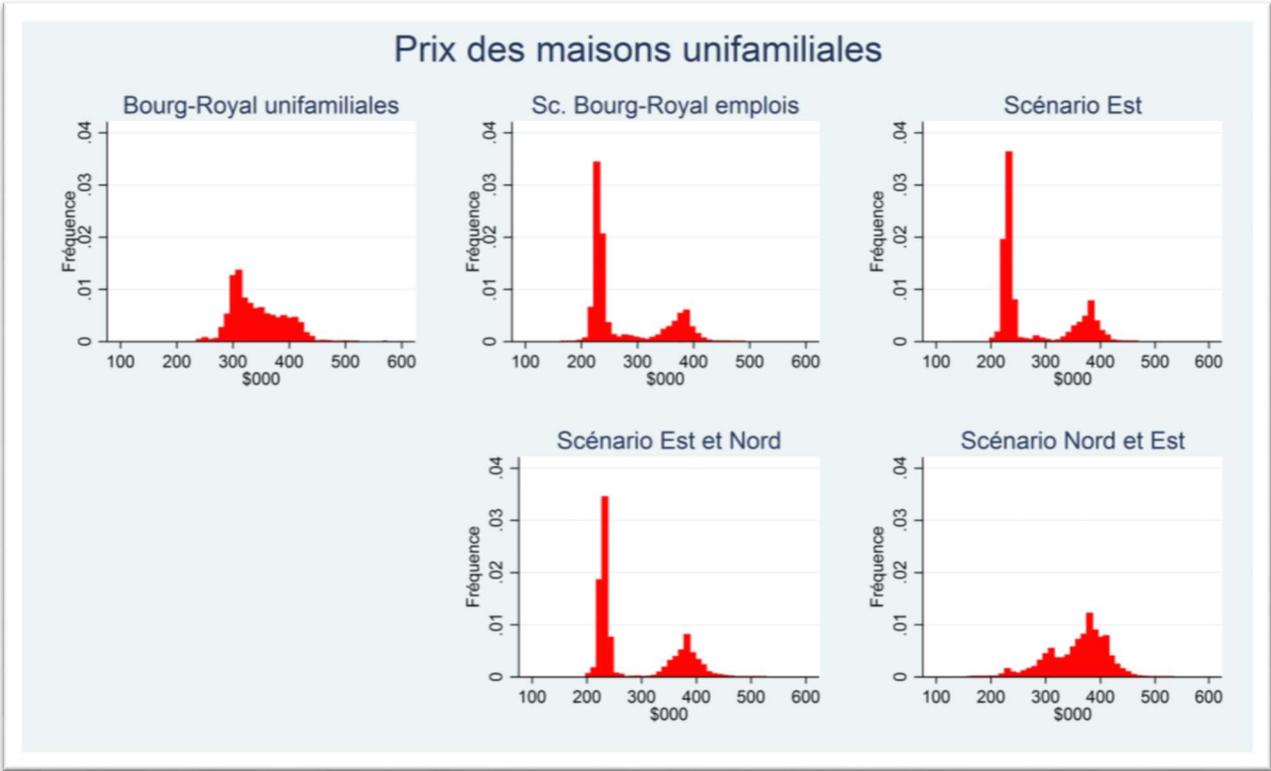


Figure 8. Distributions de fréquence des prix des maisons unifamiliales par scénario

Lors des simulations, ces bornes ont été utilisées pour produire des variantes pour chacune des 833 cellules et les résultats ont été compilés par scénario. Cette procédure permet d'introduire une variation stochastique dans les simulations afin de prendre en compte les variations de clientèles, de prix, de revenu, de goûts, de contexte, etc., tout en s'assurant que les estimations demeurent réalistes. Pour chaque variable, on obtient une distribution de valeurs qui, dans chaque cellule, a une forme approximativement normale, mais qui, une fois compilée par scénario, peut prendre des formes diverses (par exemple, multimodale) dans la mesure où un scénario combine des périmètres d'urbanisation situés dans plusieurs municipalités, parfois distantes.

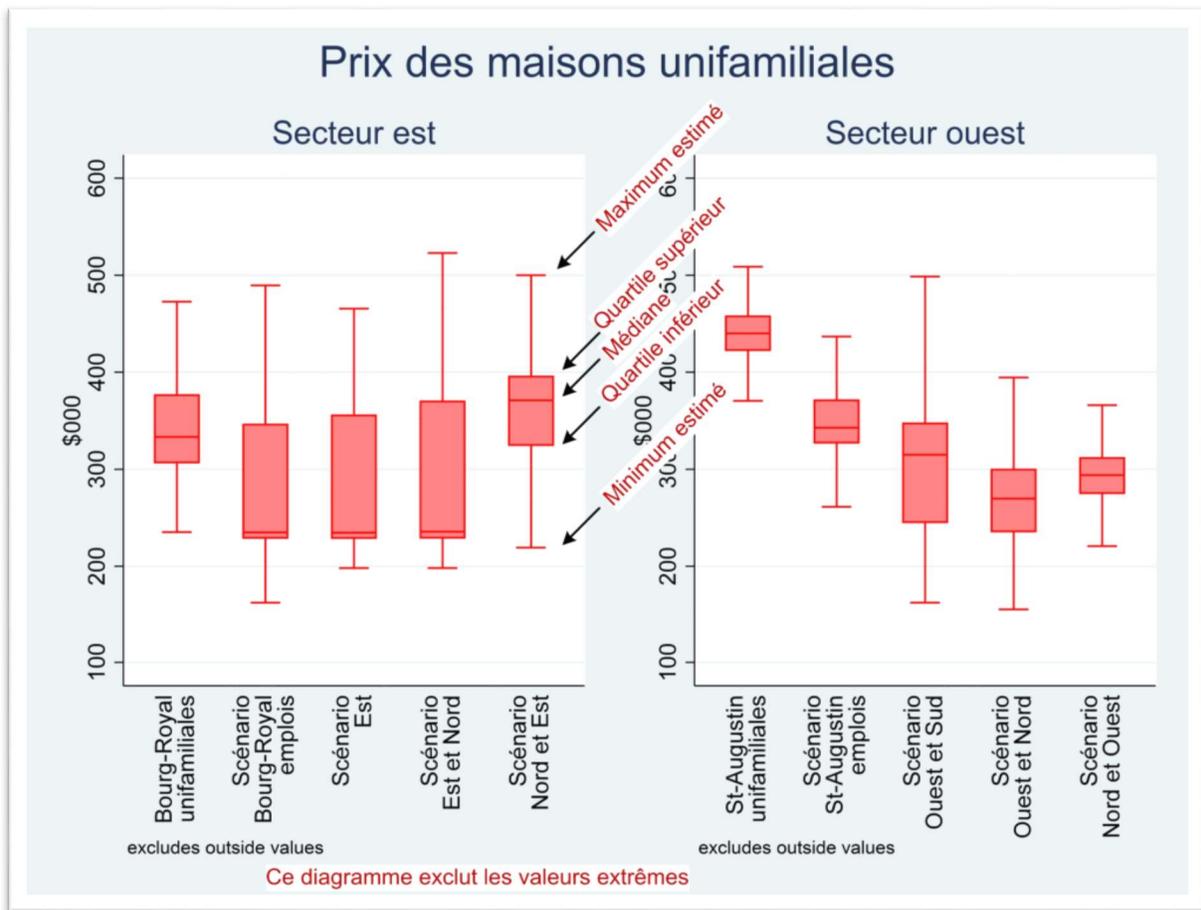


Figure 9. Boîtes de Tukey (box plots) des prix des maisons unifamiliales par scénario

La figure 8 présente un exemple de la variation des prix des résidences unifamiliales par scénario obtenu après 5 000 simulations. Ces distributions de fréquence sont établies à partir des 6 285 000 prix de vente simulés pour réaliser cette étude. La figure 9 présente une synthèse de la même information visant à faciliter les comparaisons visuelles de scénarios ; il s'agit de la méthode des boîtes de Tukey (aussi appelés box plots). Ce type de figure est largement utilisé pour la présentation des résultats de simulation selon les

scénarios. Ils sont présentés à l'aide d'une figure qui comporte un rectangle délimité par les quartiles inférieur (Q1) et supérieur (Q3) de la distribution. L'espace interquartile regroupe 50 % de valeurs. Une ligne horizontale coupe ce rectangle en deux parties à la médiane (Q2). Si cette ligne est située au centre du rectangle, la distribution est normale ; autrement elle est biaisée vers la droite (ligne médiane en bas du rectangle) ou vers la gauche (ligne médiane en haut). Deux traits verticaux prolongent le rectangle en haut et en bas jusqu'à une ligne horizontale. Celle du haut présente une estimation du maximum probable ; celle du bas estime le minimum quand on retire les valeurs extrêmes qui sont assimilées à des problèmes de mesure ou à des singularités qu'il est préférable de ne pas utiliser à des fins de comparaison. Les traitements ayant conduit à ce type de graphique sont réalisés dans le logiciel de statistique Stata qui a été utilisé pour réaliser les analyses statistiques de cette étude, incluant la production du SEM.

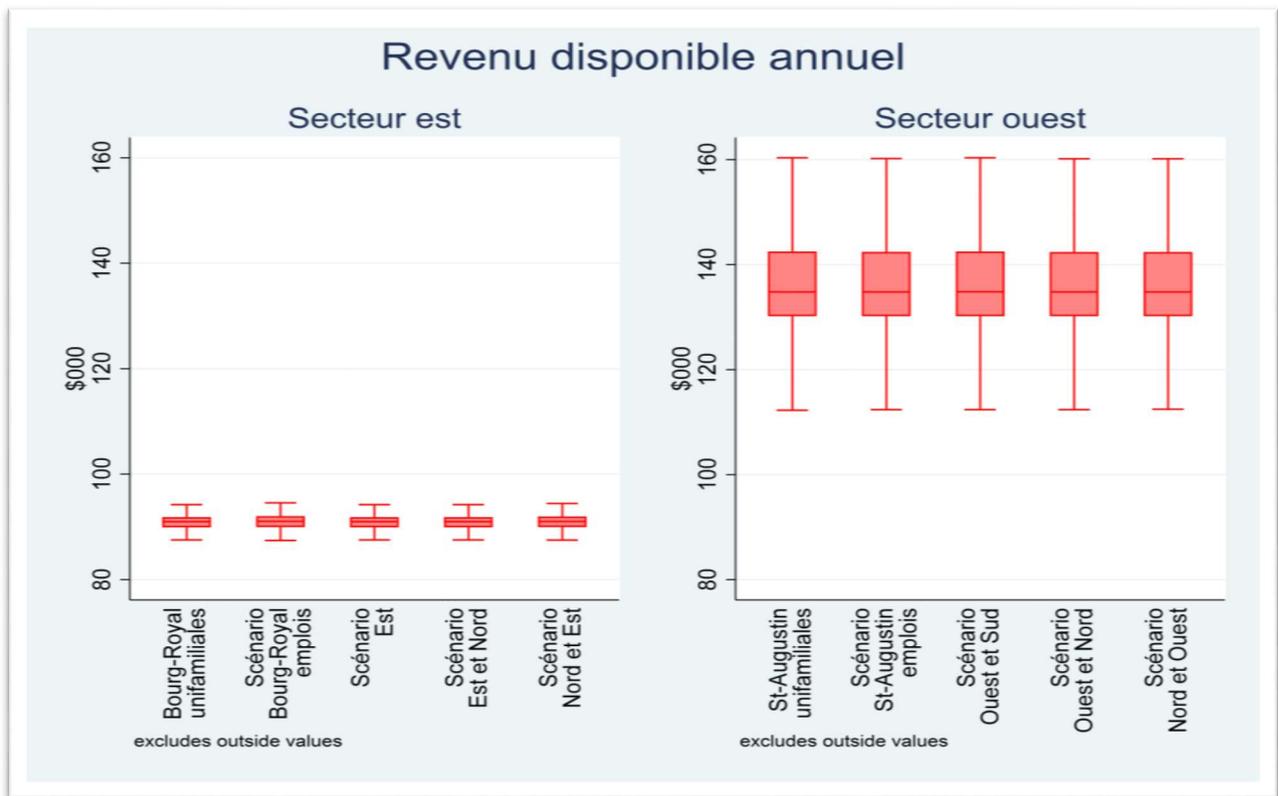


Figure 10. Boîtes de Tukey des revenus annuels disponibles des ménages par scénario

Bien que le prix des résidences varie substantiellement sur le territoire, les revenus des ménages visés doivent être comparables entre les scénarios afin de mesurer les conséquences de leurs choix résidentiels sur leurs finances, leurs besoins en transport et leurs émissions de GES. Toutefois, nos études antérieures sur la région de Québec ont montré que les revenus sont plus élevés à l'ouest de la région qui est plus proche du pôle d'emploi de Sainte-Foy et que la forme du réseau autoroutier lui procure un accès rapide

à la Colline Parlementaire. C'est ce qui explique que le profil de clientèle visé pour Saint-Augustin soit mieux nanti que celui de Bourg-Royal (Figure 10) et que les prix de résidences soient plus élevés à Saint-Augustin qu'à Bourg-Royal (Figure 9). Il s'agit de desservir deux clientèles différentes avec des résidences de prix abordable, ce qui est une condition nécessaire pour maintenir une certaine équité dans l'accès à la propriété pour les jeunes familles et contrer partiellement la hausse de prix des résidences dans la région. Cette préoccupation est reflétée pour le secteur est (Bourg-Royal) par une forte variabilité des prix pour compenser partiellement le peu de variation des revenus observés dans ce secteur. Les simulations visent à vérifier que ces ménages ont effectivement les moyens d'accéder à la propriété et d'absorber les frais de logement et de transport afférents.

5.3. Spécification des comportements de mobilité et de l'accessibilité

La figure 9 illustre bien que plusieurs scénarios alternatifs (en périphérie) offrent des résidences à meilleur prix que ceux qui peuvent être offerts à Bourg-Royal et à Saint-Augustin où la rente foncière est plus élevée, ce qui fait qu'un ménage moins fortuné peut être tenté de s'y installer. Mais c'est sans compter que l'éloignement apporte son lot de contraintes (temps de déplacement accrus) et de coûts liés au besoin de motorisation (peu ou pas d'alternative) et à l'usage de la voiture individuelle (essence et entretien). Ces coûts sont récurrents et subsistent même quand l'hypothèque résidentielle est remboursée ; ils peuvent constituer une part substantielle du budget des ménages.

Selon Thériault *et al.* (2004), dans la région de Québec, en 2001, les principales composantes de la structure de la consommation moyenne des ménages étaient le logement (18 % du revenu disponible des locataires et propriétaires confondus ou 25 % des dépenses courantes), l'alimentation (13 % ou 18,5 %) et le transport (13 % ou 18 %). Ces valeurs proviennent de Statistique Canada (Enquête sur la consommation des ménages, 2001). Les mêmes valeurs ne sont pas disponibles pour la RMR de Québec en 2014, mais les données provinciales indiquent que le logement représente 26 % des dépenses courantes des ménages contre 20,6 % pour le transport. Selon l'Institut de la Statistique du Québec, le revenu disponible par habitant de la RMR de Québec s'est accru de 21 387 \$ en 2006 à 27 179 \$ en 2014, soit 34 439 \$ en revenu primaire plus 8 870 \$ en transferts courants reçus moins 16 130 \$ en transferts courants payés (incluant l'impôt sur le revenu et les cotisations). Cette évolution présente une augmentation de 27 %, ce qui est nettement supérieur à la croissance des prix à la consommation (+15,6 %) pour la même période. Alors, le revenu disponible moyen par ménage s'établit à 60 400 \$ soit 21,73 milliards de dollars répartis entre 359 760 ménages.

Scénario	Motorisation (véhicules/100 conducteurs)	Conducteur d'automobile (%)	Piéton (%)	Coût journalier de transport (\$)
Bourg-Royal unifamiliales	45 (62) 81	41 (62) 73	1 (7) 21	17 (30) 40
Scénario Bourg-Royal emplois	42 (89) 113	44 (66) 89	0 (6) 13	38 (54) 68
Scénario Est	60 (88) 110	44 (65) 89	0 (6) 13	39 (53) 62
Scénario Est et Nord	60 (87) 110	45 (64) 89	0 (6) 13	35 (53) 66
Scénario Nord et Est	55 (89) 110	47 (64) 84	0 (6) 14	38 (52) 62
Saint-Augustin unifamiliales	58 (75) 96	49 (63) 70	2 (6) 15	12 (21) 41
Scénario Saint-Augustin emplois	44 (74) 104	49 (65) 78	0 (6) 15	10 (34) 64
Scénario Ouest et Sud	42 (84) 118	42 (64) 84	0 (6) 24	11 (51) 72
Scénario Ouest et Nord	42 (90) 118	49 (67) 84	0 (5) 14	12 (58) 73
Scénario Nord et Ouest	44 (89) 117	49 (67) 81	0 (5) 14	13 (55) 71

Minimum (Moyenne) Maximum

Tableau 7. Spécification des scénarios — Choix de mobilité (bornes)

Toutefois, ces valeurs sont des moyennes pour l'ensemble de la population (par exemple, les retraités qui ont acquitté leur hypothèque ou les locataires) et la structure de répartition des dépenses est différente pour les ménages moins nantis, notamment pour les jeunes ménages qui accèdent à la propriété. Ainsi, le taux d'effort moyen de 18 % pour le logement est souvent porté au-delà des 30 %, tant pour les locataires défavorisés que pour les jeunes familles qui effectuent un premier achat avec une mise de fonds réduite. Dans ces circonstances, une localisation plus périphérique diminue le taux d'effort pour le logement, mais est-ce suffisant pour compenser la hausse conséquente du taux d'effort pour le transport ? C'est une des questions auxquelles le SEM de la région de Québec peut répondre puisqu'il modélise les deux effets (et quelques autres) dans un seul système d'équations simultanées. Quelle est la résultante de ces effets compensatoires en termes d'équité dans l'accès à la propriété et comment sont-ils liés au phénomène d'étalement urbain ? Afin de répondre à ces questions, il faut intégrer les dimensions de distance et de transport dans l'analyse.

C'est ce que fait le SEM de la région de Québec qui prend en compte les neuf indicateurs de localisation, d'accessibilité et de mobilité répertoriés dans les tableaux 7 et 8. Les indicateurs du tableau 7 proviennent de compilations de l'enquête OD de 2006 qui a servi

à évaluer, pour les 3 892 cellules du SEM, le taux de motorisation des ménages résidents (véhicules par 100 conducteurs), la part modale (%) des déplacements effectués comme conducteur et comme piéton et le coût journalier de transport (\$). Pour chaque cellule de la grille, le coût du transport a été estimé en utilisant les paramètres pour 2006 sur le site du CAA, puis ajusté pour la hausse des prix en dollars de 2016. Il tient compte de la motorisation des ménages (nombre moyen d'automobiles x coûts fixes de financement, dépréciation, assurance et enregistrement de 23,74 \$/jour), des coûts variables occasionnés par les distances parcourues en automobile (0,16 \$/kilomètre) et du coût des trajets effectués en autobus (moyenne de 2,70 \$ par passage pour tenir compte des variations de coûts de billets et de laissez-passer selon les types d'usagers, de billets et d'offre de service). Les 833 cellules à modéliser n'étant pas encore urbanisées, les valeurs les concernant n'étaient pas disponibles et il a fallu les imputer en utilisant des rayons de recherche spatiale afin de calculer les bornes (minimum, médiane et maximum) à partir d'un minimum de 16 cellules habitées voisines. Ces cellules sont sélectionnées par un rayon de recherche spatiale adaptatif qui augmente progressivement la distance de recherche afin d'obtenir un échantillon suffisant. Les bornes obtenues (Tableau 7) servent à produire des valeurs initiales réalistes pour alimenter les simulations. Ces quatre variables faisant partie du noyau endogène du SEM, elles seront affinées lors de la phase d'itération à convergence après chaque simulation.

Les indicateurs présentés au tableau 8 concernent la distance (km) à l'axe central de l'agglomération, soit une ligne que relie la Colline Parlementaire au croisement du boulevard Laurier-route de l'Église à Sainte-Foy, l'accessibilité en automobile, à pied et en transport collectif, de même que l'accès aux services d'autobus dans un rayon de 500 mètres (soit la présence d'un point d'embarquement — arrêt d'autobus — dans la cellule ou dans, les cellules immédiatement adjacentes). Les indicateurs d'accessibilité résultent d'une synthèse par analyse factorielle confirmatoire de 33 indicateurs d'accessibilité aux lieux d'emploi, aux écoles, aux commerces, aux épiceries, aux lieux de loisirs, aux restaurants et aux équipements de santé développés pour une étude antérieure (Thériault *et al.* 2008). La signification des indicateurs a été validée par leur capacité à prédire les variations des prix de vente des maisons dans la région de Québec (Thériault *et al.* 2005). Cette analyse factorielle confirmatoire permet d'identifier les facteurs latents d'accessibilité à partir d'indicateurs mesurables. Ces facteurs d'accessibilité sont exprimés sur une échelle standardisée ; les valeurs positives indiquent une accessibilité meilleure que la moyenne régionale alors que les valeurs négatives correspondent à des localisations moins avantageuses. Les valeurs expriment l'intensité de l'avantage ou du désavantage. Ces notes en facteurs ayant été établies pour les 3 892 cellules urbanisées en 2006, les bornes des 833 nouvelles cellules ont été produites avec un rayon de recherche spatiale adaptatif.

Scénario	Distance à l'axe central (km)	Accessibilité en automobile (note en facteur)	Accessibilité à pied (note en facteur)	Accessibilité en transport collectif (note en facteur)	Métrobus/ Autobus/ Express 1 : présence
Bourg-Royal unifamiliales	5,6 : 8,5	+0,80 : +2,13	-0,24 : +0,79	-2,27 : -0,25	1/1/1
Scénario Bourg-Royal emplois	7,1 : 49,8	-0,91 : +0,24	-0,52 : -0,01	-2,50 : +0,49	0/1/0
Scénario Est	7,1 : 49,8	-0,91 : +0,24	-0,52 : -0,01	-2,50 : +0,50	0/1/0
Scénario Est et Nord	11,9 : 49,8	-0,90 : +0,24	-0,52 : -0,26	-2,50 : +0,50	0/1/0
Scénario Nord et Est	11,9 : 30,2	-0,90 – +0,24	-0,54 : -0,43	-2,50 : +0,50	0/1/0
Saint-Augustin unifamiliales	11,4 : 14,0	-0,50 : -0,13	-0,38 : -0,26	-2,50 : +0,48	0/1/1
Scénario Saint-Augustin emplois	4,7 : 26,3	-0,82 : +0,48	-0,48 : -0,11	-2,50 : -2,50	0/0/0
Scénario Ouest et Sud	8,5 : 37,6	-0,86 : -0,36	-0,50 : -0,23	-2,50 : -2,50	0/0/0
Scénario Ouest et Nord	21,1 : 37,6	-0,86 : -0,80	-0,50 : -0,40	-2,50 : -2,50	0/0/0
Scénario Nord et Ouest	21,2 : 28,8	-0,88 : -0,77	-0,52 : -0,40	-2,50 : -2,50	0/0/0

Intervalle (Minimum : Maximum)

Tableau 8. Spécification des scénarios — Centralité et accessibilité (constantes par cellule)

5.4. Spécification des paramètres macro-économiques

Cette étude porte sur l'accès à la propriété résidentielle par des familles qui doivent composer avec des contraintes budgétaires dans un contexte de variation des prix des maisons neuves dans la région de Québec. En conséquence, l'évaluation des coûts et de l'effort budgétaire requis pour le logement doit prendre en compte non seulement les revenus disponibles et le prix de l'immobilier (Tableau 6), mais également les paramètres macro-économiques nécessaires pour calculer les coûts annuels en intégrant les facteurs qui déterminent le remboursement hypothécaire (et la capacité d'emprunter), les coûts de l'énergie, l'assurance habitation, les taxes et autres frais (services municipaux et entretien). Tous ces facteurs sont estimés en dollars de 2016 avec des bornes minimale, médiane et maximale afin de produire des variantes aléatoires.

Simulation de développement résidentiel, de choix de mobilité, d'impact budgétaire et d'émissions de GES pour la CMQ

Répertoire de données : G:\VILLE DE QUEBEC\SIMULATION\

Résultats de simulation : G:\Ville de Quebec\Simulation\Simul 1000A\Simulation

Bornes générales de distribution - évaluation des coûts de logement

	Minimum	Moyenne	Maximum
Taux d'intérêt annuel (%) :	2,75	3,25	4,75
Amortissement (mois) :	240	280	300
Mise de fonds (% valeur) :	5	18	35
Assurance annuelle (% valeur) :	0,2	0,35	0,5

Chauffage et électricité - coût annuel (\$)

moins de 200,000\$	1 680	2 400	3 240
200,000 à 300,000\$	1 680	2 400	3 240
300,000\$ et plus	1 680	2 400	3 240

Autres frais annuels (\$) :

	500	600	700
--	-----	-----	-----

Nombre d'instances :

IPC (2005=100) :

Taxe de vente (%) :

Critères de viabilité économique (maxima)

Effort pour le logement (%) :

Effort logement & transport (%) :

Ratio Hypothèque/Revenu disp. :

Les indicateurs de durabilité seront évalués par scénario avec les instances et lieux qui respectent les critères de viabilité économique.

Figure 11. Interface du simulateur d'impact des développements résidentiels

Les paramètres macro-économiques sont spécifiés directement dans l'interface du simulateur (Figure 11). Les taux d'intérêt hypothécaires reflètent l'état actuel du marché pour une hypothèque fermée pour un terme fixe de 5 ans. En vertu du programme d'assurance hypothécaire de la SCHL, la mise de fonds minimale est de 5 % du prix d'achat. Le coût de l'assurance hypothécaire est intégré dans le montant de l'hypothèque. Les simulations prévoient une mise de fonds médiane de 18 % avec un maximum à 35 % puisqu'il s'agit généralement d'un premier achat. En vertu des règles de la SCHL, l'amortissement doit s'effectuer en 300 mois (25 ans) ou moins. Pour les besoins des simulations de cette étude, les périodes d'amortissement considérées varient de 20 à 25 ans. Les coûts annuels d'assurance habitation sont spécifiés en rapport avec la valeur de l'immeuble et correspondent aux pratiques actuelles du marché. Les coûts de chauffage et de l'énergie ont été fixés à partir de données publiées par Hydro-Québec. Les coûts de taxes municipales et scolaires ainsi que le coût des services municipaux sont spécifiés au tableau 6.

5.5. Réalisation des simulations

Quand toutes les données d'une variante ont été produites pour les 833 cellules requises pour évaluer les scénarios, la réalisation du pas de simulation consiste à transmettre la

base de données résultante au logiciel de statistique (Stata) qui calcule une première estimation (valeur prédite) des huit variables endogènes du SEM (Figure 12).

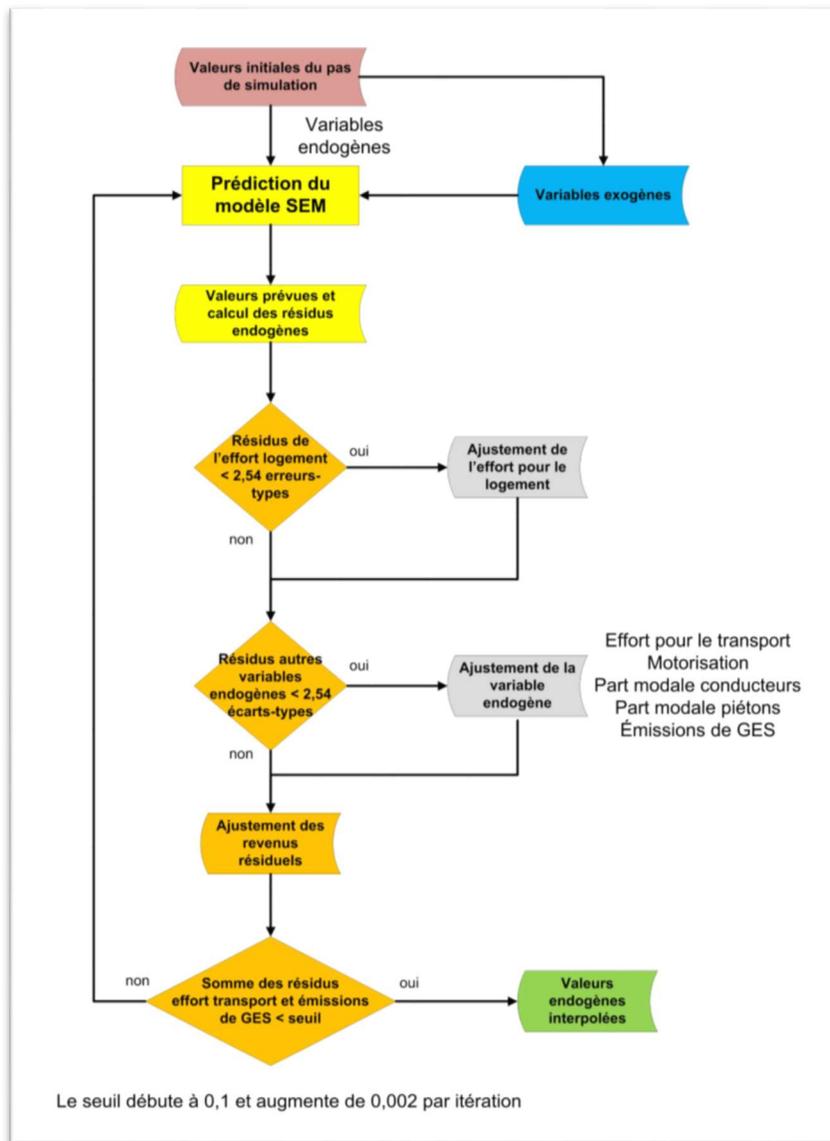


Figure 12. Processus d'interpolation des prédictions du SEM

Toutefois, les valeurs de certaines variables endogènes qui ont été spécifiées initialement sont modifiées lors de l'estimation et modifient par ricochet d'autres variables endogènes puisqu'elles sont interdépendantes. Il est donc nécessaire de réaliser un processus d'itération à convergence (Figure 4) pour interpoler les variables endogènes et assurer la cohérence des estimations. La figure 12 présente les règles appliquées durant ce processus d'interpolation dont la pertinence se justifie du fait que les valeurs de plusieurs variables endogènes (parts modales, motorisation, coût et effort pour le transport, émissions de GES) ont été obtenues en référence aux secteurs voisins où l'effort pour le

logement et plusieurs autres facteurs exogènes (densité résidentielle, revenus, distance au centre ...) sont éventuellement différents. La boucle de convergence est répétée (de 3 à 54 itérations dans cette étude) jusqu'à ce que la somme des différences entre les estimations de l'itération précédente et les nouvelles valeurs estimées soit inférieure à un seuil spécifié. De plus, les estimations de valeurs sont contraintes dans les limites des valeurs effectivement observées dans la région pour des sites comparables (marges de confiance des données du modèle SEM). Étant une variable entièrement dépendante, les émissions de GES entrent dans l'estimation sans valeur initiale et sont constamment réajustées au fil de l'itération pour refléter les effets des variables exogènes et endogènes qui expliquent les variations locales à l'échelle régionale selon le SEM de la région de Québec.

Chaque pas de simulation ajoute 833 résultats dans la base de données qui cumule les expériences (5 000 pas de simulation). Ces données seront ensuite filtrées pour assurer leur viabilité économique et utilisées pour comparer les scénarios (section suivante). Considérant la hausse des valeurs foncières de la dernière décennie dans la région de Québec et les limites des revenus disponibles de la clientèle visée, on doit s'assurer que les ménages de chaque pas de simulation et de chaque cellule répondent effectivement aux critères de financement des institutions financières pour obtenir du financement hypothécaire et que la somme des efforts consentis pour le logement et le transport combinés est viable à long terme. Les trois critères de viabilité économique sont spécifiés avec les paramètres macro-économiques dans le dialogue du logiciel de simulation et appliqués pour exclure les résultats irréalistes avant la comparaison des scénarios. Il s'agit de la borne maximale du taux d'effort pour le logement (40 % du revenu disponible pour cette étude), du taux d'effort combiné logement-transport (55 % du revenu disponible) et du ratio prêt hypothécaire sur le revenu disponible (maximum 4,5). Pour l'ensemble des simulations réalisées dans cette étude, ces critères ont entraîné le rejet de 98 663 instances de simulation (pas de simulation x cellules) sur un total de 4 165 000 résultats (5 000 pas x 833 cellules). En conséquence, la présente étude est basée sur les 4 066 337 simulations restantes, ce qui produit une base quasi expérimentale amplement suffisante pour effectuer des comparaisons de scénarios avec une approche statistique et probabiliste tenant compte de la viabilité des situations/décisions des ménages et de la spécificité locale des scénarios de développement résidentiel.

6. Comparaison des scénarios

6.1. Les critères de comparaison

Le scénario de développement résidentiel idéal doit respecter simultanément trois ensembles d'objectifs aux plans économique, social et environnemental, tout en produisant un résultat équitable en ne posant pas d'entrave excessive à l'accès à la propriété, étant entendu que cette dernière requiert tout de même un effort budgétaire conséquent. Le SEM de la région de Québec produit des indicateurs (variables endogènes) pertinents pour chacun des plans de comparaison. Au plan économique, il s'agit de minimiser les coûts annuels pour le logement et le transport, ce qui implique également de réduire la motorisation au minimum. Au plan social, il s'agit de minimiser les taux d'effort pour le logement et le transport tout en maximisant les parts modales de la marche qui favorisent la santé en plus de constituer un indicateur de qualité des milieux. Au plan environnemental, il s'agit de minimiser les émissions de GES reliés au transport des personnes et, comme la majeure partie de ces dernières est liée à l'automobile, de réduire au minimum la part modale des conducteurs d'automobile grâce à un report modal vers le covoiturage et les transports collectifs lorsque les distances à parcourir excluent les modes actifs. Dans cette étude, l'aspect relié à l'équité repose en partie sur la mise en comparaison de deux types de développements résidentiels ciblés sur des clientèles avec des moyens financiers différents.

Ces critères ne couvrent évidemment pas tous les aspects du développement durable, notamment les dimensions d'équité intergénérationnelle et de juste distribution des revenus et de l'accessibilité aux aménités urbaines entre les classes défavorisées et mieux nanties de la population (égalité des chances). Nous reviendrons sur ces aspects en discussion pour bien cadrer les limites de cette étude. Néanmoins, il s'agit, à notre connaissance, de la toute première étude de modélisation et de simulation intégrée qui prend en compte simultanément les trois dimensions du développement durable pour comparer des scénarios de développement résidentiel. Au meilleur de notre connaissance, ce type de démarche de modélisation/simulation est totalement originale.

Pour les besoins de l'étude, tous les scénarios de développement sont comparés en date de 2016 en faisant l'hypothèse qu'ils y atteignent leur plein déploiement. L'avenir étant constitué d'incertitudes notamment au plan macro-économique, nous préférons éviter de spéculer sur la variation des taux d'intérêt à long terme, sur l'évolution des revenus disponibles (liés au développement économique, à la variation des taux d'imposition, etc.) et sur l'évolution de la fiscalité municipale et scolaire, etc. Néanmoins, tous les scénarios étant affectés de manière uniforme ou analogue par ces facteurs d'influence, ceci ne diminue en rien la pertinence des comparaisons effectuées dans cette étude.

6.2. La mise en œuvre des comparaisons

Le tableau 9 présente une synthèse du nombre total de simulations réalisées pour évaluer chaque scénario, l'effet des filtres de viabilité économique et les simulations retenues pour la comparaison. La forte variation du nombre de simulations effectuées entre les scénarios de l'Agglomération de Québec et ceux de la périphérie s'explique par la différence de densité qui requiert moins d'espace (donc de cellules) pour le premier groupe. On voit également que les filtres de viabilité économique ont été plus restrictifs dans le secteur Bourg-Royal (et sa périphérie) que dans le secteur de Saint-Augustin où les revenus disponibles sont nettement plus élevés (Figure 10). Tous les résultats présentés dans cette étude (tableaux statistiques, distributions de fréquence, boîtes de Tukey) effectuent la synthèse des simulations retenues pour chaque scénario.

Scénario	Simulations réalisées	Non viables au plan économique	Simulations retenues
Bourg-Royal unifamiliales	200 000	2 447	197 553
Scénario Bourg-Royal emplois	1 035 000	99	1 034 901
Scénario Est	1 020 000	111	1 019 889
Scénario Est et Nord	825 000	1 626	823 374
Scénario Nord et Est	1 085 000	5 741	1 079 259
St-Augustin unifamiliales	100 000	13	99 987
Scénario St-Augustin emplois	225 000	0	225 000
Scénario Ouest et Sud	340 000	0	340 000
Scénario Ouest et Nord	310 000	0	310 000
Scénario Nord et Ouest	320 000	0	320 000

Tableau 9. Simulations effectuées, invalidées et utilisées selon les scénarios

Au-delà des variations aléatoires des variables d'influence et des paramètres macro-économiques, les scénarios présentent au moins quatre différences fondamentales qui les singularisent et dont les simulations visent à mesurer les effets : (1) chaque scénario est localisé de manière spécifique, ce qui influence l'accessibilité, l'offre de services de transport, les besoins en motorisation et de mobilité avec les coûts afférents et les taux de taxation municipale et scolaire ; (2) les prix de l'immobilier varient à l'échelle locale (selon l'offre de produits et les entrepreneurs), mais présentent également une structure régionale qui internalise partiellement la rente foncière, laquelle reflète notamment des externalités urbaines comme l'accessibilité, la qualité du voisinage, le paysage... ; (3) la répartition des emplois dans la région crée des disparités de clientèles qui conditionnent l'offre et la demande résidentielle, d'où la nécessité de préciser les clientèles visées pour les secteurs est et ouest du territoire ; (4) les densités résidentielles prévues pour les nouveaux développements sont très différentes, mais partiellement imposées par la présence ou l'absence d'infrastructures et une certaine conformité avec les quartiers voisins. Ce sont les impacts directs et indirects prévisibles de ces disparités qui sont

modélisés dans le SEM qui estime leurs effets croisés en considérant les réseaux d'interdépendance.

Le tableau 10 présente les statistiques de prix de vente des résidences unifamiliales obtenues après 5 000 pas de simulation. Considérant que chaque scénario repose sur plusieurs cellules de grille et que les instances obtenues dépassent toujours les 100 000 observations, ce nombre est amplement suffisant pour estimer correctement les moyennes comme en font foi les erreurs-types de la moyenne des prix de vente qui sont toujours inférieures à 20 \$. Le processus de randomisation appliqué permet de conclure que le prix de vente moyen prédit pour le scénario de Bourg-Royal unifamiliales est compris entre 342 581 \$ (moyenne moins deux erreurs-types) et 342 613 \$ (moyenne plus deux erreurs-types) 19 fois sur 20 (seuil de confiance de 95 %). Cette statistique précise la résolution des calculs dans l'hypothèse où les bornes assignées à la randomisation des effets sont adéquates. Néanmoins, la variation d'un pas de simulation à l'autre doit également être considérée et est mesurée par l'écart-type. Pour le secteur Bourg-Royal unifamiliales, il s'agit de 44 063 \$, soit une variation d'environ 12,86 % en plus ou en moins. Si la distribution est normale, cette variation impliquerait un écart de $\pm 102\,667$ \$ (2,33 fois l'écart-type qui contient 98 % de la distribution de fréquence des valeurs) autour de cette moyenne soit des prix résidentiels compris entre les bornes de 239 946 \$ et 445 248 \$. Toutefois, ces distributions sont rarement normales et la méthode de randomisation permet d'obtenir de meilleures estimations de l'intervalle de valeurs. Pour le scénario Bourg-Royal unifamiliales, le tableau 10 indique un seuil de confiance à 1 % de 254 687 \$ (et non 239 946 \$) et à 99 % de 440 989 \$ plutôt que 445 248 \$. Les évaluations obtenues sont donc un peu plus serrées que celles prévues pour une distribution normale (ou Gaussienne).

Scénario	Moyenne (Erreur-type)	Écart-type	Seuil de confiance inférieur (1 %)	Seuil de confiance supérieur (99 %)
Bourg-Royal unifamiliales	342 597 (8)	44 063	254 687	440 898
Scénario Bourg-Royal emplois	274 180 (11)	65 934	213 278	414 589
Scénario Est	276 095 (12)	68 008	214 521	415 044
Scénario Est et Nord	284 814 (13)	74 024	215 032	434 613
Scénario Nord et Est	359 444 (9)	50 996	225 616	452 023
St-Augustin unifamiliales	440 733 (12)	33 996	342 948	543 957
Scénario St-Augustin emplois	347 518 (11)	40 399	242 857	471 314
Scénario Ouest et Sud	303 609 (19)	61 777	202 381	442 570
Scénario Ouest et Nord	271 524 (14)	42 635	194 314	279 871
Scénario Nord et Ouest	293 111 (11)	33 123	197 398	387 123

Tableau 10. Simulations des prix de vente des résidences (\$) par scénario

Pour le secteur est du territoire, le tableau 10 présente des prix plus élevés à Bourg-Royal que dans les scénarios alternatifs, à l'exception du scénario Nord et Est. Néanmoins, la

fourchette de prix est nettement plus étendue en périphérie (écart-type plus élevé). Au final, certaines localisations de périphérie peuvent offrir des prix minimaux (seuil de 1 %) plus bas que le secteur Bourg-Royal, alors que les maxima (seuil de 99 %) ne sont que légèrement inférieurs dans certains cas. Pour le secteur ouest du territoire, le prix moyen des résidences est nettement plus élevé à Saint-Augustin (trois écarts-types et plus) que pour les scénarios alternatifs. En revanche, l'étalement de la fourchette de prix est plus faible sauf pour le scénario Nord et Ouest. Enfin, les minima sont nettement plus élevés à Saint-Augustin, tout comme les maximums, ce qui reflète une structure différente de l'offre de maisons neuves et/ou une rente foncière très inégale.

Mais, bien que le prix total de l'immeuble et le remboursement hypothécaire mensuel soient trop souvent parmi les rares indicateurs utilisés par les ménages qui choisissent leur future résidence, plusieurs éléments font varier le coût total du logement sur une base annuelle. Il s'agit notamment des taxes foncières, du prix des services municipaux, de la mise de fonds initiale, du taux d'intérêt, de la période d'amortissement, des coûts des assurances, de l'entretien et de l'énergie. Bien que les derniers éléments de cette liste s'appliquent uniformément sur le territoire, les deux premiers (taxes et services) dépendent de la localisation. C'est ce qui justifie la production du tableau 11 qui présente les statistiques du coût annuel de logement produit par les simulations. La structure des différences ressemble à celle des prix d'achat, mais avec des nuances qui doivent être évaluées pour calculer le taux d'effort pour le logement (coût annuel / revenu disponible – après paiement de l'impôt sur le revenu et autres charges analogues).

Scénario	Moyenne (Erreur-type)	Écart-type	Seuil de confiance inférieur (1 %)	Seuil de confiance supérieur (99 %)
Bourg-Royal unifamiliales	26 104 (1)	3 090	20 139	33 780
Scénario Bourg-Royal emplois	21 207 (1)	4 266	16 551	30 970
Scénario Est	21 304 (1)	4 391	16 565	31 030
Scénario Est et Nord	21 850 (1)	4 741	16 604	31 763
Scénario Nord et Est	26 684 (1)	3 226	17 525	32 942
St-Augustin unifamiliales	32 935 (1)	2 636	25 898	40 439
Scénario St-Augustin emplois	25 471 (1)	2 679	19 090	33 076
Scénario Ouest et Sud	23 042 (1)	3 762	16 376	32 428
Scénario Ouest et Nord	21 464 (1)	2 935	15 822	29 061
Scénario Nord et Ouest	22 919 (1)	2 351	16 361	29 402

Tableau 11. Simulations des coûts annuels pour le logement (\$) par scénario

Toutefois, bien que la localisation avantage les localisations périphériques avec une réduction de la rente foncière, cette dernière existe parce que certaines localisations sont plus accessibles et produisent une plus-value qui capte les éventuelles réductions de temps et de coût de transport. Certaines études économiques iraient jusqu'à mesurer le coût du temps perdu dans la circulation (proportion du salaire horaire x durée de trajet),

pour cette étude, nous limitons l'estimation de ces inconvénients aux seuls coûts de transport et de motorisation. Si on ajoute les coûts annuels de transport aux coûts de logement (Tableau 12), on obtient un classement des scénarios très différents du précédent. Le scénario du secteur Bourg-Royal est en moyenne plus économique (et moins variable) que les scénarios de la périphérie, dont les coûts totaux minima et maxima, sont toujours plus élevés. Dans le secteur ouest, la situation est également différente, car les coûts moyens sont pratiquement équivalents, mais plus dispersés en périphérie, ce qui produit des coûts minimaux plus bas en périphérie et des dépenses maximales sensiblement équivalentes. Comme les dépenses de logement et de transport doivent être assumées sur le même budget et que l'obtention du coût minimum pour le logement risque d'être en grande partie compensée par des coûts de transport plus élevés, on aboutit à une relation de substitution ou de compensation qui est prise en compte par le SEM. Cet exemple illustre l'intérêt de simuler ces effets croisés dans une perspective de développement durable où l'on tente de minorer les inconvénients économiques tout en maximisant le bien-être des ménages. Ce sont trop souvent les ménages défavorisés qui optent pour la périphérie en raison de contraintes financières pour obtenir un prêt hypothécaire et se trouvent ensuite forcés d'assumer le surcoût de transport.

Scénario	Moyenne (Erreur-type)	Écart-type	Seuil de confiance inférieur (1 %)	Seuil de confiance supérieur (99 %)
Bourg-Royal unifamiliales	36 964 (1)	2 442	32 265	43 090
Scénario Bourg-Royal emplois	40 298 (1)	3 065	36 225	48 311
Scénario Est	40 855 (1)	2 939	36 394	48 021
Scénario Est et Nord	41 440 (1)	3 610	36 415	50 967
Scénario Nord et Est	45 535 (1)	2 997	38 348	51 737
St-Augustin unifamiliales	40 476 (1)	3 187	33 240	49 537
Scénario St-Augustin emplois	36 544 (1)	4 262	27 051	45 740
Scénario Ouest et Sud	40 511 (1)	4 502	27 703	49 256
Scénario Ouest et Nord	42 604 (1)	4 132	27 224	49 774
Scénario Nord et Ouest	43 142 (1)	4 320	27 900	49 850

Tableau 12. Simulations des coûts annuels pour le logement et le transport (\$) par scénario

Les tableaux 10 à 12 ont présenté quelques résultats financiers de la simulation des scénarios, la section 7 présente les résultats des scénarios pour chacune des variables endogènes susceptibles de faire la différence en termes de développement durable. La section 8 présente un classement des scénarios après avoir discuté des tenants et aboutissants de la simulation et spécifié les limites de l'approche.

7. Présentation des résultats

Les 5 000 pas de simulation ont permis d'évaluer les valeurs locales des 8 variables endogènes du SEM qui ont été traitées afin de mesurer les effets des 10 scénarios de nouveaux développements résidentiels de type unifamiliales en rangée ou détachées. Les développements multifamiliaux de Bourg-Royal et de Saint-Augustin ne sont pas retenus pour cette section, tout comme pour la comparaison des scénarios de la section 8. Les résultats sont présentés en trois sous-sections : (7.1) les coûts annuels du logement et du transport ainsi que les taux d'effort des ménages concernés ; (7.2) les choix de motorisation et de mobilité (parts modales) ; (7.3) les émissions de GES liées au transport des personnes. Chaque élément est illustré avec des boîtes de Tukey alors que les résultats numériques et graphiques détaillés sont disponibles à l'annexe 4. Les tableaux et figures de l'annexe sont numérotés 4.1, 4.2, etc.

7.1. Coûts annuels du logement et du transport (Effort des ménages)

Les coûts annuels de logement ont été présentés au tableau 11. La figure 13 illustre la même information en utilisant des boîtes de Tukey qui facilitent les comparaisons entre les scénarios du secteur est et entre les scénarios du secteur ouest. Le tableau 4.1 présente les seuils caractéristiques des distributions et utilise des codes de couleur pour identifier les scénarios qui présentent des différences significatives entre les médianes au seuil de rejet de 1 % ($p < 0,01$). Les médianes qui diffèrent de la référence sont surlignées de la même couleur que les seuils concernés (1 % ou 99 %) des scénarios de référence. À cet effet, la médiane est plus intéressante que la moyenne, car elle n'est pas influencée par les valeurs extrêmes de la distribution. Elle indique le seuil qui coupe la distribution en deux parties égales. Ainsi, la moitié des simulations a estimé une valeur inférieure à la médiane, l'autre moitié étant située au-dessus. Cet indicateur est particulièrement utile quand la distribution est fortement biaisée ou multimodale (incluant bimodale).

Dans le secteur est, on constate que les médianes des coûts de logement de trois scénarios de la périphérie (Bourg-Royal emplois, scénario Est et scénario Est et Nord) sont significativement inférieures à celle de Bourg-Royal unifamiliales. En consultant la figure 4.1, on constate que ces distributions sont biaisées et bimodales avec un fort intervalle de valeurs, ce qui résulte de la forte dispersion des périmètres d'urbanisation (Annexe 3). En fait, certains périmètres de ces scénarios génèrent des coûts de logement inférieurs ou similaires aux meilleurs coûts prévisibles dans le secteur Bourg-Royal. Cependant, les périmètres d'urbanisation les moins éloignés (par exemple, à Boischâtel) impliquent des coûts de logement comparables à ceux de Bourg-Royal.

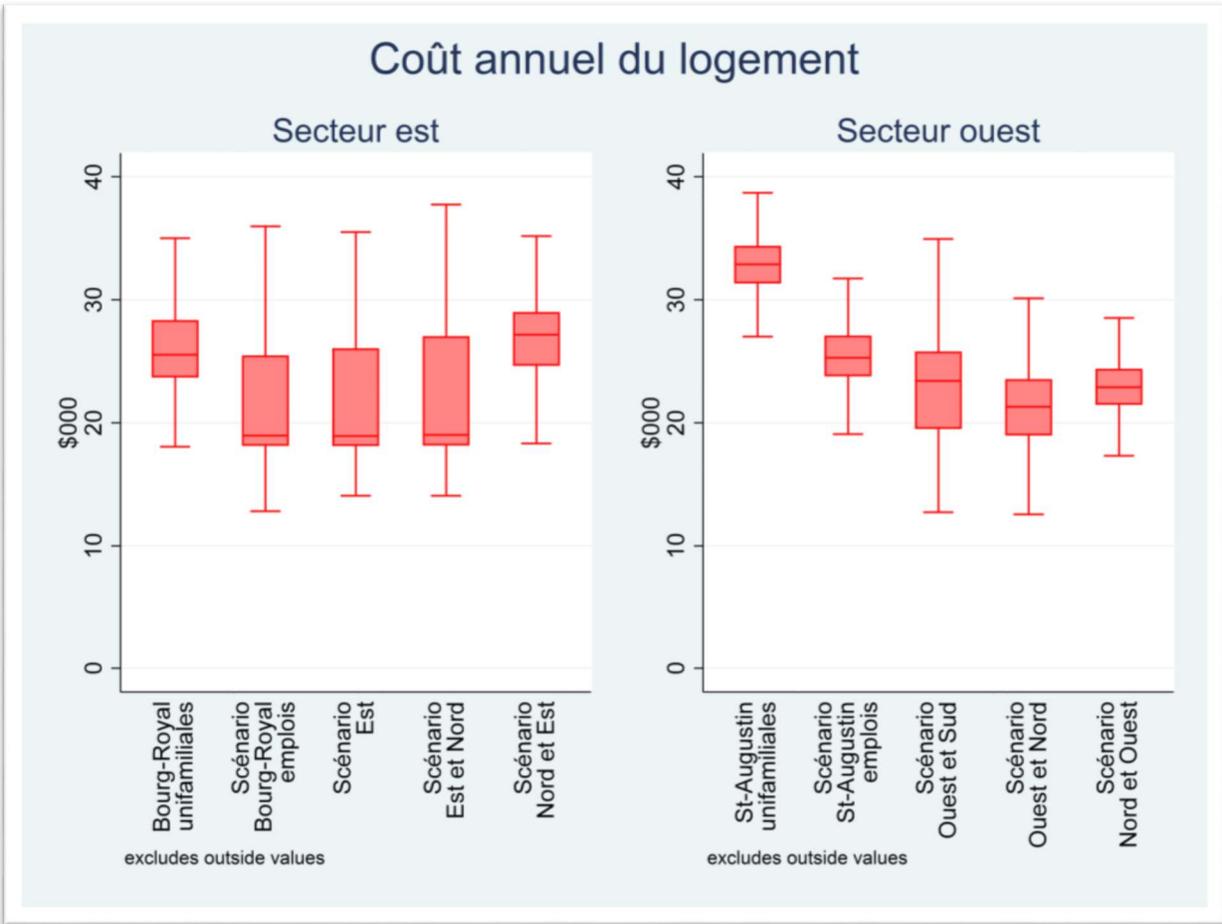


Figure 13. Comparaison des coûts annuels du logement (milliers de \$) par scénario

Ainsi, certaines simulations de Bourg-Royal demeurent relativement compétitives avec ces scénarios de périphérie puisque l'intervalle de valeurs de Bourg-Royal atteint à son minimum le quartile inférieur (Q1) des distributions de périphérie, bien que ces dernières offrent certaines opportunités de logement à bas coût (moins de 18 000 \$ par année). Il convient de noter que les minima et maxima présentés sur les boîtes de Tukey sont en dehors des marges de confiance à 1 % et 99 % telles que présentées au tableau 4.1. La mention « excludes outside values » qui apparaît au bas des figures indique que les valeurs extrêmes de la distribution ne sont pas représentées.

Dans le secteur ouest, les coûts de logement de Saint-Augustin excèdent significativement ceux de trois scénarios de périphérie (Ouest et Sud, Ouest et Nord, Nord et Ouest) et les médianes de coût de tous les scénarios de périphérie sont inférieures à ceux de Saint-Augustin unifamiliales. La différence est significative dans les deux sens, ce qui implique que les scénarios de périphérie sont très compétitifs en termes de coût du logement. Il s'agit de l'effet combiné de prix plus bas et d'une fiscalité avantageuse en périphérie. Dans le secteur ouest, toutes les distributions de valeurs sont quasi

symétriques avec une médiane à mi-chemin des quartiles inférieur et supérieur (Annexe 4). Seuls les scénarios Ouest et Sud ainsi qu’Ouest et Nord présentent une forme légèrement bimodale. On peut prévoir que les scénarios de développement de la périphérie ouest seront particulièrement concurrentiels face au développement du périmètre de Saint-Augustin si on considère ce seul critère.

Les coûts annuels du transport (Figure 14) présentent une situation quasi inverse, car les périmètres de l’Agglomération profitent largement d’un avantage de localisation qui contrebalance l’effet de rente foncière intégrée dans les coûts de logement. Les deux phénomènes sont essentiellement liés à l’accessibilité aux aménités urbaines qui constitue une externalité positive dont les coûts sont internalisés dans le logement et les bénéfiques dans une réduction des besoins en transport. De fait, on observe un transfert entre deux produits complémentaires.

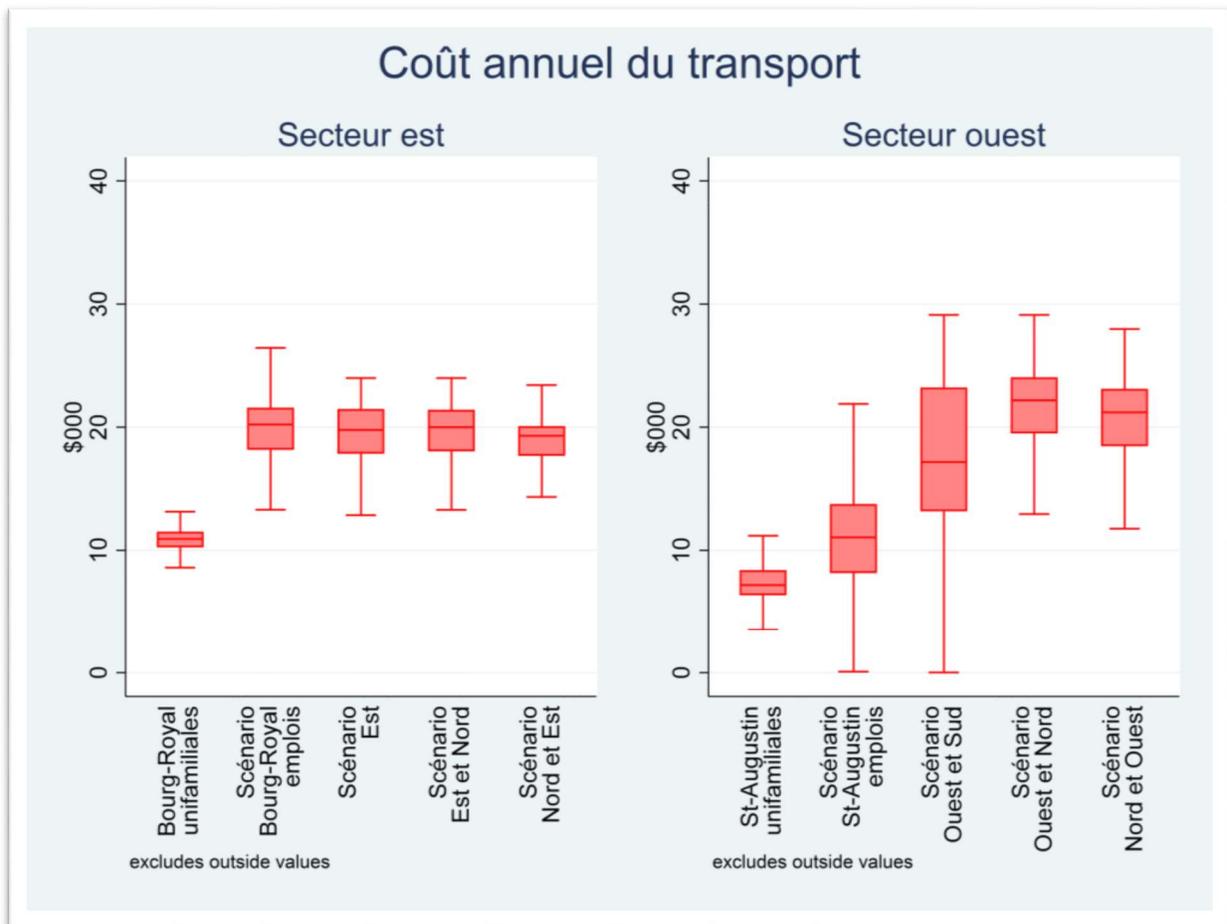


Figure 14. Comparaison des coûts annuels du transport (milliers de \$) par scénario

Dans le secteur est, les coûts annuels de transport prévus à Bourg-Royal (environ 11 000 \$, soit l'équivalent de l'usage d'une automobile par ménage) sont significativement

inférieurs aux secteurs de périphérie où la majorité des ménages ont besoin de plusieurs automobiles et réalisent des déplacements plus longs. De même, les coûts de transport de périphérie sont très nettement au-dessus de la marge de confiance à 99 % du scénario Bourg-Royal unifamiliales.

Dans le secteur ouest, les différences sont moins contrastées même si les coûts annuels estimés sont inférieurs à ceux du secteur est. Bien que présentant des coûts de transport légèrement supérieurs à ceux de Saint-Augustin le scénario Saint-Augustin emplois demeure comparable parce qu'il procure une accessibilité acceptable, notamment grâce à la présence des ponts qui donne un accès rapide au centre de Sainte-Foy. Toutefois, les trois autres scénarios de périphérie sont désavantagés par des coûts de transport significativement plus élevés qu'à Saint-Augustin (Tableau 4.2). Notons au passage que les minima (à zéro) du scénario Saint-Augustin emplois et du scénario Ouest et Sud sur la figure 14 résultent de cas extrêmes et sont peu probables n'étant pas confirmés par les seuils des marges de confiance à 1 % qui sont respectivement à 3 534 \$ et 4 122 \$ (des coûts typiques de secteurs où seulement la moitié des ménages sont motorisés). Ainsi, bien que les boîtes de Tukey soient utiles pour visualiser les écarts entre les scénarios, les tableaux de l'annexe 4 qui présentent les marges de confiance demeurent pertinents et seront utilisés pour ordonner les scénarios dans la section 8 de ce rapport.

Les coûts sont pertinents au plan économique, car ils déterminent les ressources monétaires que les ménages (et la communauté s'ils sont agrégés) consacrent au logement et au transport. Toutefois, d'un point de vue d'équité sociale, ce sont les taux d'effort qui doivent être utilisés parce qu'ils reflètent la capacité de payer des ménages (en % du revenu disponible) pour assumer ces dépenses essentielles et récurrentes et déterminent les profils de clientèle qui peuvent accéder à la propriété. Les ménages sont d'autant plus contraints (dans leur budget et dans leur gamme de choix) que leur taux d'effort est élevé et leur revenu plus modeste. La figure 15 présente les taux d'effort estimés des ménages pour le logement par scénario des secteurs est et ouest de l'Agglomération de Québec.

Globalement, l'effort pour le logement est plus élevé à l'est qu'à l'ouest du territoire en raison notamment de revenus différents (Figure 15). Les options de développement résidentiel hors des limites de l'agglomération requièrent des efforts significativement moins élevés que les scénarios Bourg-Royal et Saint-Augustin sauf pour le scénario Nord et Est qui concerne principalement les périmètres d'urbanisation des municipalités de Lac-Beauport, Sainte-Brigitte-de-Laval et Boischatel et pour le scénario Saint-Augustin emplois qui combine des périmètres sur les deux rives du Saint-Laurent, à Lévis et à Neuville. Notons toutefois que toutes les médianes sont inférieures au seuil de 30 %.

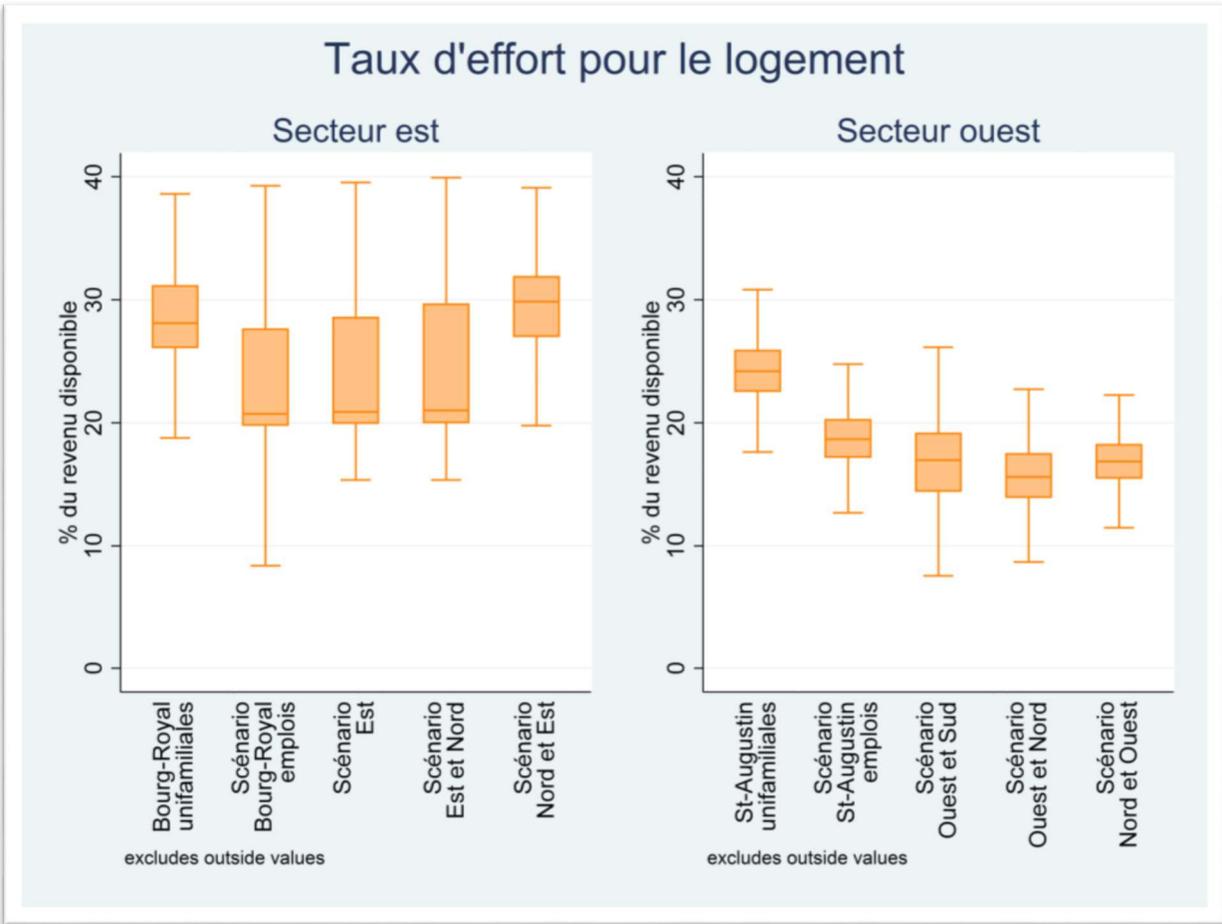


Figure 15. Comparaison des taux d'effort pour le logement (% du revenu disponible) par scénario

Dans le secteur est, les scénarios Bourg-Royal emplois, Est, et Est et Nord offrent des taux d'effort médians pour le logement significativement plus bas que le minimum probable (seuil de confiance à 1 %) à Bourg-Royal (Tableau 4.3). Dans le secteur ouest, Saint-Augustin présente un taux d'effort médian plus élevé que les scénarios alternatifs et les trois derniers scénarios (Ouest et Sud, Ouest et Nord, et Nord et Ouest) obtiennent des médianes significativement inférieures aux minima probables de Saint-Augustin.

La figure 16 présente les diagrammes de Tukey des taux d'effort pour le transport. La structure des différences ressemble à celle des coûts de transport. Dans le secteur est, tous les scénarios de périphérie requièrent des taux d'effort significativement plus élevés que le maximum de Bourg-Royal et la médiane de Bourg-Royal est significativement plus basse que le minimum des scénarios de périphérie. Le scénario de Bourg-Royal unifamiliales est donc strictement plus avantageux que les scénarios de périphérie en ce qui concerne les efforts budgétaires requis pour les transports. Dans le secteur ouest, la situation est plus nuancée, car il n'existe pas de différence significative entre les scénarios de Saint-Augustin unifamiliales et Saint-Augustin emplois. Toutefois les médianes des

trois autres scénarios de périphérie sont significativement plus élevées que le maximum (seuil à 99 %) de Saint-Augustin, ce qui constitue un handicap.

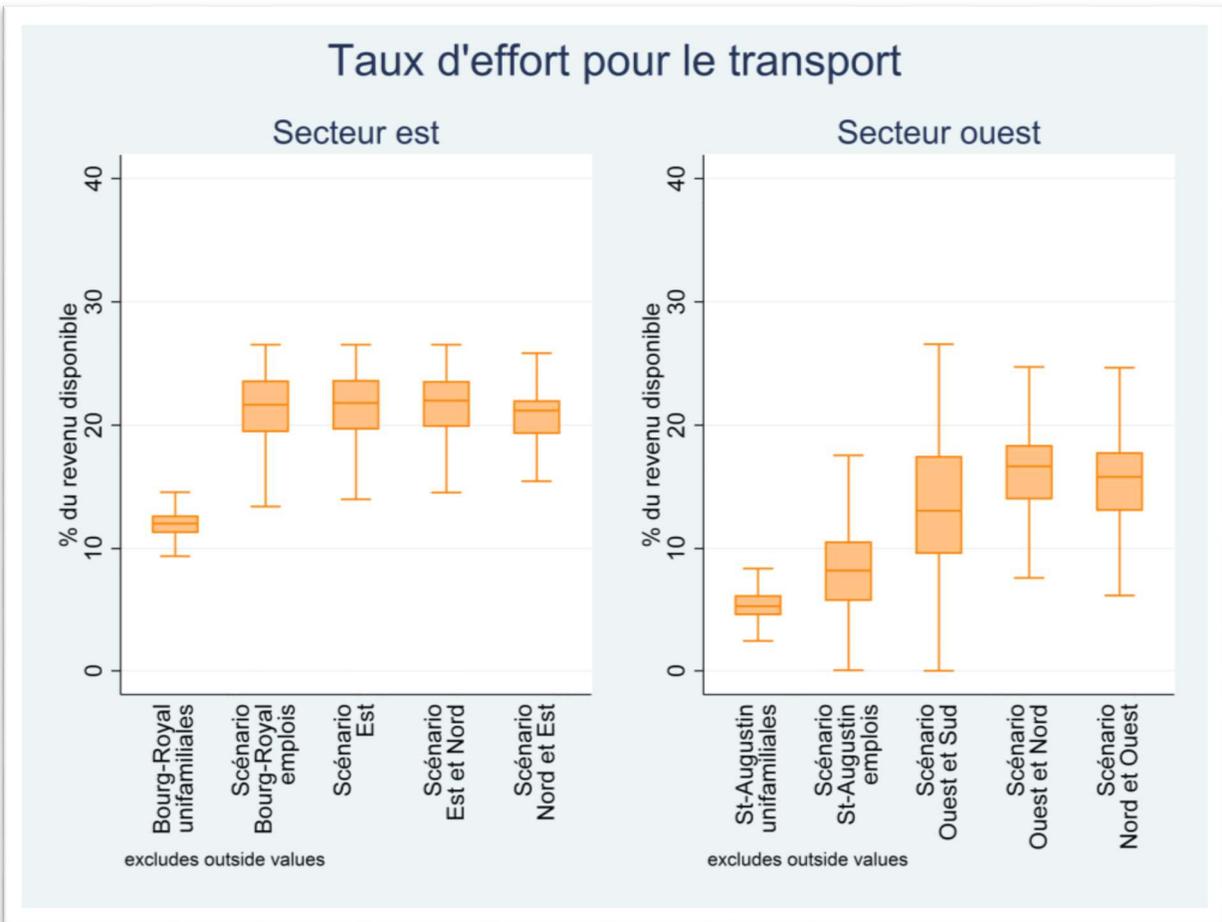


Figure 16. Comparaison des taux d'effort pour le transport (% du revenu disponible) par scénario

Les avantages en termes de taux d'effort pour le logement étant à l'inverse de ceux du transport, il s'avère pertinent de combiner ces deux postes de dépense afin de mesurer l'effet global sur le budget annuel des ménages. La figure 17 présente les diagrammes de Tukey, la figure 4.5 présente les distributions de fréquence et le tableau 4.5 présente les seuils caractéristiques. Il fallait s'y attendre, l'effet de compensation est presque total à l'exception d'une différence significative qui désavantage le scénario Nord et Est en comparaison avec Bourg-Royal. Bien que les différences ne soient pas significatives au plan statistique, il demeure pertinent d'ordonner les médianes des scénarios, car une différence de quelques pour cent représente des milliers de dollars.

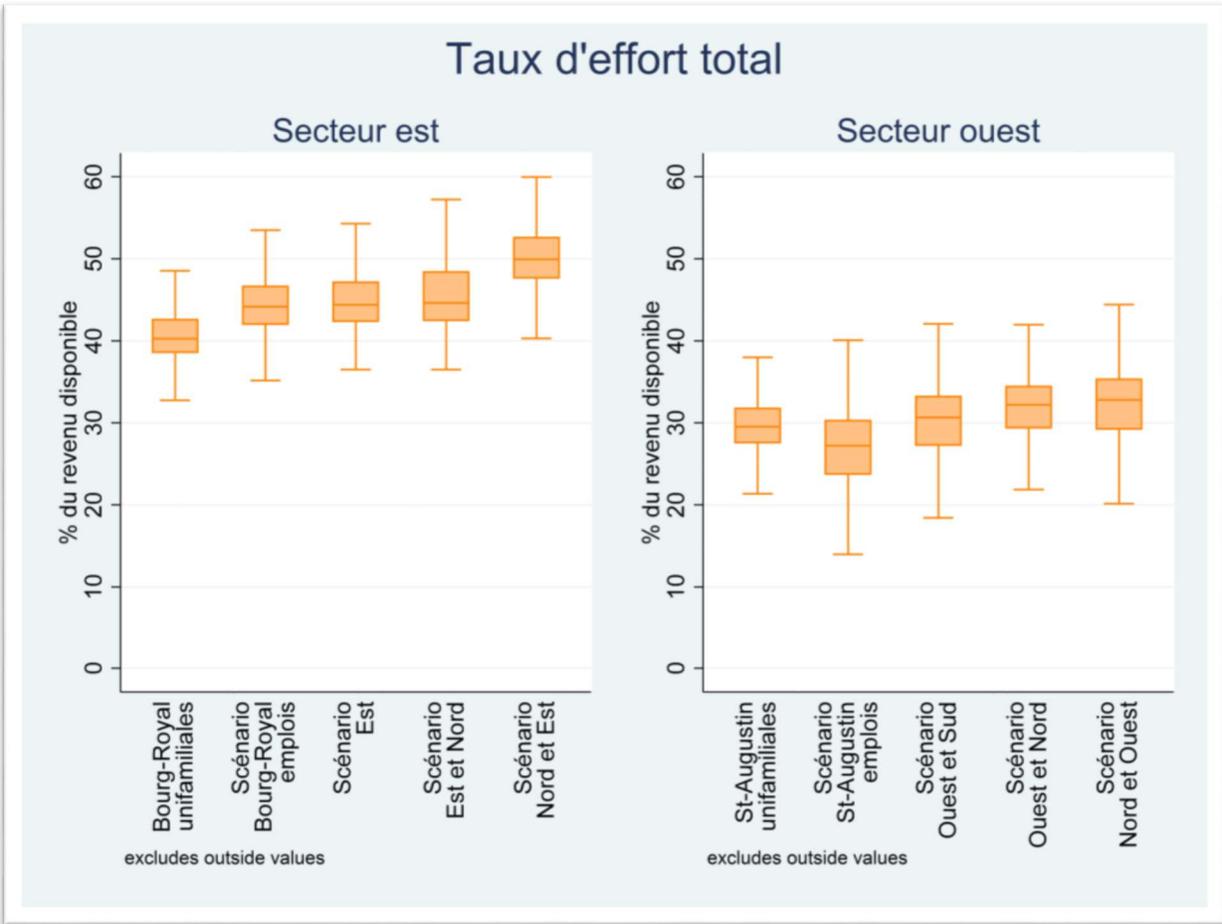


Figure 17. Comparaison des taux d'effort total (% du revenu disponible) par scénario

Dans le secteur est, les scénarios les plus avantageux en termes d'impact budgétaire (Tableau 4.5) sont en ordre décroissant : (1) Bourg-Royal unifamiliales (40,3 %), (2) Bourg-Royal emplois (44,2 %), (3) scénario Est (44,4 %) ; (4) scénario Est et Nord (44,6 %), et (5) scénario Nord et Est (49,9 %). Dans le secteur ouest, l'ordre obtenu est le suivant : (1) scénario Saint-Augustin emplois (27,2 %) ; (2) Saint-Augustin unifamiliales (29,5 %) ; (3) scénario Ouest et Sud (30,7 %) ; (4) scénario Ouest et Nord (32,2 %) ; (5) scénario Nord et Ouest (32,8 %). Donc au plan budgétaire, le scénario de Saint-Augustin unifamiliales est en compétition avec le scénario du bassin d'emplois si on prend en compte le total des coûts et efforts liés au logement et au transport combinés.

7.2. Choix de motorisation et de mobilité

La figure 18 illustre la variation des taux de motorisation entre les scénarios de développement. Dans le secteur est, on constate que le scénario Bourg-Royal présente des taux nettement inférieurs aux scénarios de périphérie, une différence qui est significative au seuil de 1 % (Tableau 4.6). De plus, les distributions de fréquence sont

totalemment disjointes (Figure 4.6), car les scénarios de périphérie obtiennent des médianes inférieures au seuil de confiance de 99 % du secteur Bourg-Royal. Dans le secteur ouest, les différences sont moins marquées, notamment en raison de la forte dispersion des taux de motorisation en périphérie (entre 40-60 et plus de 100 automobiles par conducteur). La motorisation médiane du scénario Saint-Augustin emplois est légèrement inférieure à celle de Saint-Augustin. Seuls les scénarios Ouest et Nord, et Nord et Ouest se démarquent significativement de Saint-Augustin avec des médianes de motorisation nettement plus élevées (Tableau 4.6).

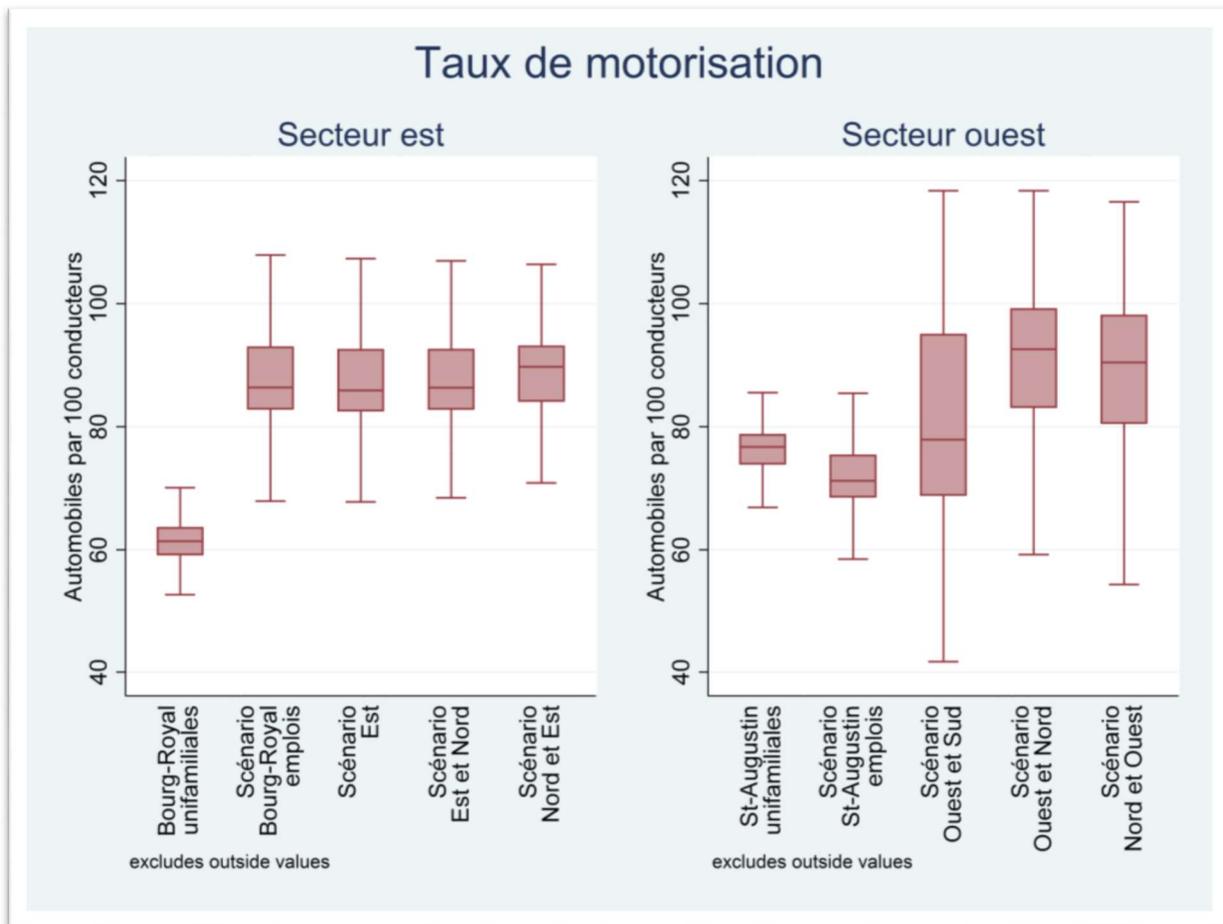


Figure 18. Comparaison des taux de motorisation (automobiles / 100 conducteurs) par scénario

La figure 19 présente les boîtes de Tukey des parts modales de conducteurs d'automobiles. Dans le secteur est, on observe une forte variation avec des médianes qui oscillent entre 63 % et 65 % selon les scénarios. Aucune différence significative n'est détectée (Tableau 4.7) bien que le secteur Bourg-Royal présente des seuils de confiance à 1 % et à 99 % passablement inférieurs à ceux des scénarios de périphérie. Ce scénario est marginalement plus efficace pour réduire les parts modales de l'automobile, ce qui vient confirmer la baisse de motorisation de la figure 18 et partant, sa moindre

dépendance à l'automobile. Dans le secteur ouest, les scénarios Saint-Augustin et Saint-Augustin emplois sont très semblables et se distinguent des autres scénarios de périphérie par une variabilité plus faible des parts modales. Les médianes des scénarios ne présentent aucune différence significative (Tableau 4.7).

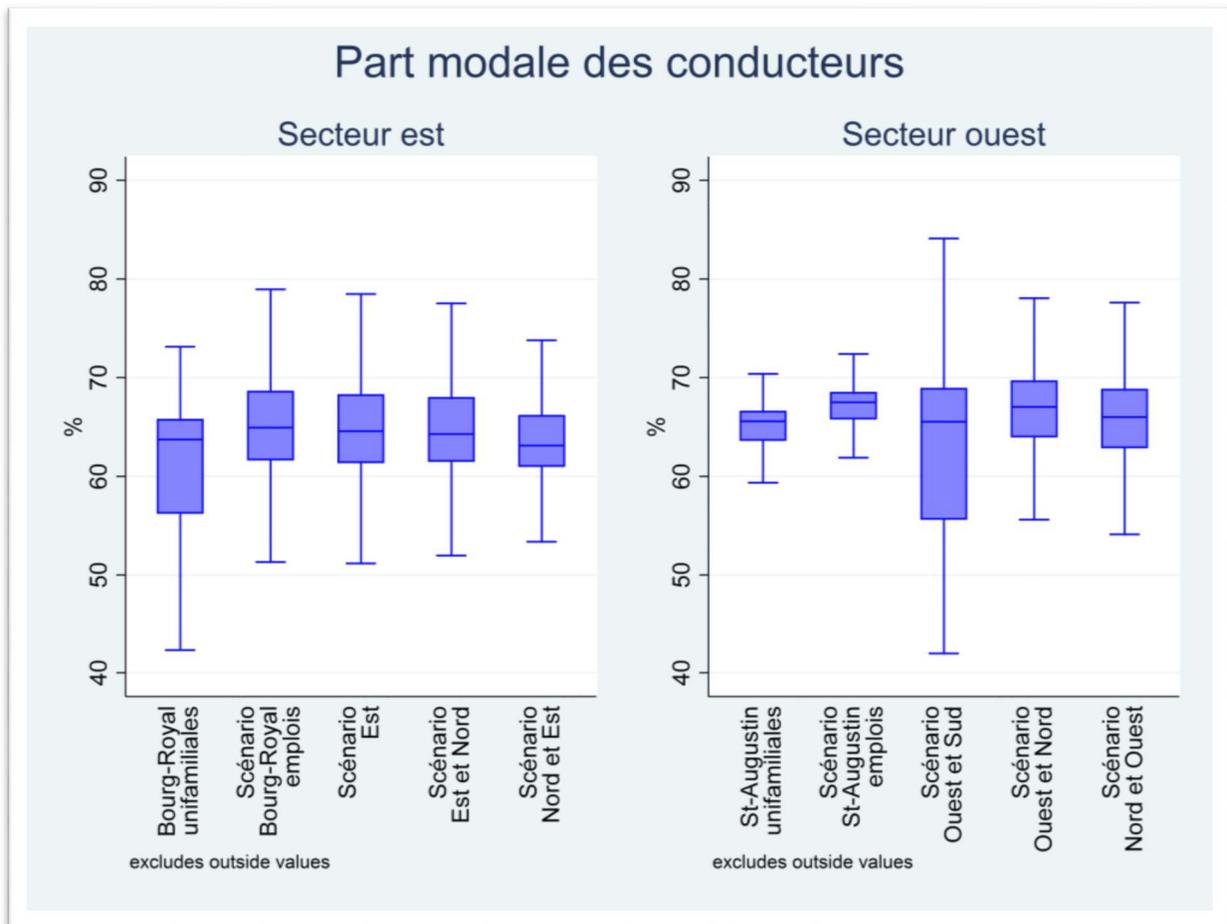


Figure 19. Comparaison des parts modales de conducteurs d'automobile (%) par scénario

La figure 20 illustre les distributions de parts modales de la marche. Les médianes du secteur est (environ 6 %) sont marginalement plus élevées que celles du secteur ouest (entre 5 et 5,7 %), mais ces différences ne sont pas significatives en raison de la forte dispersion des valeurs observées (Tableau 4.8). On note un plafonnement relatif de la part modale des déplacements actifs autour de 15 % (seuil de confiance à 99 %) qui résulte vraisemblablement de la mono-fonctionnalité des développements résidentiels. Seul le secteur de Lévis (scénario ouest et sud) fait exception.

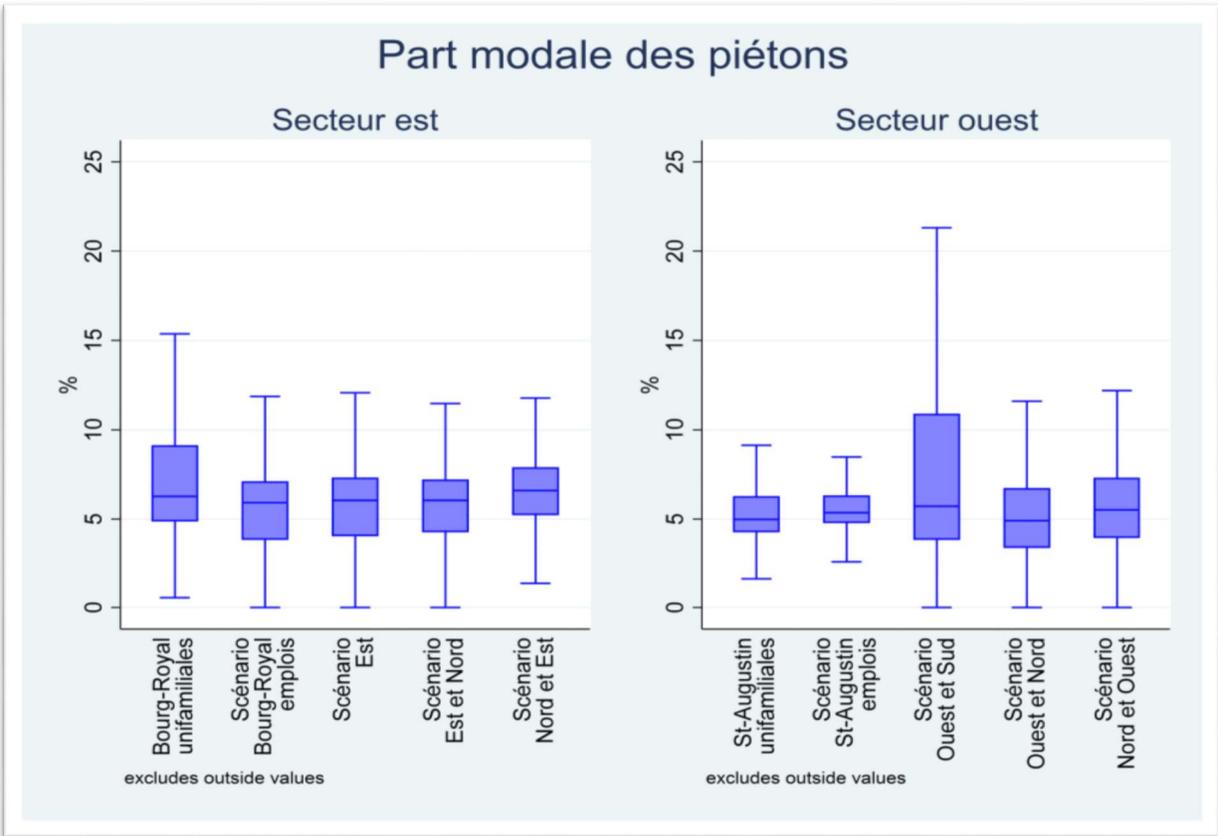


Figure 20. Comparaison des parts modales de piétons (%) par scénario

7.3. Émissions de GES pour le transport des personnes

Les émissions quotidiennes des GES (mesurées en équivalent de CO₂) liées au transport par ménage (kilogrammes) constituent la variable dépendante du SEM et la seule variable qui est totalement estimée par le simulateur puisque les 7 autres variables endogènes ont été ajustées à partir de valeurs initiales imputées lors de la randomisation. Toutefois, les émissions de GES qui ont permis de calibrer le SEM ayant été estimées à partir des données détaillées de l'enquête OD de 2006, les valeurs obtenues ont permis la cartographie des émissions au lieu de résidence (Carte 2) et les valeurs estimées des scénarios prolongent cette cartographie grâce à un processus sophistiqué d'interpolation qui prend en compte le système complexe des dynamiques urbaines et des interdépendances entre la localisation et la nature des développements résidentiels de même que les comportements de motorisation et de mobilité typiques des ménages de la région de Québec en fonction de leur contexte résidentiel.

Les émissions de GES du secteur Bourg-Royal sont très nettement inférieures aux scénarios alternatifs en périphérie. De fait, les différences sont significatives bien au-delà du seuil de signification utilisé dans cette étude ($p < 0,01$) puisque les marges de

confiance sont totalement disjointes, ce qui implique que les médianes des secteurs de périphérie sont significativement supérieures à celles de Bourg-Royal (Tableau 4.9). Dans le secteur ouest, les scénarios de Saint-Augustin produisent des émissions significativement plus faibles que les scénarios Ouest et Nord, et Nord et Ouest. De plus, les trois scénarios de la périphérie réalisent des émissions significativement plus élevées que Saint-Augustin. Le scénario de Saint-Augustin unifamiliales est marginalement moins polluant que le scénario Saint-Augustin emplois (environ 1 kg par ménage et par jour de moins), bien que cette différence ne soit pas significative alors que la médiane de 16,85 du scénario Saint-Augustin emplois dépasse le quartile supérieur (16,47) de Saint-Augustin unifamiliales.

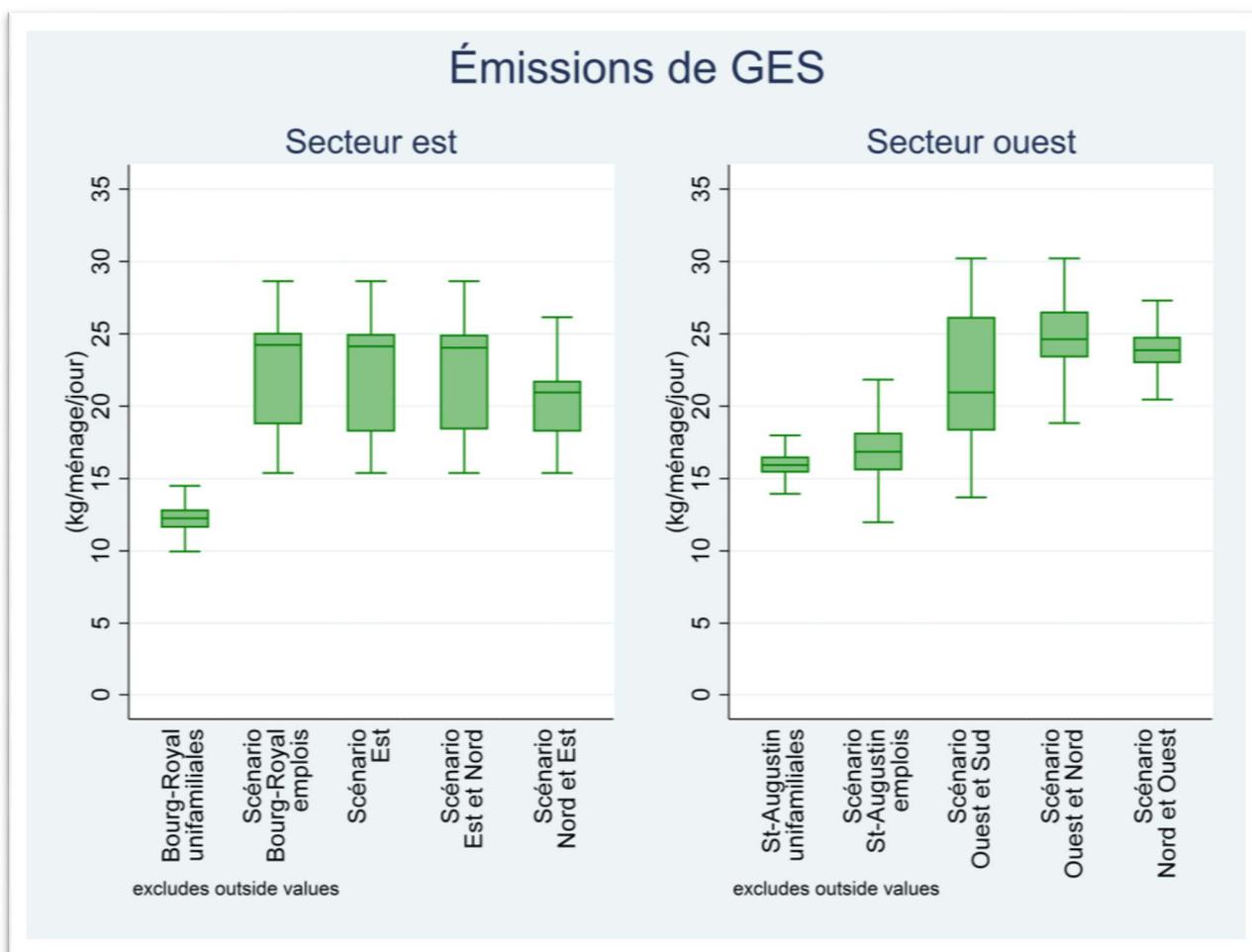


Figure 21. Comparaison des émissions de GES pour le transport de personnes (kg/ménage/jour) par scénario

Sachant que les parts modales des conducteurs d'automobile sont assez semblables entre les scénarios (pas de différence significative), on peut s'étonner que des différences d'émissions aussi intenses soient observées. De fait, les émissions sont influencées par

plusieurs facteurs dont les parts modales, mais également par la distance, le nombre et la vitesse des déplacements ainsi que par le taux d'occupation des véhicules. Il s'agit d'un phénomène multifactoriel que le SEM de la région de Québec arrive à estimer grâce à la prise en compte des effets multiples liés, par exemple aux différentiels d'accessibilité des quartiers qui évalue l'accès aux services de proximité, à la structure d'âge de la population qui influence les choix de mobilité et les taux d'occupation des véhicules, la disponibilité de transport collectif qui diversifie les choix de mobilité potentiels, les effets de revenu et d'instruction qui influencent les choix résidentiels et de motorisation ainsi que les attitudes face au transport et à la protection de l'environnement, etc. Les divers coefficients du SEM expriment les comportements moyens des résidents de la région de Québec en termes de logement et de déplacement quotidien en plus d'en évaluer les impacts financiers, budgétaires et environnementaux. Après une discussion centrée sur les postulats, les hypothèses et les limites du SEM et de la simulation, la section suivante effectue la comparaison de l'efficacité des scénarios sous trois facettes du développement durable.

8. Discussion, classement des scénarios et recommandations

8.1. Les postulats, les hypothèses et les limites de la simulation

La réalité d'une agglomération urbaine étant très complexe, toute analyse, modélisation ou simulation requiert de spécifier des postulats (faits qui sont admis a priori et ne seront pas vérifiés) et des hypothèses (faits qu'on désire vérifier) pour justifier les choix méthodologiques effectués. Cette sous-section vise à préciser certains aspects essentiels pour comprendre la portée des résultats de cette étude et en apprécier les limites.

Il faut distinguer les postulats qui concernent l'évolution du système régional à court et moyen termes (10 à 20 ans) des postulats requis pour prévoir les transformations à long terme (plus de 20 ans). La réalisation d'un SEM régional comme celui de la région de Québec et son utilisation pour réaliser des simulations à moyen terme implique quatre postulats : (1) l'homogénéité culturelle ; (2) la validité des inférences ; (3) l'existence d'une structure métropolitaine intégrée ; (4) la ressemblance des ensembles résidentiels voisins.

Le postulat d'homogénéité culturelle implique qu'on admet que les ménages qui constituent la clientèle des nouveaux ensembles résidentiels ont des valeurs et des comportements similaires à ceux des années précédentes (dans cette étude 2006) et qu'il n'existe pas d'effet de ghetto ou de communauté culturelle isolée comme ce serait le cas à Montréal, Toronto ou Vancouver qui demanderaient des ajustements au SEM (spécification des coefficients selon les cultures ou par approche multiniveau) pour tenir compte de cette diversité. La population de la région de Québec est très homogène tant au plan ethnique que culturel et linguistique ; on note depuis des décennies la prévalence des valeurs de « *l'American way of life* » dans les aspirations résidentielles et les choix de mobilité. Donc, le postulat d'homogénéité culturelle s'avère très raisonnable.

Le postulat de validité des inférences concerne la pertinence des données utilisées pour modéliser le fonctionnement du système régional. Dans le cas de cette étude, quatre sources de données principales ont été utilisées pour élaborer le SEM : les rôles fonciers, les réseaux de transport, le recensement de la population de 2006 (Statistique Canada) et les données individuelles de déplacement de l'enquête OD de 2006. Les deux premières sources de données sont exhaustives et bénéficient d'une mise à jour régulière, car elles sont utilisées pour des fins de taxation et d'organisation des transports (par exemple, recherche d'itinéraires avec les GPS ou le suivi d'autobus). Le recensement est divisé en deux composantes ; la première (questionnaire court) dénombre la population (âge, genre, rôle par logement et ménage) avec un échantillon de 100 % ; la seconde (questionnaire long) évalue les caractéristiques socio-économiques (revenu, coût du logement, instruction, etc.) avec un échantillon de 20 %. Dans la région de Québec, l'enquête OD de 2006 recense les déplacements d'un jour typique de semaine en

automne et est basée sur un échantillon de 10,2 % des ménages à l'échelle régionale. Tant le recensement que l'enquête OD sont élaborés avec un plan d'échantillonnage spatial afin de générer des estimations locales valides et les fractions d'échantillonnage utilisées sont suffisantes pour réaliser des inférences (représentativité de l'ensemble de la population selon les localités) et des interpolations spatiales. De plus, le questionnaire long du recensement et l'enquête OD sont redressés sur le questionnaire court du recensement afin d'estimer les valeurs totales sur une base locale ou régionale. Ces facteurs de redressement ont été utilisés pour cette étude à toutes les phases de modélisation et de simulation, ce qui donne les assurances requises pour la validité des inférences de cette étude. Enfin, ces sources de données sont couramment utilisées en planification régionale.

Toutes les études réalisées pour la région de Québec ont démontré l'existence d'une structure métropolitaine intégrée autour d'un marché de l'emploi unique bien qu'on observe l'émergence et la consolidation d'une structure multipolaire depuis quelques décennies. Les principaux pôles sont la Colline Parlementaire (centre historique incluant la basse-ville), le secteur de Sainte-Foy, le secteur de Lévis, le secteur la Capitale-Lebourgneuf, plus quelques pôles secondaires en émergence. Dans la région de Québec, on n'observe pas de coalescence de plusieurs régions métropolitaines qui évoluent en synergie (par exemple trains de banlieue), comme dans la région de Toronto. Il est donc possible de profiter de cette stabilité structurelle pour modéliser assez simplement les interrelations entre les divers aspects des dynamiques urbaines avec des effets linéaires. Enfin, le postulat de la structure métropolitaine intégrée est reflété au niveau administratif : il s'agit de la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ).

Enfin, pour cette étude, l'aménagement des nouveaux ensembles résidentiels est très semblable aux quartiers voisins et, le postulat d'homogénéité culturelle étant admis, il n'y a aucune raison de croire que les nouveaux résidents auraient des valeurs et des priorités très différentes des habitants actuels des quartiers voisins. L'étude présentée dans ce document repose sur ces quatre postulats qui s'avèrent très raisonnables dans les circonstances.

Pour modéliser les transformations à long terme (20 ans et plus) il faudrait admettre quelques autres postulats que nous allons énoncer afin de discuter des limites qu'ils impliquent sur une projection à plus long terme. Il s'agit de prévoir : (1) un développement des marchés de l'emploi qui maintient la structure sectorielle et spatiale actuelle ; (2) une transformation des marchés résidentiels qui maintient la structure de prix et répartition de l'offre actuelle ; (3) une fiscalité municipale et scolaire analogue à la situation actuelle ; (4) pas de bouleversement des paramètres macro-économiques fondamentaux ; (5) une évolution technologique et structurelle progressive. Plusieurs de ces postulats devraient être satisfaits à moyen terme, mais leur validité diminue avec l'horizon prévisionnel.

La structure du marché de l'emploi a évolué lentement durant les deux dernières décennies amenant une diversification des secteurs d'activité qui assure une certaine stabilité tout en produisant un déploiement graduel vers plusieurs centres d'emploi. Un rapport récent de Québec international (2016) indique qu'en 2015, la RMR de Québec a généré un produit intérieur brut de 34,3 milliards de dollars et que sa croissance par rapport à 2014 (1,4 %) a été supérieure à celle du Québec (1,1 %) et du Canada (1,2 %). En page 6, les auteurs écrivent "La solidité économique dont fait preuve la région de Québec se reflète sur l'évolution de son PIB par habitant, une variable permettant de mesurer le niveau de vie d'une population. En 2015, il s'établissait à 42 493 \$ (37 950 \$ au Québec), affichant une hausse de 0,7 % par rapport à 2014 (+0,5 % au Québec)." Ils soulignent également l'impact de la structure industrielle diversifiée pour soutenir une croissance moyenne du PIB régional à près de 2 % par année d'ici 2020.

Notre équipe étudie les marchés immobiliers de la région de Québec depuis plusieurs décennies (Des Rosiers et al., 2002, 2007, 2010 et 2011). Nos résultats confirment ceux de la SCHL, de la SHQ et de plusieurs auteurs à savoir que les marchés résidentiels sont plutôt stables au plan structurel (prédominance des résidences unifamiliales, croissance des copropriétés, stabilité du parc locatif) tout en produisant un étalement urbain continu depuis des décennies. Une des finalités de cette étude consiste justement à chercher des stratégies efficaces pour ralentir cette tendance lourde à l'étalement. Nos résultats des sections précédentes tendent à confirmer une étude réalisée par des chercheurs des HEC (Gagnon et Pineau, 2013) disant que les coûts réels de l'automobile sont mal évalués par les ménages et les institutions. Ainsi, lorsqu'on prend en compte une économie sur le coût financier d'un véhicule additionnel on peut facilement s'offrir une résidence plus près du centre des agglomérations. Leur étude, portant sur la région de Montréal s'est intéressée non seulement aux coûts directs de l'automobile (amortissement, essence, entretien, etc.) payés par l'utilisateur, mais également aux coûts externes qui ne sont pas directement assumés par les automobilistes (infrastructures, stationnements, services de sécurité, accidents, incluant les émissions de GES) et qui représenteraient une moyenne annuelle de 5 200 \$ par véhicule. À Montréal, ils estiment qu'un couple sans enfant non motorisé et se déplaçant principalement en transport collectif peut s'offrir une résidence valant plus de 500 000 \$ sur l'île avec le même budget qu'un couple utilisant deux voitures parcourant au total 35 000 km par an et possédant une résidence de 200 000 \$ en périphérie. Ils concluent que lorsque le coût du transport est pris en considération, la banlieue éloignée n'est pas toujours l'option la plus économique.

Se pose ensuite la question de l'évolution des technologies avec l'apparition des voitures hybrides, électriques et intelligentes ainsi que le déploiement d'innovations techno-sociales telles que l'autopartage, le covoiturage, etc. Ces développements vont effectivement dans le sens d'une réduction de certaines nuisances et d'une augmentation de l'efficacité potentielle du secteur des transports en termes de logistique et de coût.

Néanmoins, malgré des efforts accrus des instances gouvernementales, le progrès des technologies propres suit un rythme progressif en raison des coûts additionnels qu'elles impliquent et lorsqu'elles sont déployées, les clientèles visées doivent généralement pouvoir en assumer les coûts, être bien nanties et elles habitent généralement déjà les quartiers centraux où notre étude montre que les émissions sont nettement moindres avec les technologies actuelles (Carte 2). Ce ne sont vraisemblablement pas les ménages qui ont été relégués à loger en périphérie parce qu'ils peinent à accéder à la propriété qui vont pouvoir se payer la voiture hybride ou électrique, du moins pas avant que la production de masse entraîne une baisse substantielle des prix (la version de base de la Tesla S se vend actuellement environ 66 000\$ US avant rabais des programmes incitatifs) ou que des programmes de politique publics très audacieux ne soient mis en place.

Par leur aisance de déploiement, les innovations techno-sociales peuvent offrir une solution alternative pour équiper un groupe de ménages adhérents et leur donner accès à des voitures électriques et hybrides en mutualisant les coûts d'acquisition. C'est notamment ce qui est fait actuellement par une entreprise comme Communauto à Québec, à Montréal et ailleurs. Actuellement, ce type de service n'est offert que dans des quartiers offrant une densité suffisante d'adhérents pour rentabiliser le service. Une étude récente de Coll *et al.* (2014) portant sur la diffusion de l'autopartage à Québec a montré qu'une densité résidentielle nette de 40 logements à l'hectare s'est avérée suffisante pour soutenir l'opération d'un service d'autopartage dans des quartiers où ce type de service n'avait pas été planifié. La configuration de ce type d'offre dans les nouveaux ensembles résidentiels de densité suffisante serait susceptible d'améliorer le bilan d'émissions de GES prévus dans cette étude en plus de favoriser une augmentation des parts modales des modes actifs et de transport collectif. On peut donc penser que ces innovations vont avoir un impact notable, mais sur le long terme (20 à 30 ans et plus). La tendance actuelle est plutôt à la hausse de la motorisation et l'augmentation de la taille de véhicules, liée à la baisse du prix de l'essence en réponse à l'effondrement des prix du pétrole brut depuis l'été 2014. Selon la SAAQ, la flotte d'automobiles et de camions légers de promenade en circulation au Québec s'est accrue de 20,5 % de 2006 à 2014 (de 3 935 448 à 4 742 210 véhicules), alors que la population québécoise augmentait de 7,64 % selon l'ISQ durant la même période. L'amélioration technique des véhicules serait-elle contrebalancée par leur augmentation ?

Les seuls paramètres susceptibles de varier de manière plus ou moins prévisible sont la fiscalité municipale et scolaire, les taux d'intérêt, le coût de l'énergie, les assurances et les salaires. Ces facteurs méso- et macro-économiques sont assujettis à l'occurrence d'événements exceptionnels comme les crises économiques, les catastrophes naturelles, la guerre et autres événements géopolitiques difficiles à prévoir. C'est en considération de ces incertitudes que nous avons résolu de ne pas valider les postulats de long terme et de limiter l'étude à la prévision des effets des scénarios comme s'ils atteignaient leur

plein déploiement en 2016 alors qu'ils s'étaleront vraisemblablement sur un horizon de 20 à 25 ans. On obtient ainsi une base de comparaison stable et robuste.

Néanmoins, l'étude comporte quelques limites liées au SEM qu'il convient de signaler. Primo, la représentation du cycle de vie des ménages (composition par classes d'âge) et des catégories socio-économiques (revenu, instruction) est réalisée avec les données agrégées du recensement à l'échelle des aires de diffusion, ce qui implique un certain nivellement de la diversité des situations locales (moyenne par localité). Cette lacune est en partie compensée par l'utilisation de cellules plus petites afin de réintroduire de la variation locale.

Secundo, les calculs d'émissions de GES ne tiennent pas compte de la variation de cylindrée des véhicules ni de leur âge/entretien. Il est fort probable que les véhicules plus récents soient concentrés dans les quartiers plus riches (au centre principalement) ce qui implique une surévaluation des émissions au centre et une sous-estimation en périphérie où la facilité de stationnement et la présence d'enfants favorisent les véhicules plus spacieux (et énergivores). Il est donc possible que nous sous-estimions la différence centre-périphérie et que le désavantage environnemental des localisations périphériques soit encore plus fort que ce que nous estimons.

Tertio, les émissions de GES sont évaluées au lieu de résidence des émetteurs, alors qu'une évaluation sur les routes permettrait de caractériser les impacts sur les populations voisines, car les GES sont un traceur de la pollution atmosphérique. Ceci soulève un problème d'équité sociale, car la densité des activités occasionne une hausse des impacts subis par les résidents des quartiers centraux en raison des navettes effectuées à l'échelle métropolitaine. Ce sont pourtant ces mêmes résidents des quartiers centraux qui polluent le moins (Carte 2). Cet aspect d'iniquité n'est pas traité par cette étude bien que ce soit une composante importante du développement durable, ne serait-ce qu'en raison de ses impacts sur la santé.

Finalement, les émissions de GES ont été modélisées avec un postulat de congestion routière inexistante ou faible, ce qui est le cas à Québec en dehors des heures de pointe. Toutefois, cette approche risque de sous-estimer les émissions si le trafic augmente de manière disproportionnée sur certaines artères ou autoroutes. Il est malheureusement impossible de prévoir ces évolutions locales de manière fiable, ce qui justifie encore plus d'éviter les extrapolations sur le long terme.

8.2. Le classement des scénarios de développement

Les résultats prévisibles des scénarios ont été présentés à la section 7. Cette sous-section vise à les synthétiser, à ordonner les scénarios de chaque secteur et à qualifier l'intensité des avantages et désavantages de chaque option. Dans une perspective de

développement durable, trois catégories de critères seront utilisées pour comparer les scénarios : (1) économiques ; (2) sociologiques ; et (3) environnementaux.

Le tableau 13 présente la synthèse des critères économiques, soit les coûts du logement et du transport ainsi que la motorisation qui est associée à ce critère dans la mesure où elle est une composante majeure des coûts de transport (frais fixes) et du fait qu'elle engendre des coûts indirects pour la communauté. Chaque ligne du tableau porte sur la comparaison d'un scénario de développement résidentiel dans les limites de l'Agglomération de Québec avec un scénario alternatif en périphérie. Pour chaque élément, la comparaison est effectuée à partir des médianes qui sont tirées de l'annexe 4 et présentées sous la forme : médiane du scénario évalué < ou > à la médiane du scénario alternatif. Les lignes suivantes de la case de comparaison indiquent les différences significatives au seuil $p < 0,01$ avec le symbole ▲ lorsque le scénario alternatif ou de l'agglomération est significativement meilleur et le symbole ▼ pour identifier un scénario significativement moins efficient. Pour les coûts et la motorisation, la meilleure solution minimise les valeurs. Les scénarios qui n'ont pas identifié de différence significative sont dits « équivalents » même si l'inégalité des médianes permet de les ordonner.

Afin de faciliter la lecture, les cases sont ombrées en rouge si la comparaison avantage significativement un scénario de l'Agglomération de Québec (*Bourg-Royal unifamiliales* ou *Saint-Augustin unifamiliales*) et en bleu si la comparaison avantage significativement un scénario alternatif. L'intensité de la teinte correspond au nombre de différences significatives : pâle pour une seule différence significative (un scénario est inférieur ou supérieur à l'autre) ; foncée pour deux différences significatives (les deux scénarios ont des résultats radicalement différents et un domine totalement l'autre).

Le scénario de Bourg-Royal domine totalement les scénarios alternatifs en termes de réduction des coûts de transport et de la motorisation. Certains scénarios alternatifs affichent des coûts de logement inférieurs au développement d'unifamiliales à Bourg-Royal (à l'exception du scénario Nord et Est). Toutefois, les économies de coût de logement (de 6 500 \$ à 6 800 \$ par année) correspondent à un supplément de coûts de transport d'environ 9 000 \$ par année, ce qui confère un avantage économique très significatif au scénario de Bourg-Royal.

La différence entre les scénarios est moins nette dans le secteur ouest. Bien que moins compétitif que les alternatives pour les coûts logement, le scénario d'unifamiliales de Saint-Augustin affiche une meilleure performance que les autres pour les coûts de transport, sauf en ce qui concerne le scénario du bassin d'emploi où la combinaison de développements sur la Rive Sud (Lévis) et à Neuville s'avère tout aussi avantageuse. Trois cases de comparaison s'avèrent non concluantes. En termes de baisse de la motorisation, les scénarios Ouest et Nord, et Nord et Ouest sont moins efficaces que le scénario d'unifamiliales de Saint-Augustin. En conclusion, le scénario de Saint-Augustin

surclasse certains scénarios alternatifs de l'ouest, parce que les économies de transport compensent les surcoûts de logement et que le taux de motorisation est inférieur. La principale exception concerne le scénario du bassin d'emplois qui est plus performant en termes de coûts du logement et réussit à réduire la motorisation. Il faut donc prévoir une forte compétition entre les territoires concernés : Lévis et Neuville versus Saint-Augustin. Une seconde exception concerne le scénario Ouest et Sud où les différences de coûts de logement et de transport s'annulent alors que la différence de motorisation est non significative.

Scénario évalué	Alternative	Coûts de logement	Coûts de transport	Motorisation
Bourg-Royal unifamiliales	Scénario Bourg-Royal emplois	25 528 > 18 968 Alternative (▲)	10 920 < 20 219 Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)	61,40 < 86,28 Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)
Bourg-Royal unifamiliales	Scénario Est	25 528 > 18 924 Alternative (▲)	10 920 < 19 779 Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)	61,40 < 85,91 Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)
Bourg-Royal unifamiliales	Scénario Est et Nord	25 528 > 19 027 Alternative (▲)	10 920 < 20 008 Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)	61,40 < 86,36 Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)
Bourg-Royal unifamiliales	Scénario Nord et Est	25 528 < 27 170 Équivalents	10 920 < 19 303 Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)	61,40 < 89,75 Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)
Saint-Augustin unifamiliales	Scénario Saint-Augustin emplois	32 882 > 25 285 Alternative (▲)	7182 < 11 052 Équivalents	76,74 > 71,22 Équivalents
Saint-Augustin unifamiliales	Scénario Ouest et Sud	32 882 > 23 413 Saint-Augustin (▼) Alternative (▲)	7182 < 17 170 Saint-Augustin (▲) Alternative (▼)	76,74 < 77,90 Équivalents
Saint-Augustin unifamiliales	Scénario Ouest et Nord	32 822 > 21 302 Saint-Augustin (▼) Alternative (▲)	7182 < 22 179 Saint-Augustin (▲) Alternative (▼)	76,74 < 92,62 Alternative (▼)
Saint-Augustin unifamiliales	Scénario Nord et Ouest	32 822 > 22 895 Saint-Augustin (▼) Alternative (▲)	7182 < 21 205 Saint-Augustin (▲) Alternative (▼)	76,74 < 90,46 Alternative (▼)

▲ : avantage significatif au seuil $p < 0,01$; ▼ : désavantage significatif au seuil $p < 0,01$

Les cases en rouge sont à l'avantage du scénario évalué ; les cases en bleu sont à l'avantage du scénario alternatif.

Tableau 13. Comparaison des médianes des scénarios selon les critères économiques

Le tableau 14 présente une synthèse des résultats pour les critères sociologiques, soit les taux d'effort des ménages pour le logement et le transport ainsi que la part modale des déplacements piétonniers. Dans ce tableau, les coûts du critère économique sont réinterprétés en fonction de la capacité des ménages pour accéder à la propriété

résidentielle avec une comparaison des options à proximité du centre de l'agglomération versus en périphérie. L'inclusion de la part modale des déplacements piétonniers se justifie dans la mesure où les transports actifs ont un effet bénéfique reconnu sur la santé des populations. Dans une perspective de développement durable, l'objectif consiste à minorer l'effort budgétaire des ménages et à maximiser la pratique des déplacements actifs.

Tous les scénarios sont équivalents en termes de transport actif. Dans le secteur est, les économies en transport du scénario de Bourg-Royal unifamiliales arrivent à compenser largement les économies de logement des scénarios alternatifs de périphérie, laissant même un léger avantage en faveur de l'Agglomération. Ces résultats confirment ceux de Gagnon et Pineau (2013) à Montréal, mais contredisent la tendance à l'étalement urbain qui prévaut dans les deux régions métropolitaines. Il s'agit vraisemblablement d'un problème de biais dans l'information dont disposent les ménages et les institutions publiques et privées au moment de planifier les nouveaux développements, d'effectuer des choix de localisation et de prendre des décisions de financement. Des recommandations spécifiques seront formulées à cet effet dans la sous-section suivante. Néanmoins, le scénario de Bourg-Royal domine totalement le scénario Nord et Est en vertu de la pertinence sociologique.

Scénario évalué	Alternative	Effort pour le logement	Effort pour le transport	Part modale des piétons
Bourg-Royal unifamiliales	Scénario Bourg-Royal emplois	28,11 > 20,74 Alternative (▲)	12,02 < 21,67 Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)	6,28 > 5,92 Équivalents
Bourg-Royal unifamiliales	Scénario Est	28,11 > 20,89 Alternative (▲)	12,02 < 21,81 Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)	6,28 > 6,05 Équivalents
Bourg-Royal unifamiliales	Scénario Est et Nord	28,11 > 21,01 Alternative (▲)	12,02 < 22,00 Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)	6,28 > 6,05 Équivalents
Bourg-Royal unifamiliales	Scénario Nord et Est	28,11 < 29,86 Équivalents	12,02 < 21,20 Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)	6,28 < 6,60 Équivalents
Saint-Augustin unifamiliales	Scénario Saint-Augustin emplois	24,20 > 18,66 Équivalents	5,32 < 8,21 Équivalents	4,98 < 5,35 Équivalents
Saint-Augustin unifamiliales	Scénario Ouest et Sud	24,20 > 16,97 Saint-Augustin (▼)	5,32 < 13,07 Alternative (▼)	4,98 < 5,72 Équivalents
Saint-Augustin unifamiliales	Scénario Ouest et Nord	24,20 > 15,61 Saint-Augustin (▼) Alternative (▲)	5,32 < 16,67 Alternative (▼)	4,98 > 4,91 Équivalents
Saint-Augustin unifamiliales	Scénario Nord et Ouest	24,20 > 16,86 Saint-Augustin (▼) Alternative (▲)	5,32 < 15,81 Alternative (▼)	4,98 < 5,52 Équivalents

▲ : avantage significatif au seuil $p < 0,01$; ▼ : désavantage significatif au seuil $p < 0,01$

Les cases en rouge sont à l'avantage du scénario évalué ; les cases en bleu sont à l'avantage du scénario alternatif.

Tableau 14. Comparaison des médianes des scénarios selon les critères sociologiques

Les situations sont plus nuancées dans le secteur ouest. Le scénario du bassin d'emploi est équivalent au développement d'unifamiliales à Saint-Augustin. La même conclusion s'applique à la comparaison avec le scénario Ouest et Sud (qui concerne les municipalités du sud-est de la MRC de Portneuf et certains périmètres d'urbanisation à la tête des ponts à Lévis) et Saint-Augustin, car les avantages respectifs en logement et en transport s'annulent. La comparaison avec les deux derniers scénarios est un peu plus complexe, mais aboutit à une relative équivalence en termes d'effort, car les économies en transport à Saint-Augustin compensent à peine la différence des efforts pour le logement.

Scénario évalué	Alternative	Émissions de GES	Part modale des automobilistes
Bourg-Royal unifamiliales	Scénario Bourg-Royal emplois	12,26 < 24,24 Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)	63,73 < 64,94 Équivalents
Bourg-Royal unifamiliales	Scénario Est	12,26 < 24,14 Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)	63,73 < 64,57 Équivalents
Bourg-Royal unifamiliales	Scénario Est et Nord	12,26 < 24,04 Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)	63,73 < 64,29 Équivalents
Bourg-Royal unifamiliales	Scénario Nord et Est	12,26 < 20,96 Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)	63,73 > 63,12 Équivalents
Saint-Augustin unifamiliales	Scénario Saint-Augustin emplois	15,93 < 16,85 Équivalents	65,59 < 67,51 Équivalents
Saint-Augustin unifamiliales	Scénario Ouest et Sud	15,93 < 20,95 Alternative (▼)	65,59 > 65,53 Équivalents
Saint-Augustin unifamiliales	Scénario Ouest et Nord	15,93 < 24,62 Saint-Augustin (▲) Alternative (▼)	65,59 < 67,03 Équivalents
Saint-Augustin unifamiliales	Scénario Nord et Ouest	15,93 < 23,87 Saint-Augustin (▲) Alternative (▼)	65,59 < 66,01 Équivalents

▲ : avantage significatif au seuil $p < 0,01$; ▼ : désavantage significatif au seuil $p < 0,01$

Les cases en rouge sont à l'avantage du scénario évalué ; les cases en bleu sont à l'avantage du scénario alternatif.

Tableau 15. Comparaison des médianes des scénarios selon les critères environnementaux

Le tableau 15 présente les deux critères environnementaux, soit les émissions quotidiennes de GES des ménages pour satisfaire leurs besoins en transport et les parts modales des déplacements effectués par des conducteurs d'automobile, un facteur qui est retenu dans ce tableau en raison de son lien avec les émissions. Toutefois, ce dernier critère ne génère aucune différence significative alors que les émissions affichent des situations contrastées. Cette observation nous amène à conclure que la réduction des émissions est plus ou moins liée à une baisse des parts modales de l'automobile par les scénarios, mais que c'est surtout la proximité des aménités urbaines et la baisse des distances associée qui a un impact sur la performance environnementale des développements. La situation serait sans doute différente si les développements les plus denses offraient une meilleure diversité de modes de transport, ce qui motive quelques recommandations dans la prochaine section.

En termes d'émissions de GES, le développement d'unifamiliales à Bourg-Royal surclasse très significativement tous les scénarios de la périphérie avec des émissions réduites de moitié en comparaison de la périphérie. Le développement d'unifamiliales à

Saint-Augustin surclasse très nettement les scénarios au nord-ouest de l'Agglomération de Québec. Au sud-ouest la combinaison de l'est de Portneuf et de la Lévis (scénario Ouest et Sud) est moins performante que Saint-Augustin alors que le scénario du bassin d'emplois est globalement équivalent.

Scénario évalué	Alternative	Critères économiques	Critères sociologiques	Critères environnementaux
Bourg-Royal unifamiliales	Scénario Bourg-Royal emplois	Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)	Bourg-Royal (▲)	Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)
Bourg-Royal unifamiliales	Scénario Est	Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)	Bourg-Royal (▲)	Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)
Bourg-Royal unifamiliales	Scénario Est et Nord	Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)	Bourg-Royal (▲)	Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)
Bourg-Royal unifamiliales	Scénario Nord et Est	Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)	Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)	Bourg-Royal (▲) Alternative (▼)
Saint-Augustin unifamiliales	Scénario Saint-Augustin emplois	Équivalents	Équivalents	Équivalents
Saint-Augustin unifamiliales	Scénario Ouest et Sud	Équivalents	Équivalents	Alternative (▼)
Saint-Augustin unifamiliales	Scénario Ouest et Nord	Alternative (▼)	Équivalents	Saint-Augustin (▲) Alternative (▼)
Saint-Augustin unifamiliales	Scénario Nord et Ouest	Alternative (▼)	Équivalents	Saint-Augustin (▲) Alternative (▼)

▲ : avantage significatif au seuil $p < 0,01$; ▼ : désavantage significatif au seuil $p < 0,01$

Les cases en rouge sont à l'avantage du scénario de l'Agglomération de Québec ; les cases en bleu sont à l'avantage du scénario alternatif.

Tableau 16. Comparaison globale des scénarios selon les critères de développement durable

Le tableau 16 présente la synthèse globale de la performance des scénarios en vertu des critères de développement durable. On note que le scénario de Bourg-Royal surclasse largement toutes les alternatives du secteur est alors que la situation est moins contrastée dans le secteur ouest. Deux scénarios alternatifs au développement de Saint-Augustin (situés au nord-ouest) sont largement surclassés alors que les scénarios alternatifs du sud-ouest sont soit légèrement moins avantageux au plan environnemental, soit globalement équivalent (bassin d'emplois).

On note également que les critères sociologiques dégagent des différences pertinentes dans le secteur est où les ménages sont moins bien nantis et sont neutres dans le secteur ouest. Cette différence est importante parce que c'est dans le secteur est que les ménages moins fortunés subissent le plus de contraintes budgétaires pour accéder à la propriété, un enjeu réel d'équité dans la mesure où les revenus annuels disponibles qui ont été considérés pour les simulations dans le secteur est (environ 91 000 \$) dépassent largement la moyenne régionale d'environ 60 000 \$ en 2014. Il s'avère donc essentiel de

réduire les coûts combinés du logement et du transport si on veut maintenir une possibilité d'accès à la propriété pour la classe moyenne, notamment pour les jeunes familles qui désirent loger dans une maison unifamiliale de préférence à un appartement en copropriété.

8.3. Recommandations et pistes d'action

Les résultats de simulation ont révélé un net avantage pour les développements prévus dans le secteur de Bourg-Royal en comparaison de tous les scénarios alternatifs et un avantage des développements prévus à Saint-Augustin par rapport aux scénarios de la périphérie nord-ouest de la région de Québec. Ces derniers devront toutefois subir une compétition de développements alternatifs à Lévis (tête des ponts) et à Neuville tant au plan économique qu'au point de vue de la performance environnementale.

Les recommandations qui suivent sont en lien direct avec les résultats de cette étude, tant en ce qui concerne les paramètres du SEM (coefficients d'effet direct sur les émissions de GES et l'effort des ménages pour le logement et le transport) que les résultats des simulations. Elles sont formulées de manière à garantir l'obtention des résultats simulés dans une perspective d'optimisation de la contribution au développement durable. Elles doivent être interprétées en complément des politiques d'aménagement du territoire en vigueur actuellement sur le territoire de l'Agglomération de Québec sans s'y substituer, car ces dernières visent déjà des objectifs de développement durable. Elles sont donc basées sur l'analyse fine des coefficients du SEM et sur plusieurs études antérieures réalisées pour la région de Québec.

Il s'agit : 1) de **privilégier les développements les plus centraux de densité moyenne** à proximité de secteurs offrant déjà une bonne mixité fonctionnelle afin de maximiser les bénéfices d'accessibilité aux pôles d'emploi et aux services de proximité tout en offrant des coûts de logement et de transport abordables et répondant aux aspirations des jeunes familles ; 2) de favoriser le déploiement d'**offres de transport diversifiées** dans et au voisinage des nouveaux ensembles résidentiels ; 3) de développer et déployer des outils de communication afin d'informer et de **sensibiliser les décideurs privés et les ménages aux impacts budgétaires, économiques et sociétaux** des choix combinés de localisation résidentielle et de mobilité en termes de coûts directs, indirects et d'impacts environnementaux.

Recommandation n° 1 — densité, mixité, centralité, accessibilité

Toutes les analyses et simulations indiquent que la hausse des densités résidentielles, la mixité fonctionnelle dans le voisinage immédiat (moins de 1 km) et la proximité des aménités urbaines réduisent fortement les émissions de GES, tout en amenuisant le taux d'effort budgétaire global des ménages pour se loger et se déplacer. Ces paramètres

paraissent fondamentaux pour la sélection des futurs développements afin de contrer l'étalement urbain et ses effets néfastes tant en termes de coûts indirects pour la communauté qu'en impacts environnementaux (GES, pollution, nuisances, congestion, etc.).

Les coefficients du SEM (Annexe 2, Tableau 2.2) indiquent clairement l'effet significatif de la densité résidentielle (par exemple, pour 40 logements/hectare) sur la réduction des émissions de GES (-292 kg/année/ménage), la baisse du taux d'effort pour le transport (-1,3 %) et le transfert modal de l'automobile conducteur (-1,8 %) vers la marche (+1 %), ce qui compense en partie l'effort accru pour le logement (+3,5 %). Toutefois, les secteurs denses étant également mieux pourvus en services de proximité, on doit ajouter l'effet de la mixité fonctionnelle qui favorise le transfert modal de l'automobile (-1 %) vers la marche (+2 %) et de l'accessibilité aux services régionaux qui réduit les émissions de GES, tous moyens de transport confondus.

Les simulations réalisées tiennent pour acquis que les nouveaux développements seront semblables aux quartiers actuels de densité comparable dans la région métropolitaine de Québec. Toutes choses étant égales par ailleurs, les pratiques urbanistiques prévues dans le PDAD de la Ville de Québec étant plus axées sur le développement durable que celles qui avaient cours lors des développements précédents, on peut prévoir un impact légèrement plus positif que ce que nos simulations révèlent en termes de promotion des transports actifs et de réduction des émissions de GES, notamment si l'on optimise le design des infrastructures urbaines (rues, trottoirs, carrefours, pistes cyclables, places publiques) ainsi que le mobilier urbain de façon à promouvoir les transports actifs et la sécurité des piétons. La première recommandation consiste à ***privilégier les développements centraux de densité moyenne à forte, y compris dans les ensembles de résidences unifamiliales, localisés le plus près possible des pôles d'emploi et d'activité afin de réduire les nuisances liées au transport sur de longues distances.***

L'objectif consiste à maximiser l'accessibilité aux aménités urbaines régionales et de voisinage avec un bon équilibre entre les mobilités active et motorisée. En raison de leur localisation éloignée, les scénarios de périphérie sont incapables d'atteindre de tels objectifs, et ce, bien qu'ils offrent une économie sur les coûts de logement (liée à la baisse de la rente foncière) qui est compensée par une hausse quasi équivalente des frais de transport (liée à un accroissement de la motorisation et des distances parcourues). Au plan sociétal, il conviendrait d'ajouter les coûts indirects (infrastructures, congestion, etc.) qui ne sont pas pris en compte dans cette étude. En conséquence, les scénarios de développement à privilégier sont (voir le Tableau 16) : 1) ***Bourg-Royal unifamiliales*** qui surclasse les scénarios du secteur est sur tous les critères; et 2) ***Saint-Augustin unifamiliales*** ex aequo avec le scénario ***Saint-Augustin bassin d'emplois*** qui sont plus

performants que les autres scénarios de la périphérie ouest et nord en termes d'impact environnemental.

Recommandation n° 2 — diversité des offres de transport

Dans les secteurs de moyenne et haute densité, on peut réduire la motorisation individuelle et la part modale de l'automobile grâce à des offres alternatives de transport, ce qui contribue fortement à la réduction des émissions de GES tout en favorisant une baisse des coûts afférents à l'usage de l'automobile individuelle sur de fortes distances. Le SEM (Annexe 2, Tableau 2.2) démontre que l'éloignement par rapport à l'axe central de l'agglomération (colline parlementaire-centre de Sainte-Foy) correspond à une hausse des émissions de GES annuelles de 68,6 kg/ménage/km (soit plus de 2 tonnes de GES additionnel par ménage/année à 30 km du centre) et une hausse du taux d'effort pour le transport de 3 % pour payer l'essence nécessaire. Toutes choses étant égales par ailleurs, le taux d'effort moyen pour le transport est de 25,3 % (22,3 % l'origine de la régression TRANSPORT + 3 % à 30 km) du revenu disponible pour les ménages qui résident à 30 km du centre, ce qui implique une dépense annuelle moyenne de 22 700 \$ pour un ménage qui dispose d'un revenu annuel disponible de 90 000 \$, et un coût en essence de 2 700 \$. Ces valeurs moyennes varient en fonction des autres paramètres comme le cycle de vie, la motorisation, etc. Néanmoins, les coefficients du système endogène (Tableau 2.2) montrent clairement que ce n'est pas la simple motorisation qui fait augmenter les émissions de GES (-1,277 tonne/année/ménage par automobile/conducteur), mais l'utilisation de la voiture comme conducteur (+2 226 tonnes/année/ménage pour chaque conducteur) et le taux d'effort pour le transport (+0,831 tonne/année/par ménage à 30 km du centre), ce qui reflète l'impact de l'étalement urbain sur les émissions.

La proximité est donc avantageuse, mais n'est pas suffisante si la seule offre de transport efficace demeure l'automobile individuelle. Le SEM mesure l'effet de l'offre de transport en commun, soit une réduction moyenne d'émission d'environ 300 kg/année/ménage pour tous les logements situés à moins de 500 mètres d'un arrêt du Métrobus et environ 150 kg/année/ménage pour la proximité d'un service express au lieu de domicile qui réussit également à faire baisser l'effort des ménages pour le transport. Ces valeurs peuvent sembler faibles, mais il faut noter qu'elles portent sur tous les ménages de la région qui ont accès au service, indépendamment de leur utilisation effective. Ainsi, si la part modale du Métrobus dans un quartier est à 10 % et que les émissions quotidiennes moyennes sont de 10 kg/jour/ménage, cela signifie une réduction de 3 tonnes/année/par ménage utilisateur sur une moyenne locale de 3,65 tonnes/année/ménage. Le coefficient positif pour la proximité d'une desserte d'autobus régulier indique que ce niveau de service ne semble pas suffisamment attractif ou structurant pour faire diminuer les émissions et que la majorité des habitants des quartiers concernés utilisent peu cette

alternative — ce qui confirme les conclusions d'études antérieures sur Québec ; ils préfèrent la voiture.

Mais le transport en commun n'est qu'un des moyens qui peut être mis en œuvre pour concurrencer l'automobile individuelle. Le covoiturage, le taxi et l'autopartage constituent des compléments ou alternatives importantes puisqu'elles offrent un degré de flexibilité comparable à la voiture individuelle (sous contrainte de disponibilité) et favorisent l'adoption de comportements de mobilité nettement plus diversifiés (adaptés aux circonstances) chez leurs adeptes quand on les compare aux propriétaires d'automobiles. La littérature scientifique est très explicite à ce propos suite à de nombreuses études réalisées dans les villes occidentales, et la région de Québec ne fait pas exception.

La seconde recommandation consiste à ***favoriser le déploiement d'offres de transport alternatives diversifiées dans les (et au voisinage des) nouveaux ensembles résidentiels***. Les moyens d'action pour y parvenir sont nombreux. En plus d'une éventuelle adaptation progressive de l'offre de transport en commun à mesure que les nouveaux développements sont réalisés, on peut penser à des initiatives qui relèvent du secteur privé comme le développement de coopératives de covoiturage, de taxi et le déploiement de l'autopartage ainsi que de flottes de taxis électriques autonomes qui sont déjà réalité (par exemple, à Singapour et bientôt à Pittsburgh). Ces initiatives peuvent être envisagées à moyen terme dans la foulée des transformations actuelles de l'industrie du taxi et de son cadre réglementaire. Par exemple, bien que le SEM n'intègre pas de variable pour capter l'effet de l'autopartage à Québec en 2006 (plus de 2000 ménages utilisateurs à cette époque), les réductions d'émissions de GES attribuables à leurs comportements de mobilité plus variés sont prises en compte et vraisemblablement attribuées à la densité résidentielle puisque ce type de service est offert en milieu dense. Nos simulations tiennent donc implicitement pour acquis que les milieux plus denses disposent de ce type d'offre alternative à l'automobile individuelle et c'est ce qui explique en partie la baisse de motorisation qui les caractérise.

Le projet de Bourg-Royal et une partie du projet de Saint-Augustin atteignent et dépassent le seuil de 40 logements à l'hectare (densité résidentielle nette) requis pour accueillir un service d'autopartage. Ce seuil a été déterminé pour Québec par Coll et al. (2014). En plus de réduire la pression pour posséder une voiture individuelle, l'autopartage et le covoiturage favorisent l'adoption de comportements de mobilité diversifiés (entre les modes actifs, collectifs et individuels), réduisent les besoins en stationnement et offrent une excellente opportunité de remplacer des véhicules à essence par des véhicules hybrides et électriques à coût réduit (car il sont mutualisés) et avec grande efficacité, car l'usage est partagé et les véhicules sont stationnés moins longtemps, ce qui permet de réduire fortement les autres nuisances environnementales. Les statistiques actuelles montrent que les jeunes adultes retardent l'achat de leur première voiture. La disponibilité

d'un service d'autopartage efficace est susceptible de les attirer vers des ensembles résidentiels de plus forte densité et de convaincre certaines familles d'adopter une stratégie de transport plus économique et écologique.

Toutes les études ont montré que la présence d'un système de transport collectif efficace constitue un préalable essentiel à l'opération d'un service de covoiturage ou d'autopartage, car ces modalités de déplacement agissent en complément des transports actifs et collectifs, sans s'y substituer. ***Pour faire valoir les avantages écologiques d'un développement central, il importe de consolider son potentiel de transformation des choix de mobilité et de permettre aux ménages qui le désirent de réduire leur taux d'effort pour le transport.*** Il s'agit d'une condition importante pour attirer des jeunes familles dans le secteur Bourg-Royal. Une telle stratégie aura trois effets : (1) créer une forte synergie entre les modes alternatifs à la possession d'une voiture et/ou offrir une option efficace pour différer l'achat ou le remplacement d'une seconde voiture chez les familles motorisées ; (2) dans une perspective d'équité, consolider les bénéfices sociétaux du développement de résidences unifamiliales près du centre en permettant aux familles moins nanties d'accéder plus facilement à la propriété de leur logement sous réserve d'adapter leur stratégie de transport afin de réduire leur taux d'effort global ; (3) de consolider la valeur des propriétés foncières à proximité des couloirs de transport en commun efficace grâce aux externalités positives que ce type d'implantation génère. Une étude de Dubé et al. (2011) a mesuré des appréciations significatives de valeurs des résidences unifamiliales à proximité des deux premiers couloirs du Métrobus à Québec, ce qui vient supporter le dernier avantage mentionné.

Recommandation n° 3 — information et sensibilisation

Les comparaisons économiques et budgétaires que nous avons utilisées dans ce rapport viennent d'une prise en compte simultanée des frais de logement et de transport. La plupart des ménages qui planifient l'accession à la propriété négligent une partie importante des impacts négatifs de certaines options pour se concentrer sur le prix d'acquisition et les mensualités de remboursement de l'hypothèque. Plus curieusement, les institutions financières accentuent ce biais d'évaluation en utilisant des grilles de critères qui prennent en compte le logement et le transport comme s'ils s'agissaient de réalités séparées (ou comme si les sommes provenaient de deux budgets indépendants). C'est peut-être vrai à très court terme, mais certainement faux à long terme. Comme il s'agit d'un verrou important, nous formulons deux recommandations complémentaires portant sur l'information et la sensibilisation.

La première consiste à ***élaborer des moyens de communication pour informer le grand public des enjeux budgétaires et environnementaux des choix résidentiels en lien avec la mobilité quotidienne*** induite. À cet effet, on peut penser à une collaboration d'organismes publics (municipalités, ministères, scientifiques) et privés

(organismes communautaires et institutions financières) pour élaborer des outils de communication et de vulgarisation des connaissances développées. Ces outils peuvent prendre différentes formes : capsules d'information diffusées sur le Web, volume effectuant la synthèse des faits connus, site Web d'accompagnement des choix résidentiels, formation pour le personnel des institutions financières et de courtage immobilier, etc.

La seconde consiste à entreprendre **des discussions avec les institutions financières et autres intervenants du milieu économique pour les sensibiliser à la problématique des choix imbriqués concernant le logement et le transport et des coûts indirects associés**. Aux États-Unis, certaines institutions accordent des réductions de taux hypothécaires aux ménages qui se localisent dans des projets « verts ». Un dialogue constructif qui met en relation les problématiques liées à l'étalement urbain, à la réduction des émissions de GES et à l'optimisation des décisions budgétaires de leurs clients les amènerait éventuellement à revoir certains des critères qui servent à établir la solvabilité des demandeurs de prêts.

Afin d'éviter un endettement excessif des ménages et la surchauffe sur certains marchés immobiliers en Ontario et dans les provinces de l'ouest, la SCHL a récemment durci les critères d'obtention des prêts hypothécaires (mise de fonds accrue, période d'amortissement réduite). C'est prudent, mais il faudrait également aborder la question avec un point de vue plus large et tenir compte des effets budgétaires des choix de localisation résidentielle afin de bonifier la cote des projets d'acquisition qui minorent les frais de transport puisqu'ils réduisent le risque financier en libérant de la marge budgétaire. C'est évidemment une question qui déborde des attributions usuelles de juridiction des municipalités, mais leur contribution à la réflexion est d'autant plus importante qu'elles vont finalement assumer une partie des coûts indirects de l'étalement urbain.

9. Conclusion

9.1. Rappel du contexte, des objectifs et du mandat de l'étude

Les plus récentes projections réalisées par l'Institut de la statistique du Québec (ISQ) et dans le cadre de l'*Étude de faisabilité du Tramway/SRB de Québec et de Lévis* prévoient une augmentation de la population entre 3 et 14 % et des ménages entre 5 et 15 % pour la période 2016-2036. Pour les besoins de planification de l'agglomération de Québec, la Ville de Québec prévoit une augmentation de la population de plus de 57 000 personnes (9,8 %) et un accroissement de 28 200 ménages (10,3 %) entre 2016 et 2036.

Il s'agit d'une croissance que le périmètre d'urbanisation actuel serait partiellement incapable de soutenir, ce qui implique d'examiner et de comparer des scénarios d'aménagement urbain qui, en vertu des politiques de la Ville de Québec et des gouvernements supérieurs, doivent répondre à des objectifs de développement durable (et d'équité), tant en termes socioéconomiques qu'environnementaux.

La demande résidentielle se partage entre, d'une part, les maisons unifamiliales (bungalows, cottages, jumelées et maisons en rangée) et les duplex et, d'autre part, les logements collectifs (locatifs et en copropriété). La répartition entre les deux types de logements évolue selon le cycle de vie des ménages. Chez les ménages appartenant aux groupes d'âge des moins de 25 ans et des 25-34 ans, les logements collectifs dominent largement alors que c'est l'inverse pour les ménages dont l'âge du soutien se situe entre 35 et 74 ans, la part relative des maisons unifamiliales et des duplex culminant à 62 % de la demande totale chez les 45-54 ans. La situation s'inverse par la suite, les logements collectifs redevenant majoritaires chez les 75 ans et plus.

En transposant ces tendances au niveau des prévisions de ménages selon la méthode du taux de soutien par groupe d'âge, on obtient une répartition de la demande résidentielle par type de logement et par période quinquennale. Sur l'horizon de prévision 2016-2036, le nombre d'unités requises pour satisfaire la croissance de la demande résidentielle dans l'agglomération (28 200) se partagera entre les unifamiliales et duplex et les logements collectifs selon des proportions respectives de 36 % (10 142) et 64 % (18 025). Selon le Projet de Schéma d'aménagement et de développement révisé (PSADR) de l'agglomération de Québec, il n'est pas possible, dans les limites actuelles du périmètre d'urbanisation, d'accueillir l'ensemble de la demande pour des maisons unifamiliales isolées, jumelées et en rangée et des duplex. Le PSADR prévoit donc des agrandissements du périmètre d'urbanisation des villes de Québec et de Saint-Augustin-de-Desmaures, notamment en zone agricole.

Compte tenu de la structure de la demande potentielle en matière de logement pour les vingt prochaines années, et en considérant l'ensemble des critères retenus pour l'établissement des scénarios (localisation des développements projetés, densité

d'occupation du sol, offre de transport collectif et profil des clientèles) ainsi que leurs impacts économiques et environnementaux, quelles sont les localisations optimales des ménages pour favoriser le développement durable et réduire les émissions de GES ?

Cette étude utilise un modèle statistique développé par les consultants dans un cadre de recherche et vise à comparer des scénarios de développement résidentiel sur le territoire de l'Agglomération de Québec avec des scénarios de croissance en dehors des limites de cette dernière. Dans une perspective de développement durable, ces comparaisons de scénarios intègrent simultanément les efforts budgétaires des ménages pour le logement et le transport, leurs besoins en motorisation, l'effet des formes urbaines induites par les types et la localisation des ensembles résidentiels sur la répartition des parts modales de transport, leur potentiel d'usage des transports collectifs et les prévisions d'émissions de gaz à effet de serre (GES) engendrées par leurs déplacements dans la région métropolitaine de Québec. Les scénarios sont comparés en regard de cibles de viabilité économique et environnementale tout en respectant des critères d'équité et d'efficience.

Calibré pour la région métropolitaine de Québec, le modèle d'interdépendance intègre plusieurs bases de données publiques et repose sur une analyse détaillée des déplacements effectués par la population. Il permet de considérer simultanément tous les paramètres énoncés plus haut, en plus des profils socioéconomiques (âge, revenu, instruction, taille de famille, statut de propriété) des habitants d'un quartier, dans le but d'évaluer (i) d'une part, la faisabilité économique des options de développement en regard des clientèles ciblées et (ii) d'autre part, les impacts de la localisation et de la conception des développements sur la motorisation des ménages, sur leurs types de mobilité et sur les émissions de GES qui en découlent.

Le mandat de l'étude consiste à adapter le modèle d'équations structurelles (SEM) développé par les consultants afin d'effectuer des simulations et de comparer des scénarios de développement résidentiel sur le territoire de la Ville de Québec et en périphérie de ses limites, en termes d'impact économique pour les ménages, de motorisation et d'émissions de gaz à effets de serre (GES) liés au transport des personnes (ensemble de la mobilité quotidienne), et ce en tenant compte des choix de mode de transport et des émissions de GES liées à la combinaison mode-itinéraire-nombre de passagers.

Les scénarios ont été établis en collaboration avec les responsables du projet sur la base de paramètres de localisation des développements projetés, de forme urbaine (densité d'occupation du sol), d'offre de transport collectif et de profil de clientèle visée.

9.2. Moyens utilisés

La procédure d'évaluation de la durabilité des développements résidentiels utilisée ici combine trois types d'éléments : (1) des données mesurées spécifiques de la région de Québec ; (2) des modèles et des simulations visant à établir les relations systémiques entre les faits mesurés et à estimer les effets socioéconomiques et les impacts environnementaux ; et (3) des spécifications de scénarios de développement résidentiel, de facteurs macro-économiques qui affectent le coût prévisible du logement et des transports, ainsi que des critères de viabilité économique et de durabilité visant à comparer et à classer les scénarios.

Chaque agglomération urbaine est unique et, considérant la complexité des interactions systémiques, il serait très risqué de transposer, sans poser de diagnostic précis, des recettes ou préconisations élaborées dans une autre région, car les contextes physiques, historiques, économiques, sociaux, culturels et politiques ont une influence marquante sur l'évolution des villes. C'est ce qui nous a incités à modéliser le fonctionnement de la région avec des relations statistiques formelles établies à une échelle spatiale locale.

La modélisation utilise une approche par équations structurales (*Structural Equation Modeling*, SEM) qui permet d'effectuer les liaisons fonctionnelles entre les quatre dimensions du développement durable (environnement, économie, société et équité) et d'identifier les relations significatives entre les variables endogènes et exogènes du système urbain, de calculer des coefficients applicables au territoire de la région métropolitaine de Québec et de comparer les effets prévisibles des divers scénarios de développement en fonction de la localisation et des types de développement urbain.

Les émissions de GES engendrées par le transport des personnes résultent des choix de court, moyen et long terme en logement et en transport des ménages afin d'atteindre leurs objectifs (qualité de vie, satisfaction, etc.) compte tenu des contraintes physiques, familiales et économiques auxquelles ils doivent s'ajuster. Pour la plupart des ménages, la principale contrainte provient de leur revenu disponible qui conditionne leur capacité à payer pour le logement et le transport. La forme urbaine et la localisation sont des éléments cruciaux. Néanmoins, les choix de logement et de transport sont intimement liés et doivent être pris en compte simultanément, ce qui fait qu'on ne peut pas évaluer les impacts environnementaux d'un développement résidentiel sans considérer ses relations avec la dimension transport.

Le SEM a ensuite été intégré dans une procédure de simulation qui a permis d'évaluer les résultats des divers scénarios avec une approche probabiliste (par randomisation) permettant de distinguer les options qui surclassent significativement les autres (nettement supérieures) et lorsqu'elles sont comparables, de les classer en ordre de

performance et de pertinence pour atteindre des objectifs de durabilité. Le simulateur permet de comparer les scénarios en tenant compte de la variabilité des conditions macro-économiques et locales susceptibles d'influencer la viabilité et la pertinence des développements, d'une part dans les zones visées par l'Agglomération de Québec dans son 1^{er} PSADR ; d'autre part, dans des périmètres déjà identifiés dans les documents de planification des MRC environnantes.

La spécification des scénarios est réalisée indépendamment pour les secteurs est (Bourg-Royal) et ouest (Saint-Augustin) en considérant une possible variation des profils de clientèles visées (revenu, cycle de vie, etc.), des comportements locaux de motorisation et de mobilité, de l'accessibilité aux aménités urbaines, des conditions macro-économiques et de tout autre facteur ayant une influence reconnue sur les coûts de logement et de transport. Afin de permettre une interprétation statistique des performances potentielles, les scénarios ont été simulés 5000 fois à une échelle très locale (rayon de 250 mètres) à l'intérieur des périmètres d'urbanisation et en fonction de contraintes de densité résidentielle, de coûts, d'effort budgétaire et de localisation. À chaque étape, les émissions de GES résultantes ont été évaluées grâce aux SEM, ce qui permet de classer les scénarios et de déterminer la signification statistique des différences obtenues.

9.3. Résultats et comparaison des scénarios

Les résultats détaillés des analyses et des simulations sont présentés et interprétés dans le rapport et ses annexes. Plusieurs tableaux et figures présentent les différences entre les scénarios ainsi que les marges de confiance statistique permettant d'en interpréter la signification. *In fine*, dans une perspective de développement durable, trois grilles de critères sont utilisées pour comparer les scénarios : (1) économiques ; (2) sociologiques ; et (3) environnementaux. L'analyse combine les points de vue des ménages (effort budgétaire) et de réduction des impacts environnementaux.

En vertu des critères *économiques*, le scénario de Bourg-Royal (*Secteur Est*) domine totalement les scénarios alternatifs en termes de réduction des coûts de transport et de la motorisation. Certains scénarios alternatifs affichent des coûts de logement inférieurs au développement d'unifamiliales à Bourg-Royal, mais les économies réalisées à ce chapitre sont largement compensées par le supplément de coûts de transport, ce qui confère un avantage économique très significatif au scénario de Bourg-Royal.

La différence entre les scénarios est moins nette dans le *Secteur Ouest*. Bien que moins compétitif que les alternatives pour les coûts logement, le scénario d'unifamiliales de Saint-Augustin affiche une meilleure performance que les autres pour les coûts de transport, sauf en ce qui concerne le scénario du bassin d'emploi (zones périphériques

caractérisées par les mêmes patterns de déplacement domicile-travail que Saint-Augustin) où la combinaison de développements sur la Rive Sud (Lévis – tête des ponts) et à Neuville s'avère aussi avantageuse.

En conclusion, le scénario de Saint-Augustin surclasse certains scénarios alternatifs de l'ouest, parce que les économies de transport compensent les surcoûts de logement et que le taux de motorisation y est inférieur. La principale exception concerne le scénario du bassin d'emplois qui est plus performant en termes de coûts du logement et réussit à réduire la motorisation. Il faut donc prévoir une forte compétition entre les territoires concernés : Lévis et Neuville versus Saint-Augustin.

Suite à la prise en compte des critères *sociologiques* (c.-à-d. le taux d'effort des ménages pour le logement et le transport, ainsi que la part modale des déplacements piétonniers), tous les scénarios sont équivalents en termes de transport actif. Dans le *Secteur Est*, les économies en transport du scénario de Bourg-Royal unifamiliales arrivent à compenser largement les économies de logement des scénarios alternatifs de périphérie, laissant même un léger avantage en faveur de l'Agglomération.

Les constats sont plus nuancés dans le *Secteur Ouest*. Le scénario du bassin d'emploi est équivalent au développement d'unifamiliales à Saint-Augustin. La même conclusion s'applique à la comparaison avec le scénario Ouest et Sud (qui concerne les municipalités du sud-est de la MRC de Portneuf et certains périmètres d'urbanisation à la tête des ponts à Lévis) et Saint-Augustin, car les avantages respectifs en logement et en transport s'annulent.

L'inclusion des critères *environnementaux* (c.-à-d. les émissions quotidiennes de GES des ménages et les parts modales des déplacements effectués par des conducteurs d'automobile) nous amène à conclure que la réduction des émissions est plus ou moins liée à une baisse des parts modales de l'automobile selon les scénarios, mais que c'est surtout la proximité des aménités urbaines et la baisse des distances associée qui a un impact sur la performance environnementale des développements.

En ce qui concerne les émissions de GES, le scénario de Bourg-Royal surclasse largement toutes les alternatives du *Secteur Est* alors que la situation est moins contrastée dans le *Secteur Ouest*. Deux scénarios alternatifs au développement de Saint-Augustin (situés au nord-ouest) sont largement surclassés alors que les scénarios alternatifs du sud-ouest sont soit légèrement moins avantageux au plan environnemental, soit globalement équivalent (bassin d'emplois).

9.4. Recommandations

Les recommandations sont en lien avec les résultats de cette étude, tant en ce qui concerne les résultats du SEM que des simulations ayant servi à comparer les scénarios. Elles sont formulées dans une perspective d'optimisation du développement durable et doivent être interprétées en complémentarité des politiques d'aménagement du territoire en vigueur sur le territoire de l'Agglomération de Québec sans s'y substituer. Les simulations tiennent pour acquis que les nouveaux développements seront semblables aux quartiers actuels de densité comparable dans la région métropolitaine de Québec et bénéficieront des améliorations liées aux pratiques urbanistiques actuelles de la Ville de Québec.

Recommandation 1 : Dans la mesure où toutes les analyses et simulations indiquent que la hausse des densités résidentielles, la mixité fonctionnelle dans le voisinage immédiat (moins de 1 km) et la proximité des aménités urbaines réduisent fortement les émissions de GES, tout en amenuisant le taux d'effort budgétaire global des ménages pour se loger et se déplacer, nous recommandons de **privilégier les développements centraux de densité moyenne à forte, y compris dans les ensembles de résidences unifamiliales, localisés le plus près possible des pôles d'emploi et d'activité afin de réduire les nuisances liées au transport sur de longues distances**. Dans cette optique, les scénarios de développement à privilégier sont (1) **Bourg-Royal unifamiliales** qui surclasse les scénarios du secteur est sur tous les critères ; et (2) **Saint-Augustin unifamiliales**, ex aequo avec le scénario **Saint-Augustin bassin d'emplois** qui sont plus performants que les autres scénarios de la périphérie ouest et nord en termes d'impact environnemental.

Recommandation 2 : Les réductions d'émissions de GES dans les secteurs à privilégier sont liées non seulement à leur localisation (proximité des aménités) et à des densités résidentielles plus élevées, mais également à des choix de mobilité plus diversifiés et moins dépendants de l'automobile. De plus, dans une perspective d'équité, il importe de créer des conditions favorables à la baisse de motorisation et au report modal dans les nouveaux ensembles résidentiels afin de permettre aux jeunes familles de compenser le surcoût du logement par des économies en transport. La seconde recommandation consiste donc à **favoriser le déploiement d'offres de transport alternatives diversifiées dans les (et au voisinage des) nouveaux ensembles résidentiels**. Les moyens d'action pour y parvenir reposent sur une adaptation progressive de l'offre de transport en commun coordonnée avec des initiatives du secteur privé pour développer le covoiturage, déployer l'accès à l'autopartage (notamment avec des véhicules électriques) et favoriser les initiatives de modernisation de l'industrie du taxi notamment avec des flottes de taxis électriques autonomes qui sont déjà réalité (par exemple, à Singapour et bientôt à Pittsburgh). La mise en œuvre d'environnements résidentiels

favorisant les déplacements actifs constitue un autre moyen d'action qui est déjà préconisé dans les instruments de planification actuels.

Recommandation 3 : Les comparaisons économiques et budgétaires que nous avons utilisées dans ce rapport découlent d'une prise en compte simultanée des frais de logement et de transport, considérés à tort tant par les ménages que par les institutions prêteuses comme des composantes budgétaires indépendantes. Comme il s'agit d'un verrou important, ce qui conduit à une recommandation en deux volets complémentaires portant sur l'information et la sensibilisation. Le premier volet consiste à **élaborer des moyens de communication pour informer le grand public des enjeux budgétaires et environnementaux des choix résidentiels en lien avec la mobilité quotidienne** induite. À cet effet, on peut penser à une collaboration d'organismes publics (municipalités, ministères, scientifiques) et privés (organismes communautaires et institutions financières) pour élaborer des outils de communication et de vulgarisation des connaissances développées sur ce sujet. Le second consiste à entreprendre **des discussions avec les institutions financières et autres intervenants du milieu économique pour les sensibiliser à la problématique des choix imbriqués concernant le logement et le transport et des coûts indirects associés.**

Par ce rapport, nous espérons apporter quelques éléments factuels pertinents pour éclairer un débat qui suppose une conciliation équilibrée des enjeux sociétaux, économiques et environnementaux pour prendre des décisions stratégiques en aménagement du territoire, et ce dans une perspective globale et de long terme. Nul doute que ce débat déborde la perspective de ce rapport qui, tout en reposant sur des postulats explicites, a tenté de demeurer le plus neutre possible en regard de divers courants idéologiques, avec le parti pris d'une approche pragmatique dans un contexte où la décision est essentiellement politique.

Références

- Barla, P., N. Boucher et P. Desrosiers, 2008. *Caractérisation du parc de véhicules légers immatriculés au Québec en 2004 et 2005 en termes d'efficacité énergétique et d'émissions de gaz à effet de serre*. Ministère des transports et Agence de l'efficacité énergétique du Québec.
- Coll, M.-H., M.-H. Vandersmissen et M. Thériault, 2014. Modelling spatio-temporal diffusion of carsharing membership in Québec City. *Journal of Transport Geography*, 38: 22-37.
- Des Rosiers, F., M. Thériault, P.Y. Villeneuve et Y. Kestens, 2002. Landscaping and House Values: An Empirical Investigation. *Journal of Real Estate Research*, 23 (1-2) : 139-161.
- Des Rosiers, F., M. Thériault, Y. Kestens et P.Y. Villeneuve, 2007. Landscaping attributes and property buyers' profiles: Their joint effect on house prices. *Housing Studies*, 22(6): 945-964.
- Des Rosiers, F., M. Thériault, M. Voisin et J. Dubé, 2010. Does overall quality of an urban bus service capitalized into house values? *International Journal of Sustainable Transportation*, 4(6) :321-346.
- Des Rosiers, F., J. Dubé et M. Thériault, 2011. Do peer effects shape residential values? *Journal of Property Investment and Finance*, 29(4/5): 510-528.
- Des Rosiers, F., M. Thériault, G. Biba et M.-H. Vandersmissen, 2015. *Greenhouse Gas Emissions: Modelling the Impact of Urban Form, Household's Socio-Economic Status and Housing-Transportation Burden. Research Strategy and Data Preparation*. Québec : Université Laval, Faculté des Sciences de l'Administration, Document de travail 2015-004.
- Des Rosiers, F., M. Thériault, G. Biba et M.-H. Vandersmissen, 2016. Greenhouse Gas Emissions and Urban Form: Linking Households' Socio-economic Status with Housing and Commuting Choices. *Environment and Planning B: Planning and Design*, sous presse, disponible en ligne.
- Dubé J., F. Des Rosiers, M. Thériault et P. Dib, 2011. Economic Impact of a Supply Change in Mass Transit in Urban Areas: A Canadian Example. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(1): 46-62.
- Gagnon, L. et P.O. Pineau, 2013. *Les coûts réels de l'automobile, un enjeu mal perçu par les consommateurs et les institutions*. Montréal : École des Hautes Études Commerciales, GRIDD.

- Hoyle, R.H. 2012. *Handbook of Structural Equation Modeling*. New York: The Guilford Press, 740 p.
- Québec International, 2016. *Bilan et perspectives, Région métropolitaine de Québec 2015-2016*. Québec, 28 pages.
- Tecsult, Inc., 2008. *Inventaire global des émissions de gaz à effet de serre de l'agglomération de Québec*. Québec : Ville de Québec.
- Thériault M., F. Des Rosiers, G. Biba et C. Lavoie, 2004. *Le commerce de détail sur le territoire de la Communauté Métropolitaine de Québec*. CRAD, Rapport d'une étude réalisée pour la Communauté Métropolitaine de Québec, 165 pages.
- Thériault, M., F. Des Rosiers et F. Joerin, 2005. Modelling accessibility to urban services using fuzzy logic: A comparative analysis of two methods. *Journal of Property Investment and Finance*, 23(1) : 22-54.
- Thériault, M., M. Voisin et F. Des Rosiers, 2008. L'accessibilité aux services urbains : modélisation des différences socio-spatiales et mesure des impacts sur les valeurs résidentielles. In M. Thériault et F. Des Rosiers (dir.) *Information géographique et dynamiques urbaines*, volume 2. Paris : Hermès, pp. 119-151.

Annexe 1

Facteurs d'influence et procédures de randomisation des simulations

Cette annexe présente la liste des valeurs et variables utilisées dans les modèles et simulations réalisées pour cette étude ; elle spécifie leur mesure, explique leur provenance et détaille, le cas échéant, les modalités de randomisation utilisées lors des simulations. Tout l'appareil d'évaluation est basé sur des données exprimées à l'échelle des cellules hexagonales, certaines étant mesurées (par exemple, enquêtes OD, recensement, etc.), d'autres étant obtenues par évaluation à partir d'autres données mesurées ou de constantes macro-économiques. Par exemple, les émissions de GES ont été estimées à partir d'une combinaison de faits rapportés par l'enquête OD de 2006 (mode de transport, lieu d'origine, lieu de destination), de simulations effectuées sur le réseau routier régional (longueur du trajet, durée du trajet, vitesse – sur la route en ville – qui ont abouti à un calcul de la quantité d'essence ou de mazout consommé en tenant compte de la charge – nombre de passagers – et du type de véhicules). Ces valeurs ont ensuite été redressées avec les facteurs d'expansion (par déplacement) de l'enquête et utilisées pour calculer les émissions quotidiennes moyennes des ménages habitant ce territoire avec un ajustement éventuel pour les cellules où le nombre de répondants était trop faible pour obtenir une estimation fiable. Ce sont ces estimations qui ont ensuite été utilisées pour ajuster le SEM produisant les coefficients (voir Annexe 2) régionaux (ensemble de la région de Québec) utilisés durant les simulations.

Le tableau 1.1 présente la source et le traitement des données utilisées pour évaluer les composantes de la mobilité des individus sur le territoire ainsi que les coûts de transport associés, incluant les émissions de GES. Le tableau 1.2 présente la source et le traitement des données utilisées pour caractériser la forme urbaine. Le tableau 1.3 présente les caractéristiques socio-économiques des ménages résidents ainsi que leurs taux d'effort pour le logement et le transport. Le tableau 1.4 présente la liste et la source des constantes macro-économiques requises pour caractériser certains facteurs exogènes du système métropolitain de Québec. Le tableau 1.5 présente la source des paramètres requis pour évaluer les coûts de logement. Enfin, le tableau 1.6 présente les variables utilisées durant les simulations avec une indication du type et de l'échelle spatiale des randomisations effectuées.

Les données des tableaux 1.1 à 1.3 ont été utilisées pour calibrer le SEM de la région de Québec. Celles des tableaux 1.4 à 1.6 ont servi à réaliser les simulations destinées à comparer les scénarios de développement résidentiel.

Phénomène	Source	Traitement	Référence	Unité de mesure
Durée de déplacement	Origine et destination selon l'enquête OD	Trajet le plus rapide sur le réseau routier	Simulation par l'algorithme de Dijkstra dans TransCAD	Minutes par trajet
Distance de déplacement	Simulation de la durée de déplacement	Donnée dérivée	Des Rosiers et al. (2015)	Kilomètres par trajet
Vitesse de déplacement	Durée et distance de déplacement	Ratio entre la distance et la durée	Ville (< 40 km/h) Route (> 80 km/h) Mixte (40 à 80)	Kilomètres / heure par trajet
Consommation de carburant	Trajets motorisés seulement, selon le type de véhicule	Automobile Autobus urbain Autobus scolaire	Barla et al. (2008) Tecsult (2008) Des Rosiers et al. (2015)	Litres d'essence ou de diésel par trajet basé sur les classes de vitesse
Émissions de GES par trajet et par passager	Trajets motorisés seulement, selon le type de véhicule et le nombre de passagers	Automobile Autobus urbain Autobus scolaire	Barla et al. (2008) Tecsult (2008) Des Rosiers et al. (2015)	Grammes Eg. CO ₂ par trajet par passager
Coût variable du déplacement	Trajets motorisés seulement, selon le type de véhicule et le nombre de passagers	Automobile Essence + entretien Autobus urbain	CAA (site Web) et Barla et al. (2008) 0,16\$ / km RTC 2,70\$ / trajet (tarif moyen)	\$ 2016 par passager par trajet
Coût fixe de l'automobile	Motorisation des ménages selon l'enquête OD	Financement, dépréciation, assurance, permis, immatriculation	CAA (site Web) 23,93\$ / jour	\$ 2016 par ménage par jour
<i>Coût journalier du transport par ménage</i>	Coûts fixe de l'automobile et coût variable du déplacement	Agrégé par ménage selon la motorisation et le nombre de trajets	Calcul du coût moyen pour chaque ménage par cellule de grille	\$ 2016 par ménage par jour
<i>Émissions journalières de GES par ménage</i>	Émissions de GES par trajet et par passager	Agrégé par ménage redressé selon nombre redressé de déplacements motorisés	Calcul des émissions moyennes par ménage par cellule de grille	Kilogrammes Eg. CO ₂ par ménage par jour
<i>Motorisation</i>	Enquête OD – nombre d'automobiles et de conducteurs	Redressement des ménages Agrégation par cellule de grille	Des Rosiers et al. (2015)	Nombre d'automobiles par 100 conducteurs
<i>Part modale des conducteurs</i>	Enquête OD – nombre de déplacements selon le mode	Redressement des déplacements Agrégation par cellule de grille	Des Rosiers et al. (2015)	% de déplacements conducteurs d'automobile
<i>Part modale des piétons</i>	Enquête OD – nombre de déplacements selon le mode	Redressement des déplacements Agrégation par cellule de grille	Des Rosiers et al. (2015)	% de déplacements piétons

Les variables en caractères ***gras italique*** sont compilées par cellule de grille.

Tableau 1.1. Évaluation des composantes de mobilité, des coûts de transport et des émissions

Phénomène	Source	Traitement	Référence	Unité de mesure
Densité résidentielle nette	Rôle d'évaluation foncière	Nombre de logements / superficie résidentielle (CUBF=1000)	CMQ en 2005	Logements / hectare
Diversité de l'utilisation du sol	Rôle d'évaluation foncière	Indice d'entropie (résidences, commerces et services)	CMQ en 2005	Indice [0..1]
Distance à l'axe central	Analyse spatiale dans le SIG	Distance à vol d'oiseau	Axe Colline parlementaire – Coin Boulevard Laurier et route de l'Église	Kilomètres
Situé sur la Rive Sud	Analyse spatiale dans le SIG	Vrai si sur la Rive Sud		(0,1)
Autobus 500 m	Analyse spatiale dans le SIG	Vrai si à moins de 500 mètres d'un arrêt desservi par un autobus	RTC en 2009	(0,1)
Express 500 m	Analyse spatiale dans le SIG	Vrai si à moins de 500 mètres d'un arrêt desservi par un express	RTC en 2009	(0,1)
Métrobus 500 m	Analyse spatiale dans le SIG	Vrai si à moins de 500 mètres d'un arrêt desservi par un métrobus	RTC en 2009	(0,1)
Indicateurs d'accès aux lieux de travail	Déplacements effectifs de l'enquête OD	Automobile Autobus Marche	Thériault et al. (2005)	Indices [0..100]
Indicateurs d'accès aux lieux d'étude	Déplacements effectifs de l'enquête OD	Automobile Autobus Marche	Thériault et al. (2005)	Indices [0..100]
Indicateurs d'accès aux commerces	Déplacements effectifs de l'enquête OD	Automobile Autobus Marche	Thériault et al. (2005)	Indices [0..100]
Indicateurs d'accès aux épiceries	Déplacements effectifs de l'enquête OD	Automobile Autobus Marche	Thériault et al. (2005)	Indices [0..100]
Indicateurs d'accès aux lieux de loisirs	Déplacements effectifs de l'enquête OD	Automobile Autobus Marche	Thériault et al. (2005)	Indices [0..100]
Indicateurs d'accès aux restaurants	Déplacements effectifs de l'enquête OD	Automobile Autobus Marche	Thériault et al. (2005)	Indices [0..100]
Indicateurs d'accès aux soins de santé	Déplacements effectifs de l'enquête OD	Automobile Autobus Marche	Thériault et al. (2005)	Indices [0..100]
Accessibilité en automobile	Indicateurs d'accès de l'automobile	Analyse factorielle confirmatoire	Cette étude	Note en facteur standardisée
Accessibilité en autobus	Indicateurs d'accès de l'autobus	Analyse factorielle confirmatoire	Cette étude	Note en facteur standardisée
Accessibilité à pied	Indicateurs d'accès de la marche	Analyse factorielle confirmatoire	Cette étude	Note en facteur standardisée

Les variables en caractères **gras italique** sont compilées par cellule de grille.

Tableau 1.2. Caractérisation de la forme urbaine

Phénomène	Source	Traitement	Référence	Unité de mesure
Revenu disponible annuel des ménages	Recensement de la population	Revenu après impôt et transferts	Statistique Canada	\$ 2016
Proportion de propriétaires	Recensement de la population	Propriétaires / total des logements occupés	Statistique Canada	Indice [0..1]
Proportion de diplômés universitaires	Recensement de la population	Diplômés universitaires / population 25 ans et plus	Statistique Canada	Indice [0..1]
Proportion de population de 0 à 14 ans	Recensement de la population	Personnes de 0 à 14 ans / population totale	Statistique Canada	Indice [0..1]
Proportion de population de 15 à 24 ans	Recensement de la population	Personnes de 15 à 24 ans / population totale	Statistique Canada	Indice [0..1]
Proportion de population de 25 à 64 ans	Recensement de la population	Personnes de 25 à 64 ans / population totale	Statistique Canada	Indice [0..1]
Proportion de population de 65 ans et plus	Recensement de la population	Personnes de 65 ans et plus / population totale	Statistique Canada	Indice [0..1]
Taille des ménages	Recensement de la population	Nombre moyen de personnes par ménage	Statistique Canada	nombre
Revenu disponible quotidien après coût de transport	Recensement de la population Tableau 1.1	(Revenu disponible annuel / 365) – Coût journalier du transport	Cette étude	\$ 2016
Coût annuel du logement	Recensement de la population	Pondération selon les proportions de locataires et propriétaires	Statistique Canada	\$ 2016
Revenu disponible quotidien après coût de logement	Recensement de la population Tableau 1.3	(Revenu disponible annuel / 365) – (Coût annuel du logement / 365)	Cette étude	\$ 2016
Taux d'effort pour le logement	Recensement de la population	100 (Coût annuel du logement / revenu disponible annuel des ménages)	Cette étude	% du revenu disponible
Taux d'effort pour le logement	Recensement de la population Tableau 1.1	100 (Coût journalier du transport / (revenu disponible annuel des ménages/365))	Cette étude	% du revenu disponible
Taux d'effort global (logement et transport)	Tableau 1.3	Taux d'effort pour le logement + Taux d'effort pour le transport	Cette étude	% du revenu disponible

Les variables en caractères **gras italique** sont compilées par cellule de grille.

Tableau 1.3. Caractérisation des attributs socio-économiques

Phénomène	Source	Bornes	Randomisation	Unité de mesure
Indice de prix à la consommation	Statistique Canada (Cansim v41692870) et Ville de Québec	Constante annuelle valable pour la CMQ	Non applicable	2005=100 2016=119,05
Taux d'intérêt hypothécaire	Sites Web d'institutions financières	2,75 / 3,25 / 4,75	Randomisé par pas de simulation	% par année
Durée de la période d'amortissement	Règles de la SCHL	20 / 23,33 / 25	Randomisé par pas de simulation et groupe de municipalités	Années
Proportion de la mise de fond	Règles de la SCHL	5 / 18 / 35	Randomisé par pas de simulation et groupe de municipalités	% de la valeur de l'immeuble
Coûts annuels de l'énergie (chauffage et électricité)	Hydro Québec	1680 / 2400 / 3240	Randomisé par pas de simulation et groupe de municipalités	\$ 2016
Coûts annuels de l'assurance résidentielle	Sites Web des institutions financières	0,2 / 0,35 / 0,5	Randomisé par pas de simulation et groupe de municipalités	% de la valeur de la propriété
Coûts annuels de l'entretien et autres dépenses	Cette étude	500 / 600 / 700	Randomisé par pas de simulation et groupe de municipalités	\$ 2016
Taux maximal d'effort pour le logement	Cette étude	Contrainte de viabilité économique	Non applicable	Maximum 40 %
Taux maximal d'effort global (logement et transport)	Cette étude	Contrainte de viabilité économique	Non applicable	Maximum 55 %
Ratio maximal d'endettement (Montant total de l'hypothèque / revenu annuel disponible)	Cette étude	Contrainte de viabilité économique	Non applicable	Maximum 4,5

Tableau 1.4. Caractérisation des facteurs macro-économiques et types de randomisation

Phénomène	Source	Bornes	Randomisation	Unité de mesure
Prix de vente des résidences unifamiliales	Ville de Québec et Cette étude	Établies par groupe de municipalités	Randomisé par pas de simulation et groupe de municipalités	\$ 2016
Mise de fond	Tableau 1.4	Prix de vente * proportion de la mise de fond	Randomisé par pas de simulation et groupe de municipalités	\$ 2016
Financement requis	Cette étude	Prix de vente – Mise de fond	Non applicable	\$ 2016
Coût de l'assurance hypothécaire	Règles de calcul de la SCHL	Varie selon la mise de fond et le financement requis	Non applicable	\$ 2016
Montant total de l'hypothèque	Cette étude	Financement requis + Coût de l'assurance hypothécaire	Non applicable	\$ 2016
Coût mensuel de l'hypothèque	Cette étude	Fonction du montant de l'hypothèque, du taux d'intérêt et de la durée d'amortissement	Non applicable	\$ 2016
Taux de taxes municipales et scolaires	Municipalités et Commissions scolaires	Bornes établies selon les groupes de municipalités	Randomisé par pas de simulation et groupe de municipalités	\$ / \$100 d'évaluation
Coût annuel des taxes municipales et scolaires	Cette étude	Fonction du Prix de la résidence et des taux de taxes	Non applicable	\$ 2016
Coût annuel des services municipaux	Municipalités et Commissions scolaires	Bornes établies selon les groupes de municipalités	Randomisé par pas de simulation et groupe de municipalités	\$ 2016
Coût annuel de l'énergie	Tableau 1.4		Randomisé par pas de simulation et groupe de municipalités	\$ 2016
Coût annuel des assurances résidentielles	Tableau 1.4	Fonction du prix de la résidence	Randomisé par pas de simulation et groupe de municipalités	\$ 2016
Coût annuel des autres dépenses résidentielles	Tableau 1.4		Randomisé par pas de simulation et groupe de municipalités	\$ 2016
Coût annuel des dépenses de logement	Cette étude	12 (Coût mensuel de l'hypothèque) + Coût annuel des taxes, services, énergie, assurances et autres dépenses	Non applicable	\$ 2016

Les variables en caractères **gras italique** sont compilées par cellule de grille.

Tableau 1.5. Évaluation des coûts de logement et types de randomisation

Phénomène	Source	Traitement	Randomisation	Unité de mesure
Proportion de population de 0 à 14 ans	Tableau 5	Selon le profil de clientèle du scénario	Randomisé par pas de simulation et cellule de grille	Indice [0..1]
Proportion de population de 15 à 24 ans	Tableau 5	Selon le profil de clientèle du scénario	Randomisé par pas de simulation et cellule de grille	Indice [0..1]
Proportion de population de 65 ans et plus	Tableau 5	Selon le profil de clientèle du scénario	Randomisé par pas de simulation et cellule de grille	Indice [0..1]
Taille des ménages	Tableau 5	Selon le profil de clientèle du scénario	Randomisé par pas de simulation et cellule de grille	Nombre de personnes
Proportion de propriétaires	Tableau 5	Selon le profil de clientèle du scénario	Randomisé par pas de simulation et cellule de grille	Indice [0..1]
Proportion de diplômés universitaires	Tableau 5	Selon le profil de clientèle du scénario	Randomisé par pas de simulation et cellule de grille	Indice [0..1]
Prix des maisons	Tableau 6	Selon le profil de clientèle du scénario	Randomisé par pas de simulation et cellule de grille	\$ 2016
Revenu annuel disponible	Tableau 6	Selon le profil de clientèle du scénario	Randomisé par pas de simulation et cellule de grille	\$ 2016
Coût annuel des dépenses de logement	Tableau 1.5		Voir Tableau 1.5	\$ 2016
Taux de motorisation	Données du Tableau 1.1	Bornes de voisinage par rayon spatial adaptatif	Randomisé par pas de simulation et cellule de grille	Véhicules / 100 conducteurs
Part modale des conducteurs	Données du Tableau 1.1	Bornes de voisinage par rayon spatial adaptatif	Randomisé par pas de simulation et cellule de grille	Indice [0..1]
Part modale des piétons	Données du Tableau 1.1	Bornes de voisinage par rayon spatial adaptatif	Randomisé par pas de simulation et cellule de grille	Indice [0..1]
Accessibilité en automobile	Données du Tableau 1.2	Bornes de voisinage par rayon spatial adaptatif	Randomisé par pas de simulation et cellule de grille	Note en facteur
Accessibilité en autobus	Données du Tableau 1.2	Bornes de voisinage par rayon spatial adaptatif	Randomisé par pas de simulation et cellule de grille	Note en facteur
Accessibilité à pied	Données du Tableau 1.2	Bornes de voisinage par rayon spatial adaptatif	Randomisé par pas de simulation et cellule de grille	Note en facteur
Densité résidentielle nette	Spécification du scénario	Non applicable	Non applicable	Logements / hectare

<i>Diversité de l'utilisation du sol</i>	Données du Tableau 1.2	Bornes de voisinage par rayon spatial adaptatif	Randomisé par pas de simulation et cellule de grille	Indice [0..1]
<i>Distance à l'axe central</i>	Analyse spatiale dans le SIG	Distance à vol d'oiseau	Axe Colline parlementaire – Coin Boulevard Laurier et route de l'Église	Kilomètres
<i>Situé sur la Rive Sud</i>	Analyse spatiale dans le SIG	Vrai si sur la Rive Sud		(0,1)
<i>Autobus 500 m</i>	Analyse spatiale dans le SIG	Vrai si à moins de 500 mètres d'un arrêt desservi par un autobus	RTC en 2009	(0,1)
<i>Express 500 m</i>	Analyse spatiale dans le SIG	Vrai si à moins de 500 mètres d'un arrêt desservi par un express	RTC en 2009	(0,1)
<i>Métrobus 500 m</i>	Analyse spatiale dans le SIG	Vrai si à moins de 500 mètres d'un arrêt desservi par un métrobus	RTC en 2009	(0,1)
<i>Coûts annuels de transport</i>	Données du Tableau 1.1	Bornes de voisinage par rayon spatial adaptatif	Randomisé par pas de simulation et cellule de grille	\$ 2016
<i>Revenu disponible après coûts de transport</i>	Données du Tableau 1.6	Revenu annuel disponible – Coûts annuels de transport	Non applicable	\$ 2016
<i>Revenu disponible après coûts de logement</i>	Données du Tableau 1.6	Revenu annuel disponible – Coûts annuels de logement	Non applicable	\$ 2016
<i>Taux d'effort pour le logement</i>	Données des tableaux 1.5 et 1.6	Coûts annuels des dépenses de logement / Revenu annuel disponible	Non applicable	% du revenu disponible
<i>Taux d'effort pour le transport</i>	Données du Tableau 1.6	Coûts annuels de transport / Revenu annuel disponible	Non applicable	% du revenu disponible

Les variables en caractères ***gras italique*** sont compilées par cellule de grille.

Tableau 1.6. Autres variables utilisées durant les simulations et types de randomisation

Annexe 2

Le SEM de la région de Québec – Aspects techniques

Cette annexe présente les aspects techniques du SEM élaboré pour cette étude. Il comporte 8 équations simultanées impliquant une variable dépendante (les émissions journalières moyennes de GES par ménage dans chaque cellule de grille) et 7 variables endogènes mesurées sur cette même grille. Le tableau 2.1 présente les huit équations simultanées en distinguant les variables endogènes (**en caractères gras**) et exogènes. Le tableau 2.2 présente les coefficients d'effet direct obtenus lors de la solution des équations par la méthode du quasi maximum de vraisemblance (correction de Satorra-Bentler) avec les seuils de signification associés. Ces coefficients mesurent les effets directs des variables explicatives sur chacune des variables dépendantes du système endogène et sont valables pour l'ensemble du territoire de la région métropolitaine de Québec. Enfin, le tableau 2.3 présente les indicateurs d'ajustement du SEM.

Variable dépendante	Prédicteurs
Émissions de GES (GES)	Taux d'effort pour le transport, Taux de motorisation, Part modale des conducteurs, Part modale des piétons, Revenu disponible après coûts de transport Densité résidentielle, Autobus 500 m, Métrobus 500 m, Express 500 m, Distance à l'axe central, Proportion de propriétaires, Taille du ménage, Revenu disponible, Proportion de diplômés universitaires, Population (0 à 14 ans, 15 à 24 ans, 65 ans et plus), Accessibilité (automobile, autobus et marche)
Taux d'effort pour le transport (TRANSPORT)	Taux de motorisation, Taux d'effort pour le logement, Part modale des conducteurs, Part modale des piétons Densité résidentielle, Express 500 m, Distance à l'axe central, Rive Sud, Proportion de propriétaires, Taille du ménage, Revenu disponible, Revenu disponible après coûts de transport, Proportion de diplômés universitaires, Population (0 à 14 ans, 15 à 24 ans, 65 ans et plus), Accessibilité (automobile, autobus et marche)
Taux d'effort pour le logement (LOGEMENT)	Taux de motorisation, Taux d'effort pour le transport, Part modale des piétons, Revenu disponible après coûts de logement Densité résidentielle, Autobus 500 m, Express 500 m, Rive Sud, Revenu disponible, Population (0 à 14 ans et 15 à 24 ans), Accessibilité (automobile, autobus et marche)
Taux de motorisation (MOTORISATION)	Part modale des conducteurs, Part modale des piétons, Revenu disponible après coûts de transport Mixité de l'utilisation du sol, Autobus 500 m, Métrobus 500 m, Express 500 m, Distance à l'axe central, Rive Sud, Taille du ménage, Revenu disponible, Population (0 à 14 ans et 65 ans et plus), Accessibilité (automobile et autobus)
Part modale des conducteurs (CONDUCTEURS)	Taux de motorisation, Taux d'effort pour le logement, Revenu disponible après coûts de transport Densité résidentielle, Mixité de l'utilisation du sol, Autobus 500 m, Métrobus 500 m, Express 500 m, Distance à l'axe central, Rive Sud, Proportion de propriétaires, Taille du ménage, Revenu disponible, Population (15 à 24 ans, et 65 ans et plus), Accessibilité (automobile, autobus, et marche)
Part modale des piétons (PIETONS)	Part modale des conducteurs , Densité résidentielle, Mixité de l'utilisation du sol, Express 500 m, Distance à l'axe central, Rive Sud, Proportion de propriétaires, Taille du ménage, Population (0 à 14 ans, 15 à 24 ans et 65 ans et plus), Accessibilité (automobile, autobus et marche)
Revenu disponible après coûts de logement (RD_LOGEM)	Mixité de l'utilisation du sol, Autobus 500, Express 500, Rive Sud, Proportion de propriétaires, Taille du ménage, Proportion de diplômés universitaires, Population de 0 à 14 ans, 15 à 24 ans, et 65 ans et plus), Accessibilité automobile
Revenu disponible après coûts de transport (RD_TRANS)	Revenu disponible après coûts de logement Proportion de propriétaires, Taille du ménage, Population (0 à 14 ans, 15 à 24 ans et 65 ans et plus), Accessibilité automobile

Toutes les relations sont spécifiées avec des fonctions linéaires.

Tableau 2.1. Spécification fonctionnelle du SEM de la région de Québec

Variable	GES (kg / jour)	TRANSPORT	LOGEMENT	MOTORISATION
TRANSPORT (%)	0,090 **	n.a.	-0,129 ***	
LOGEMENT (%)		-0,120 ***	n.a.	
MOTORISATION (auto/100 cond)	-0,035 ***	0,036 ***	-0,004 n.s.	n.a.
CONDUCTEURS (%)	0,061 ***	-0,019 **		0,384 ***
PIETONS (%)	-0,069 ***	0,015 *	0,053 ***	-0,217 ***
RD_LOGEM (\$ / jour)			-0,453 ***	
RD_TRANS (\$ / jour)	-0,105 ***	-0,160 ***		-1,210 ***
Revenu disponible (\$000 / année)	0,118 ***	0,090 **	0,398 ***	1,198 ***
Densité résidentielle	-0,020 ***	-0,033 ***	0,088 ***	
Mixité de l'utilisation du sol				2,105 ***
Autobus 500 m	0,647 ***		0,405 ***	-1,090 ***
Métrobus 500 m	-0,806 ***			-1,264 ***
Express 500 m	-0,411 ***	-0,796 ***	1,198 ***	1,841 ***
Distance à l'axe central	0,188 ***	0,099 ***		-0,185 ***
Rive Sud		-0,122 n.s.	0,551 ***	2,069 ***
Proportion de propriétaires	0,792 *	-0,107 n.s.		
Taille du ménage	2,362 ***	1,962 ***		-13,602 ***
Proportion de diplômés univ.	4,022 ***	-2,220 ***		
Population 0 à 14 ans	-5,762 ***	1,756 n.s.	-12,759 ***	36,522 ***
Population de 15 à 24 ans	-20,307 ***	7,835 ***	-9,304 ***	
Population de 65 ans et plus	-12,431 ***	-1,103 n.s.		7,444 ***
Accessibilité automobile	-1,242 ***	-0,461 ***	0,816 ***	-1,371 ***
Accessibilité autobus	-0,170 **	-0,328 ***	0,171 *	-0,604 ***
Accessibilité marche	-0,182 *	-0,336 ***	0,624 ***	
Origine	0 (contraint)	22,309 ***	19,362 ***	37,127 ***

Signification n.s. non significatif ; * p<0,05 ; ** p<0,01 ; *** p<0,001

Tableau 2.2.a Coefficients du SEM de la région de Québec (effets directs) – 4 premières équations

Variable	CONDUCTEURS	PIETONS	RD_LOGEM	RD_TRANS
TRANSPORT (%)				-0,680 ***
LOGEMENT (%)	-0,166 ***	-0,055 *	-0,027 n.s.	
MOTORISATION (auto/100 cond)	-0,420 ***			
CONDUCTEURS (%)	n.a.	-0,475 ***		
PIETONS (%)		n.a.		
RD_LOGEM (\$ / jour)			n.a.	0,021 *
RD_TRANS (\$ / jour)	-1,146 ***			n.a.
Revenu disponible (\$000 / année)	1,149 ***		0,961 ***	0,927 ***
Densité résidentielle	-0,045 **	0,024 **		
Mixité de l'utilisation du sol	-0,965 *	1,967 ***	-0,777 *	
Autobus 500 m	-1,994 ***		-0,747 ***	
Métrobus 500 m	-2,295 ***			
Express 500 m	0,791 *	-0,395 *	1,476 ***	
Distance à l'axe central	-0,115 **	-0,055 **		
Rive Sud		0,855 ***	2,823 ***	-0,542 ***
Proportion de propriétaires	6,997 ***	-3,778 ***	-3,730 ***	-2,936 ***
Taille du ménage	-18,900 ***	-2,599 ***	-0,916 ***	-4,401 ***
Proportion de diplômés univ.			-8,578 ***	
Population 0 à 14 ans		9,119 ***	-31,510 ***	1,197 n.s.
Population de 15 à 24 ans	-15,664 **	15,652 ***	26,628 ***	5,378 ***
Population de 65 ans et plus	-5,192 *	4,522 *	12,107 ***	8,129 ***
Accessibilité automobile	0,649 *	-1,218 ***	-0,517 **	0,436 ***
Accessibilité autobus	0,601 *	-0,351 *		
Accessibilité marche	-3,496 ***	1,608 ***		
Origine	98,581 ***	44,941 ***	-13,12 ***	-7,013 ***

Signification n.s. non significatif ; * p<0,05 ; ** p<0,01 ; *** p<0,001

Tableau 2.2.b Coefficients du SEM de la région de Québec (effets directs) – 4 dernières équations

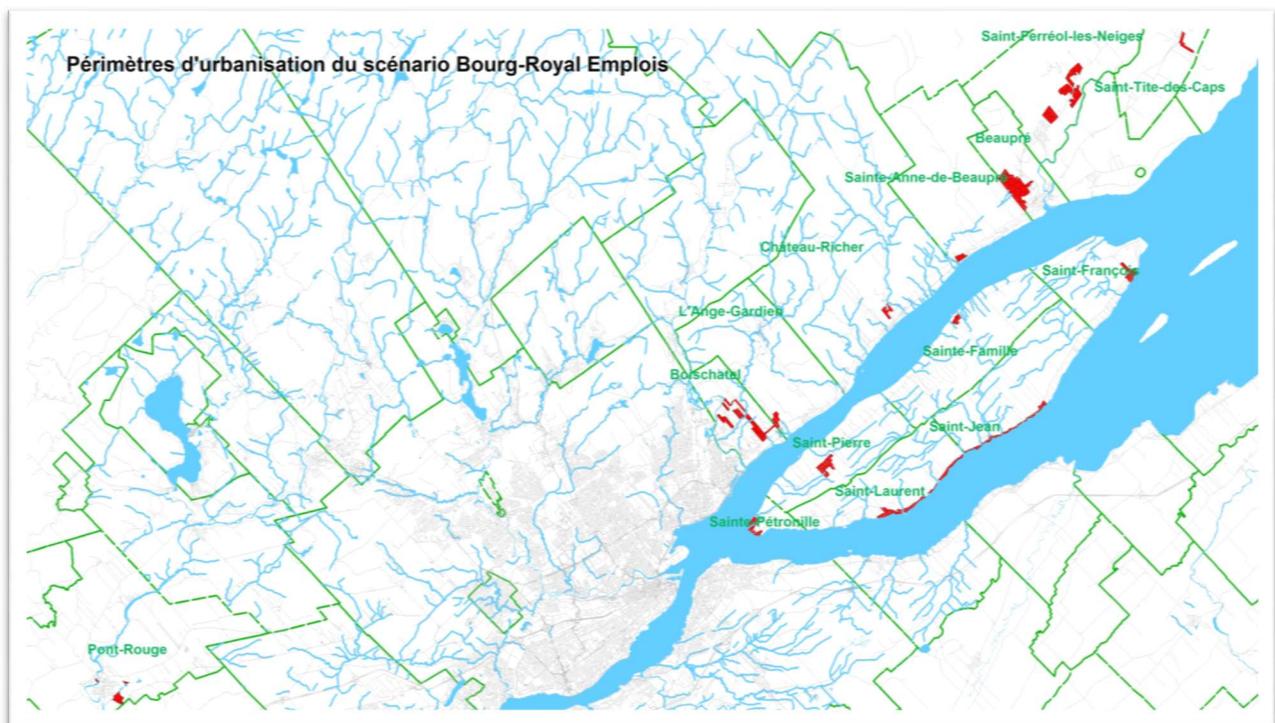
Statistique	Valeur	Interprétation
Rapport de vraisemblance		
SEM versus modèle saturé – chi deux (41 dl)	97,953 (p< 0,001)	Différence significative
Modèle vide versus modèle saturé – chi deux (164 dl)	79024,310 (p< 0,001)	Différence significative
Erreur d'approximation		
RMSEA (root mean square of approximation)	0,019	SEM très bien ajusté
Probabilité que RMSEA <= 0,05	1,000	Significativement inférieur au seuil
Comparaison du SEM avec le modèle vide		
Indice d'ajustement comparatif (CFI)	0,999	Ajustement très efficace
Importance des résidus d'ajustement		
SRMR (Standardised root mean squared residual)	0,002	Résidus extrêmement faibles
Coefficient de détermination global	1,000	Ajustement quasi total
Indice de stabilité	0,49759	Modèle non récursif stable
Coefficients de détermination par équation		
GES	0,793	
TRANSPORT	0,902	
LOGEMENT	0,831	
MOTORISATION	0,709	
CONDUCTEURS	0,527	
PIÉTONS	0,739	
RD_LOGEM	0,994	
RD_TRANS	0,998	

Tableau 2.3 Qualité d'ajustement du SEM de la région de Québec

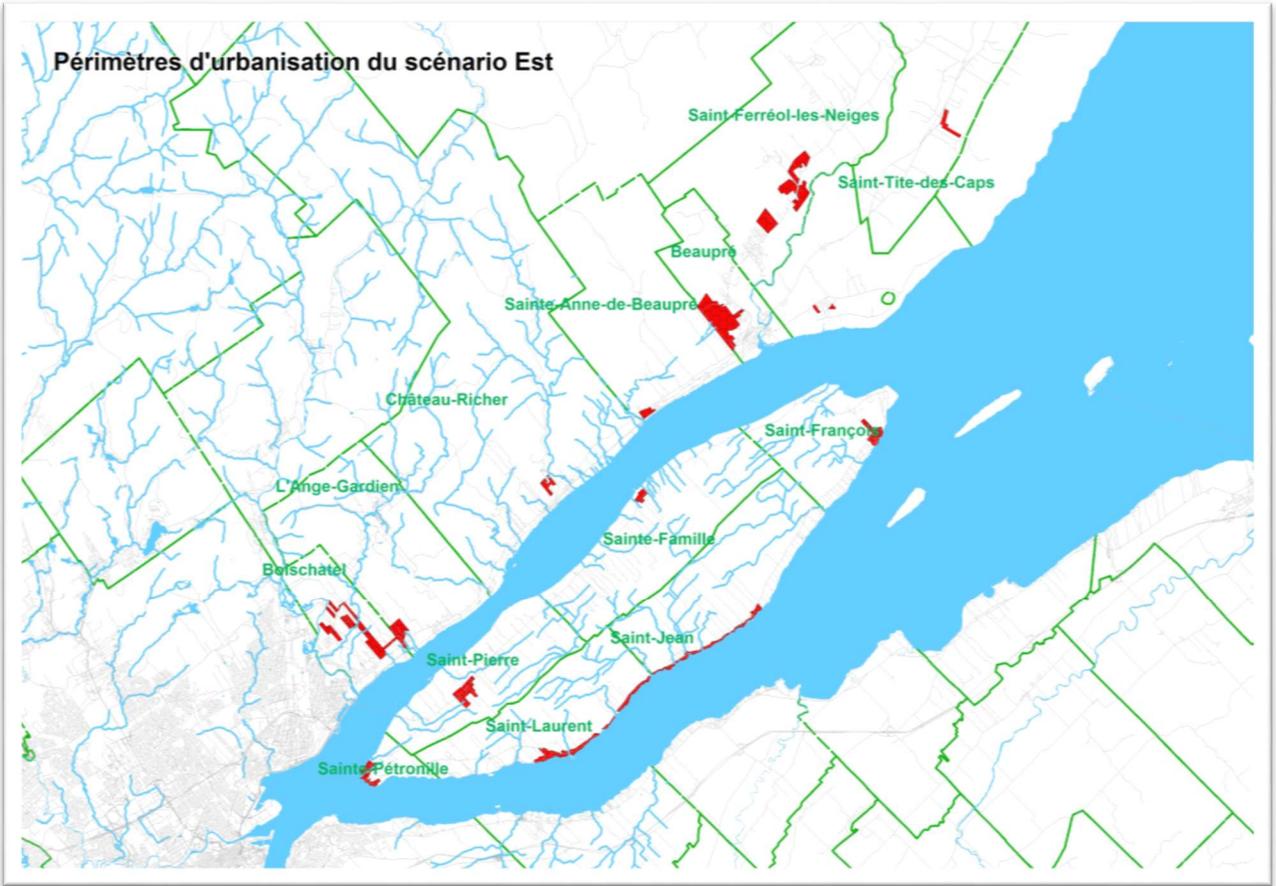
Annexe 3

Délimitation des alternatives de développement résidentiel

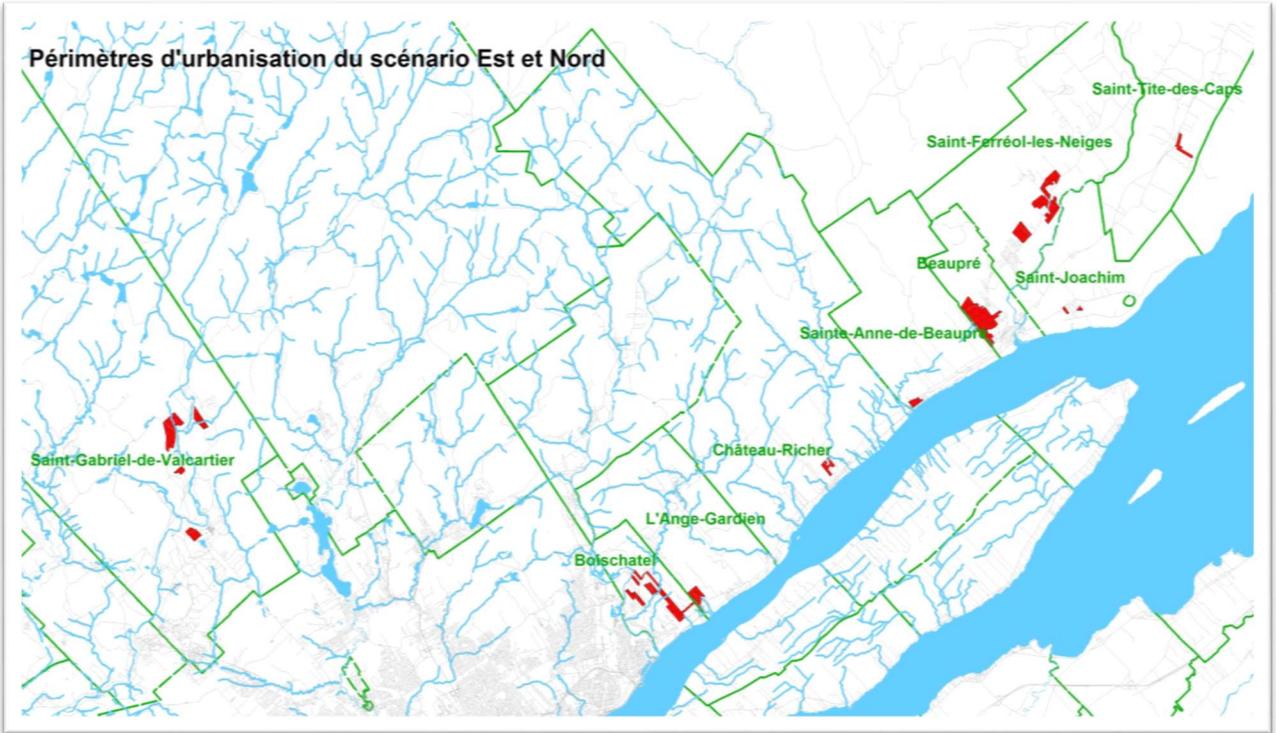
Cette annexe présente le détail des huit périmètres d'urbanisation des scénarios de développement résidentiel en périphérie de l'Agglomération de Québec. Les périmètres visés sont issus des documents de planification pertinents de la CMQ ou des MRC adjacentes. Il s'agit : du scénario Bourg-Royal emplois (Carte 3.1) ; du scénario Est (Carte 3.2) ; du scénario Est et Nord (Carte 3.3) ; du scénario Nord et Est (Carte 3.4) ; du scénario Saint-Augustin Emplois (Carte 3.5) ; du scénario Ouest et Sud (Carte 3.6) ; du scénario Ouest et Nord (Carte 3.7) ; et du scénario Nord et Ouest (Carte 3.8).



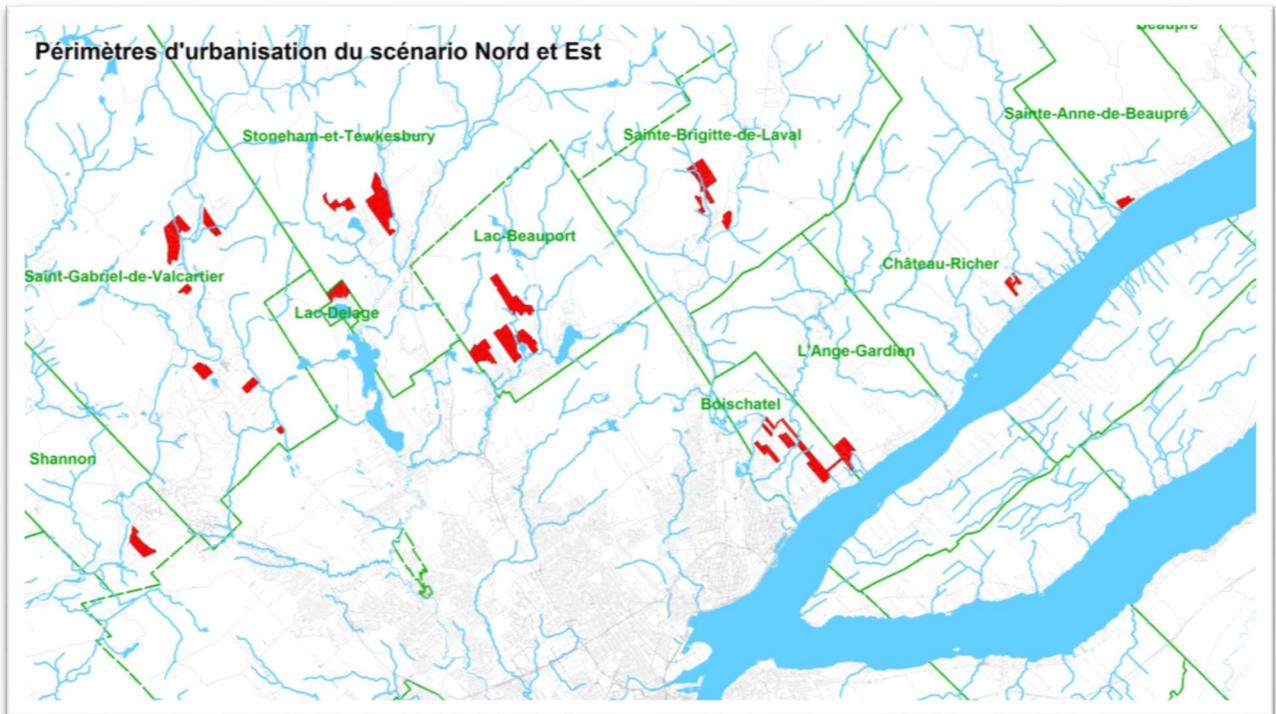
Carte 3.1. Périmètres d'urbanisation du scénario Bourg-Royal Emplois



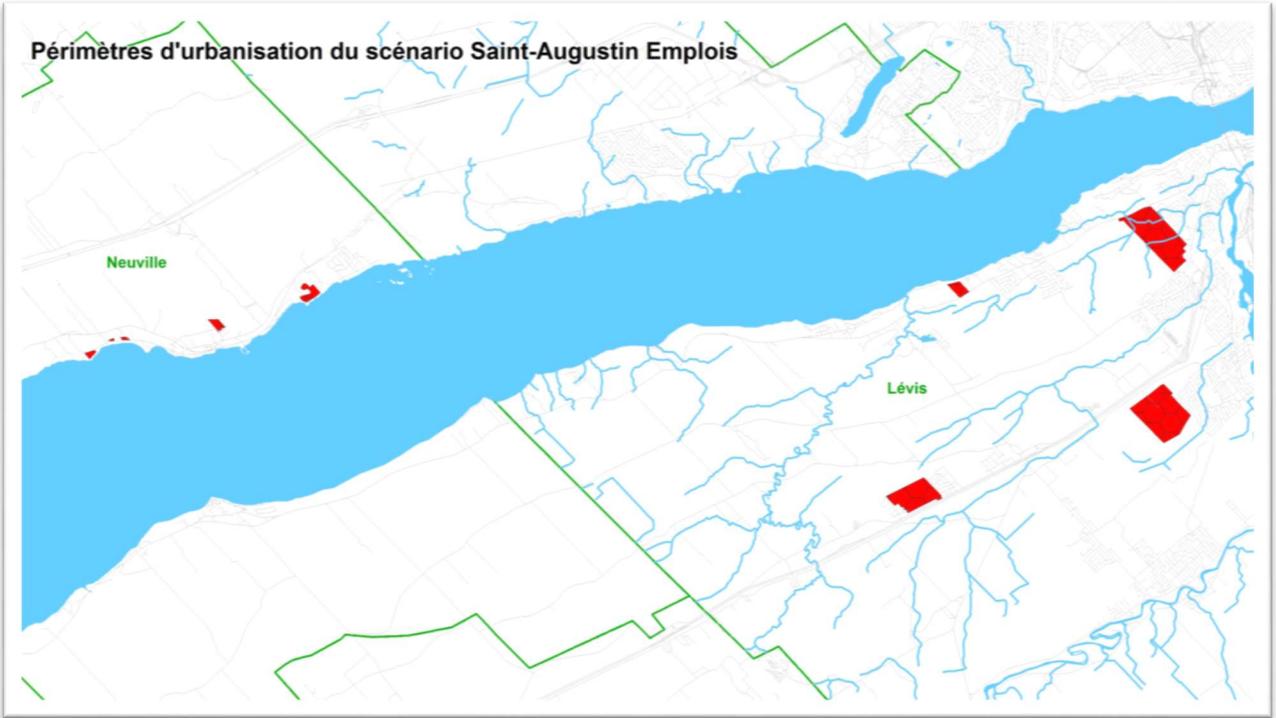
Carte 3.2. Périmètres d'urbanisation du scénario Est



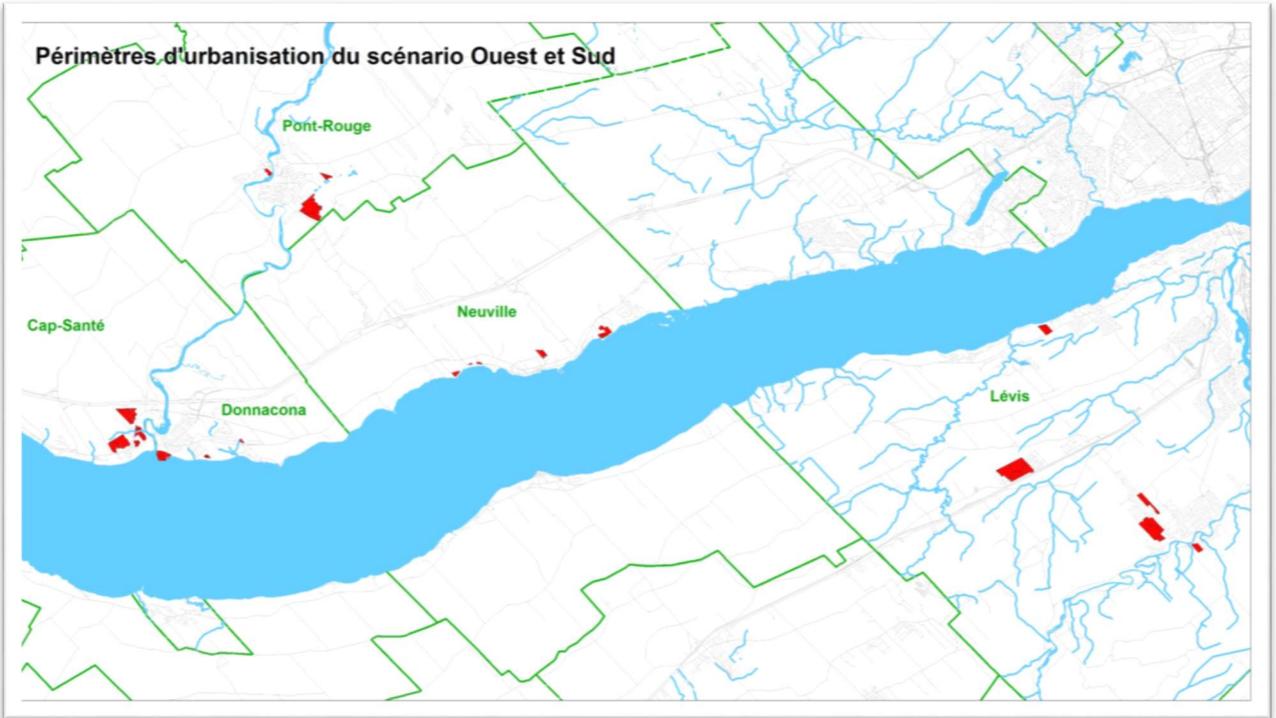
Carte 3.3. Périmètres d'urbanisation du scénario Est et Nord



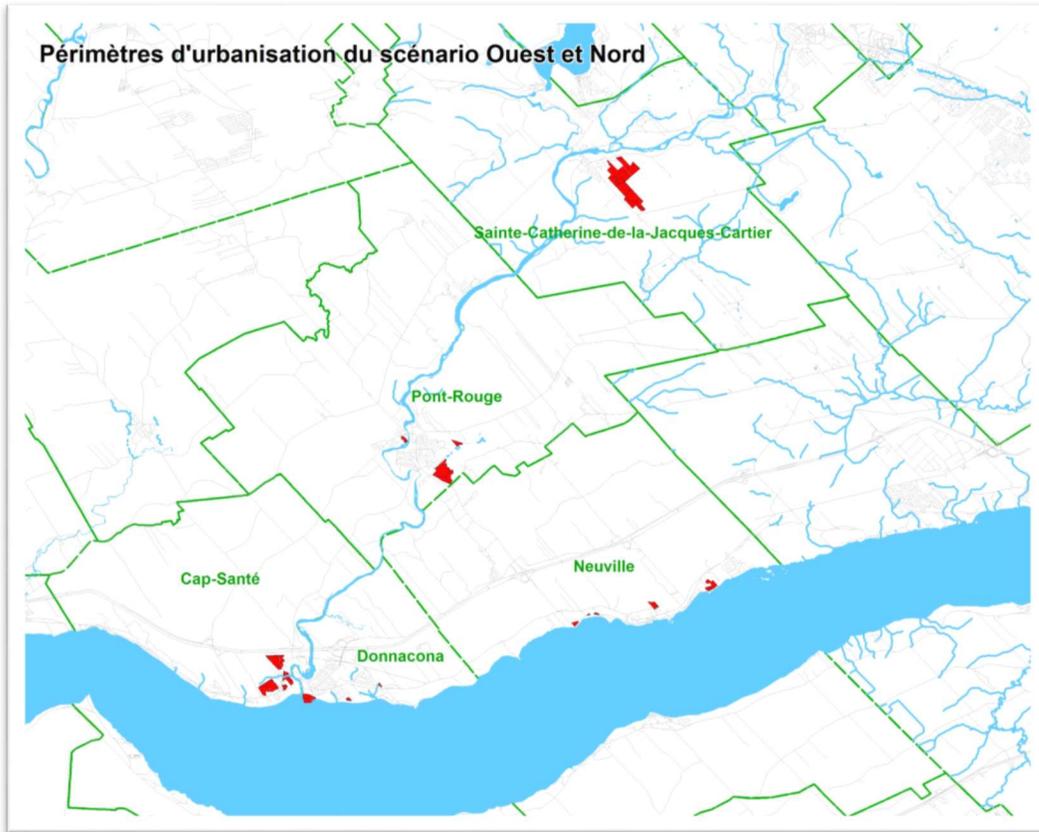
Carte 3.4. Périmètres d'urbanisation du scénario Nord et Est



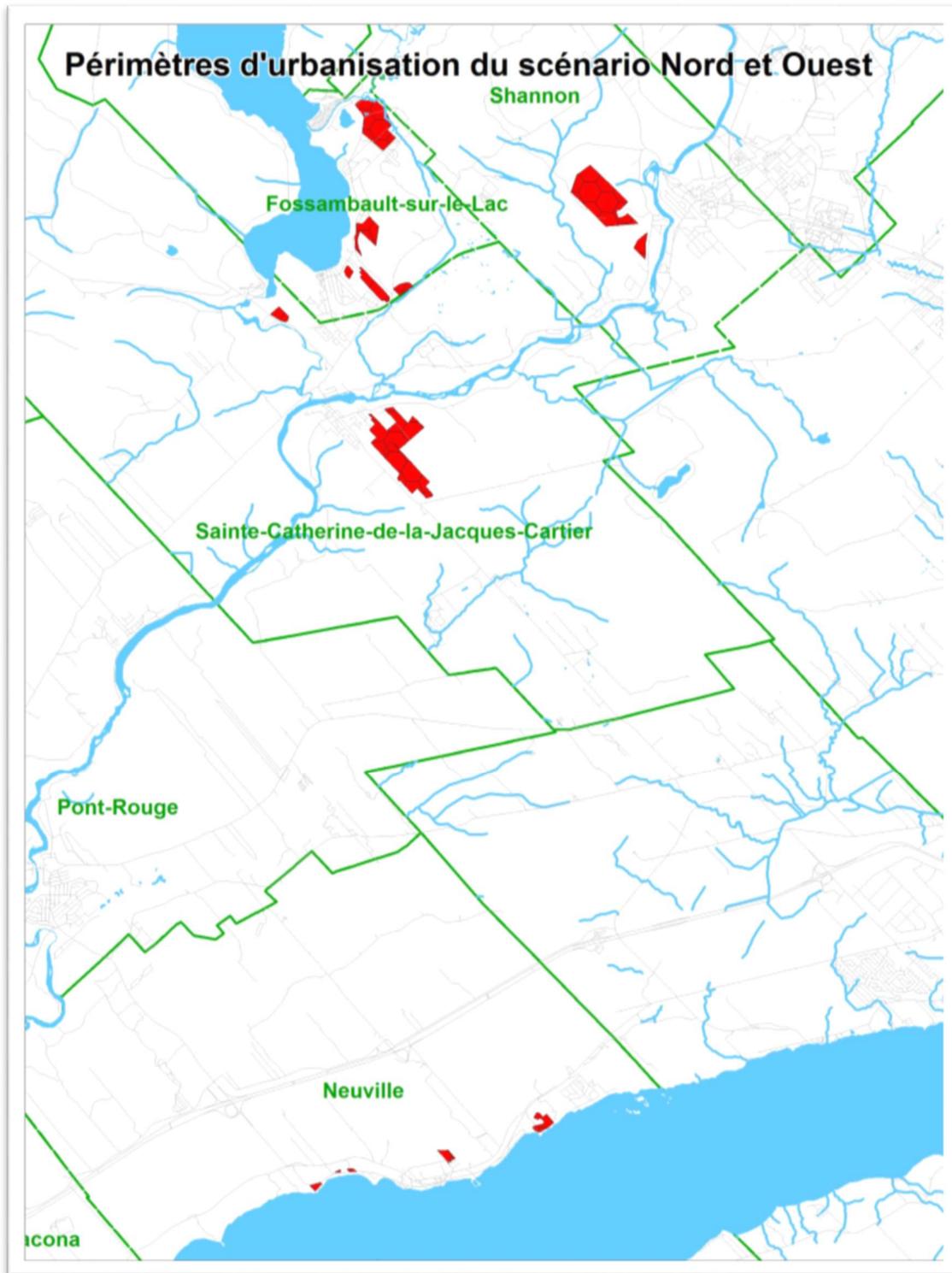
Carte 3.5. Périmètres d'urbanisation du scénario Saint-Augustin Emplois



Carte 3.6. Périmètres d'urbanisation du scénario Ouest et Sud



Carte 3.7. Périmètres d'urbanisation du scénario Ouest et Nord



Carte 3.8. Périmètres d'urbanisation du scénario Nord et Ouest

Annexe 4

Les distributions de fréquence des simulations de scénarios

Dans les tableaux suivants, les cellules de couleur indiquent une différence significative ($p < 0,01$) entre la médiane surlignée et celle du scénario de référence dont la marge de confiance est de la même couleur. Un seuil de confiance de 1% indique que la médiane est inférieure au scénario de référence ; un seuil de 99% que la médiane est supérieure. Les différences entre les secteurs à l'est et à l'ouest du territoire ne sont pas considérées.

La couleur des trames réfère au secteur considéré (jaune et vert pour le secteur est ; bleu et orange pour le secteur ouest). À titre d'exemple, la médiane des coûts annuels de logement des scénarios Bourg-Royal emplois (18 968\$), Est (18 924\$) et Est et Nord (19 029\$) s'avère significativement inférieure au seuil de confiance de 1% caractérisant les scénarios Bourg-Royal unifamiliales (20 139\$). À l'inverse, la médiane du scénario St-Augustin unifamiliales (32 882\$) excède les valeurs maximales (seuil à 99%) des scénarios Ouest et Sud (32 428\$), Ouest et Nord (29 061\$) et Nord et Ouest (29 402\$). Ces différences sont dites très significatives car elles surviennent sous l'effet du hasard moins d'une fois sur cent.

Scénario	Quartile inférieur	Médiane	Quartile supérieur	Seuil de confiance 1%	Seuil de confiance 99%
Bourg-Royal unifamiliales	23756	25528	28282	20139	33780
Scénario Bourg-Royal emplois	18200	18968	25405	16551	30970
Scénario Est	18185	18924	25986	16565	31030
Scénario Est et Nord	18222	19027	26972	16604	31763
Scénario Nord et Est	24696	27170	28944	17535	32942
St-Augustin unifamiliales	31388	32882	34212	25898	40439
Scénario St-Augustin emplois	23850	25285	27026	19090	33076
Scénario Ouest et Sud	19577	23413	25733	16376	32428
Scénario Ouest et Nord	19034	21302	23478	15823	29061
Scénario Nord et Ouest	21527	22895	24329	16361	29402

Tableau 4.1. Seuils caractéristiques des coûts annuels pour le logement (\$) par scénario

Scénario	Quartile inférieur	Médiane	Quartile supérieur	Seuil de confiance 1%	Seuil de confiance 99%
Bourg-Royal unifamiliales	10304	10920	11441	8818	12676
Scénario Bourg-Royal emplois	18232	20219	21520	14134	24447
Scénario Est	17915	19779	21406	14260	22717
Scénario Est et Nord	18116	20008	21240	14276	22706
Scénario Nord et Est	17742	19303	20015	14092	22679
St-Augustin unifamiliales	6408	7182	8320	4688	13714
Scénario St-Augustin emplois	8217	11052	13690	3534	22209
Scénario Ouest et Sud	13228	17170	23155	4122	26370
Scénario Ouest et Nord	19560	22179	23982	4856	26479
Scénario Nord et Ouest	18526	21205	23042	4908	26078

Tableau 4.2. Seuils caractéristiques des coûts annuels pour le transport (\$) par scénario

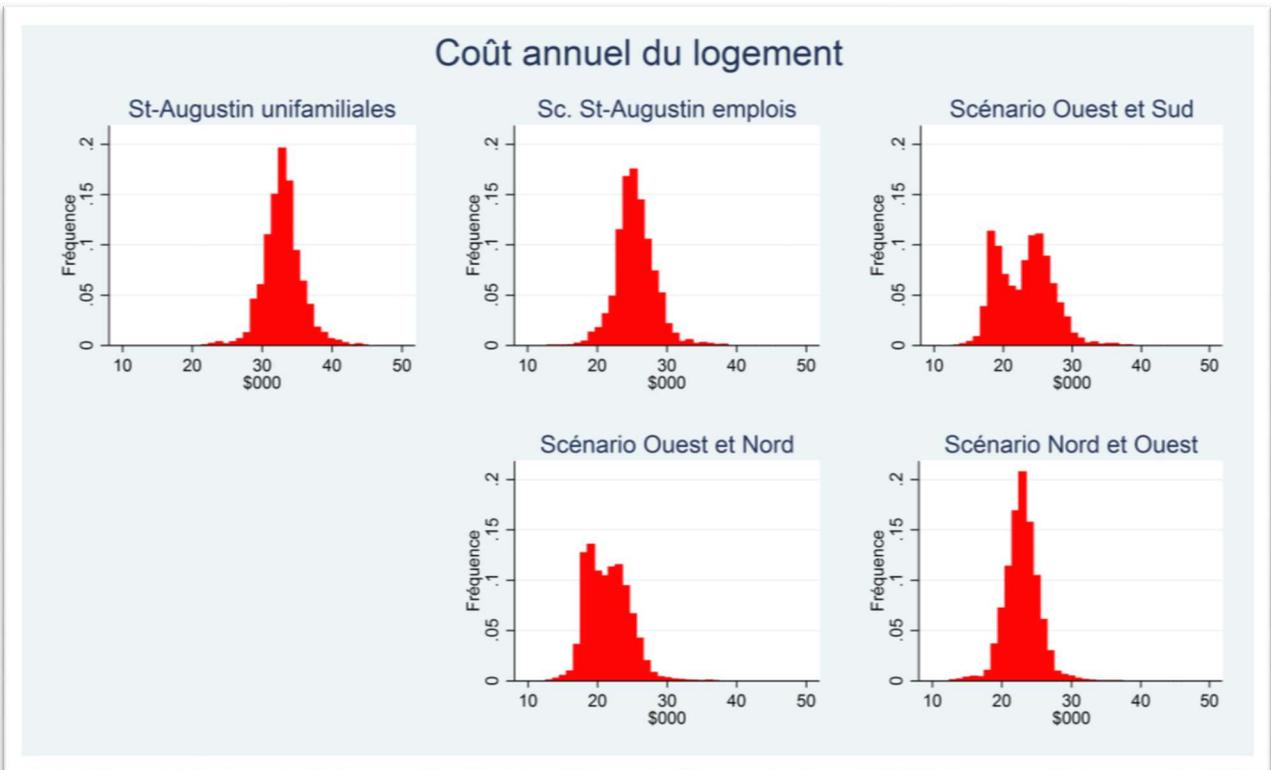
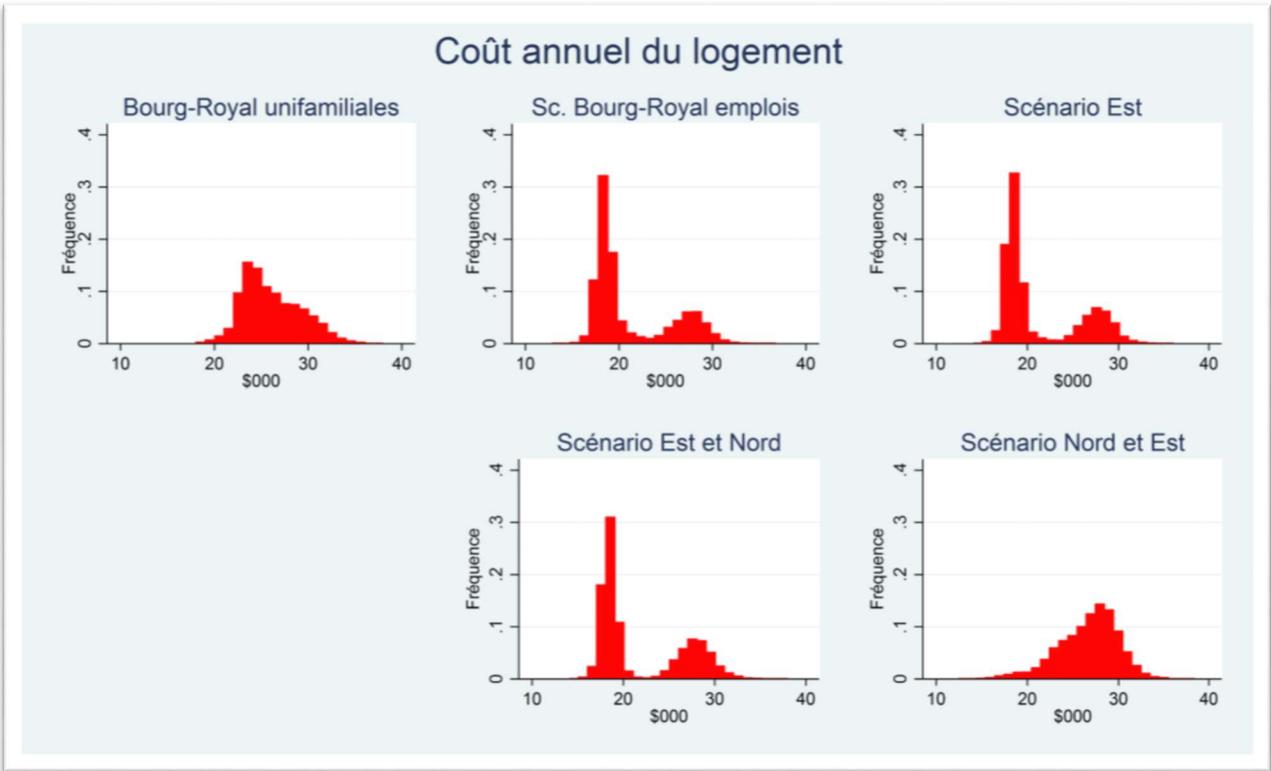


Figure 4.1. Distribution de fréquence des coûts annuels pour le logement (\$) par scénario

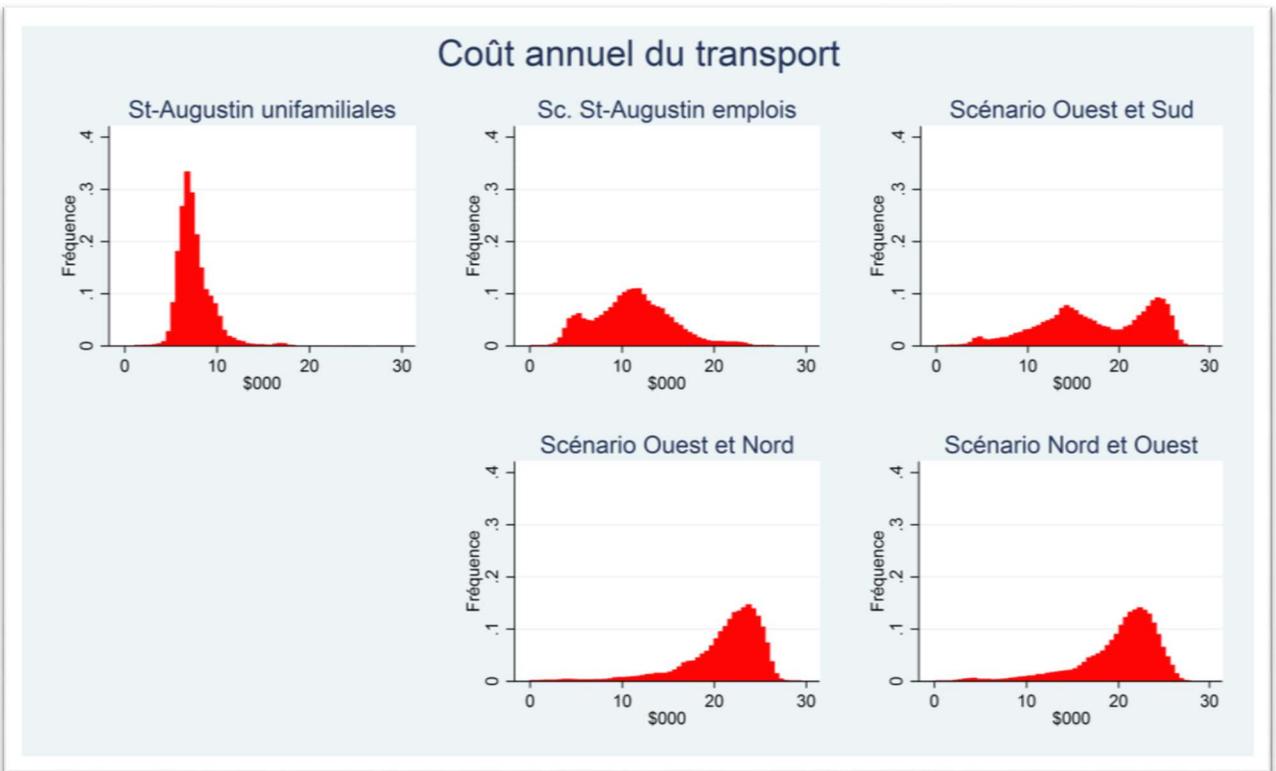
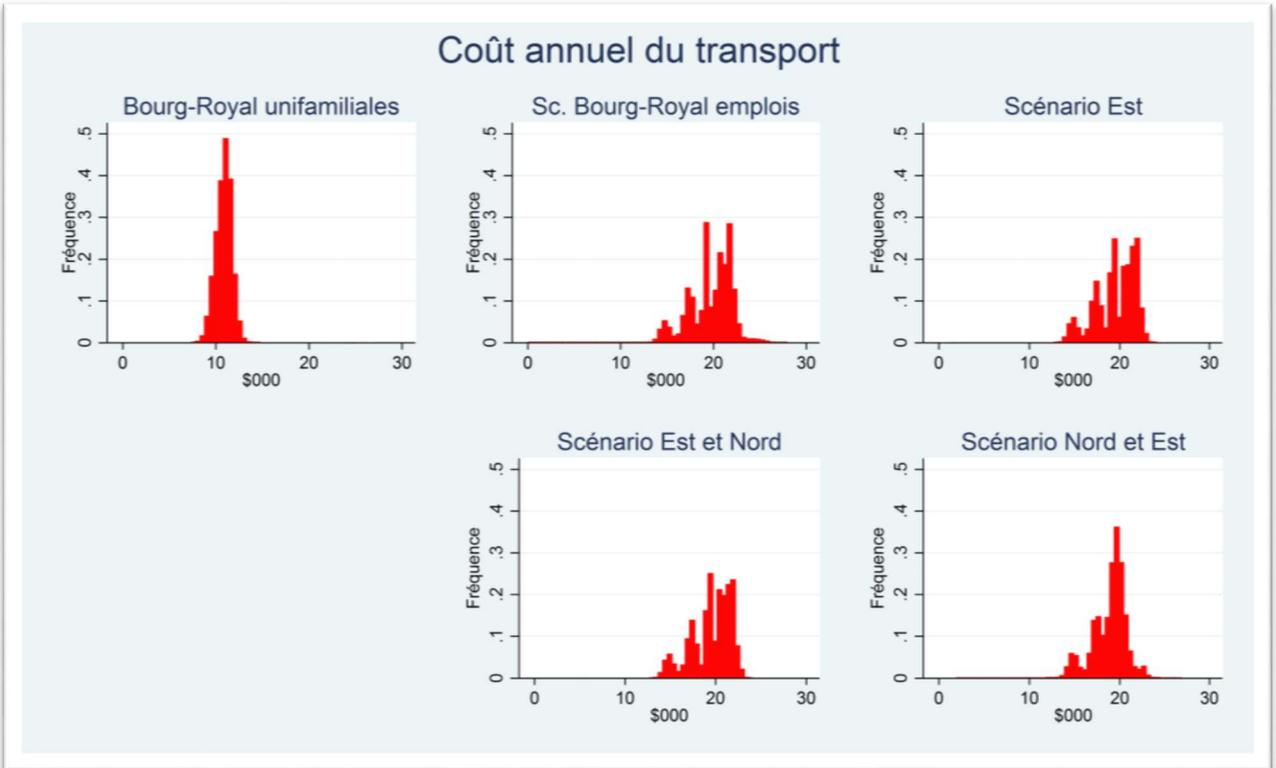


Figure 4.2. Distribution de fréquence des coûts annuels pour le transport (\$) par scénario

Scénario	Quartile inférieur	Médiane	Quartile supérieur	Seuil de confiance 1%	Seuil de confiance 99%
Bourg-Royal unifamiliales	26,12	28,11	31,12	22,05	37,26
Scénario Bourg-Royal emplois	19,82	20,74	27,61	14,12	34,17
Scénario Est	19,98	20,89	28,55	18,11	34,30
Scénario Est et Nord	20,02	21,01	29,64	18,14	35,16
Scénario Nord et Est	27,02	29,86	31,87	15,83	36,50
St-Augustin unifamiliales	22,58	24,20	25,88	17,79	32,17
Scénario St-Augustin emplois	17,22	18,66	20,24	13,34	25,90
Scénario Ouest et Sud	14,15	16,97	19,13	11,25	25,03
Scénario Ouest et Nord	13,96	15,61	17,47	10,75	22,72
Scénario Nord et Ouest	15,52	16,86	18,22	11,65	22,96

Tableau 4.3. Seuils caractéristiques des taux d'effort pour le logement (% du revenu disponible) par scénario

Scénario	Quartile inférieur	Médiane	Quartile supérieur	Seuil de confiance 1%	Seuil de confiance 99%
Bourg-Royal unifamiliales	11,32	12,02	12,62	9,62	14,05
Scénario Bourg-Royal emplois	19,51	21,67	23,57	12,91	25,07
Scénario Est	19,71	21,81	23,60	15,67	25,07
Scénario Est et Nord	19,92	22,00	23,52	15,69	25,06
Scénario Nord et Est	19,36	21,20	21,95	12,60	24,79
St-Augustin unifamiliales	4,66	5,32	6,15	3,09	11,18
Scénario St-Augustin emplois	5,81	8,21	10,51	2,29	17,78
Scénario Ouest et Sud	9,62	13,07	17,44	2,59	20,84
Scénario Ouest et Nord	14,04	16,67	18,33	2,87	21,59
Scénario Nord et Ouest	13,12	15,81	17,74	2,89	21,90

Tableau 4.4. Seuils caractéristiques des taux d'effort pour le transport (% du revenu disponible) par scénario

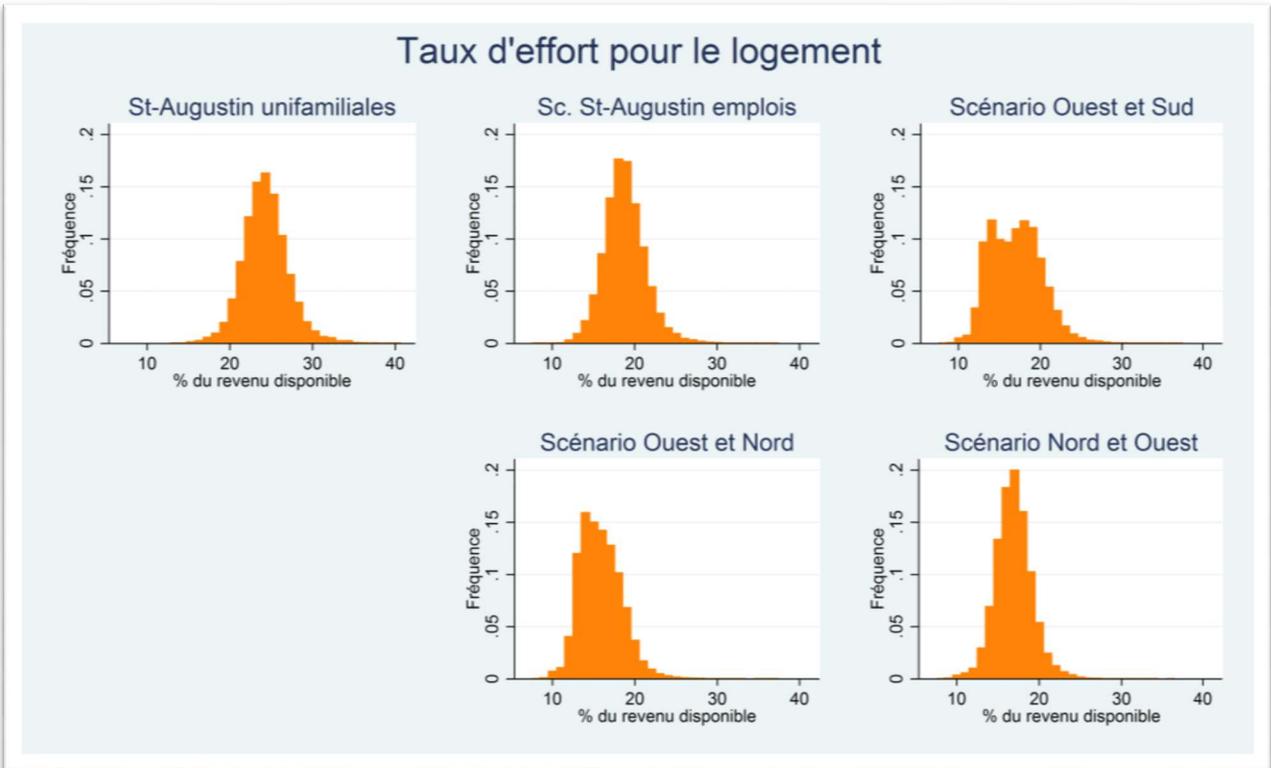
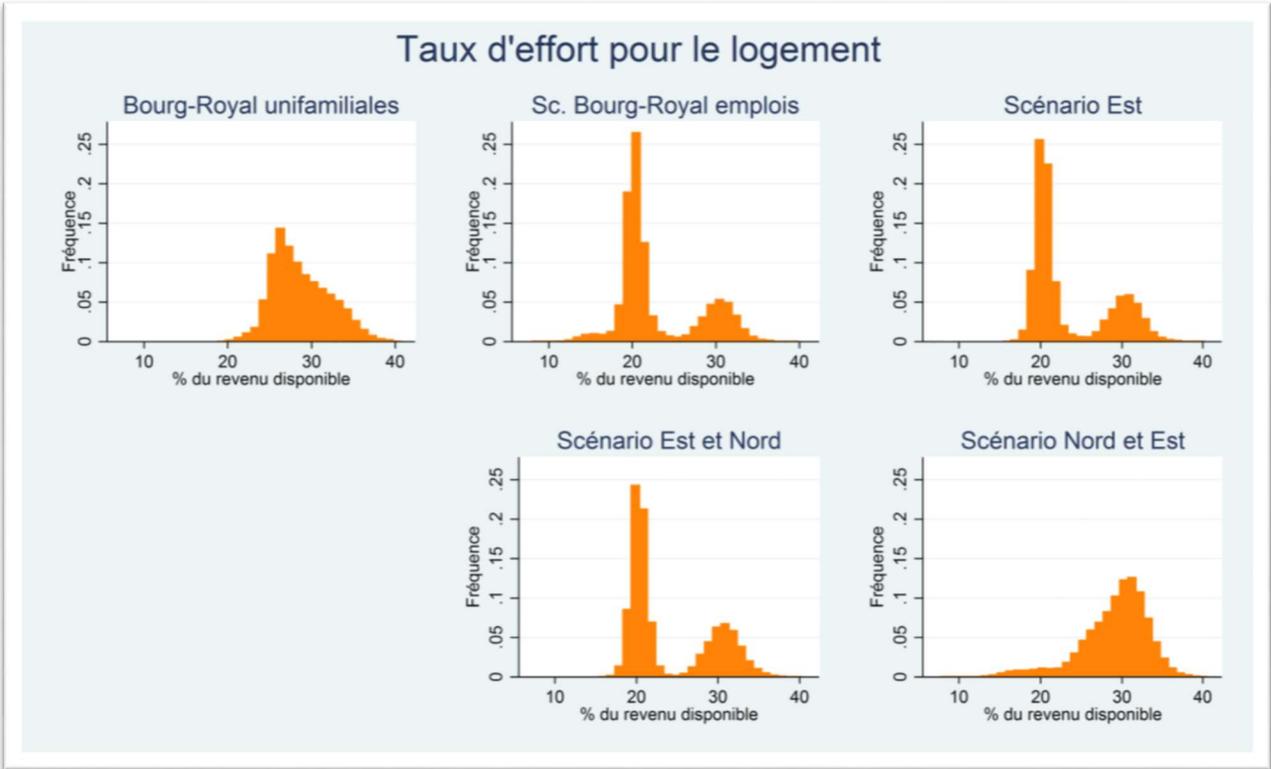


Figure 4.3. Distribution de fréquence des taux d'effort pour le logement (% du revenu disponible) par scénario

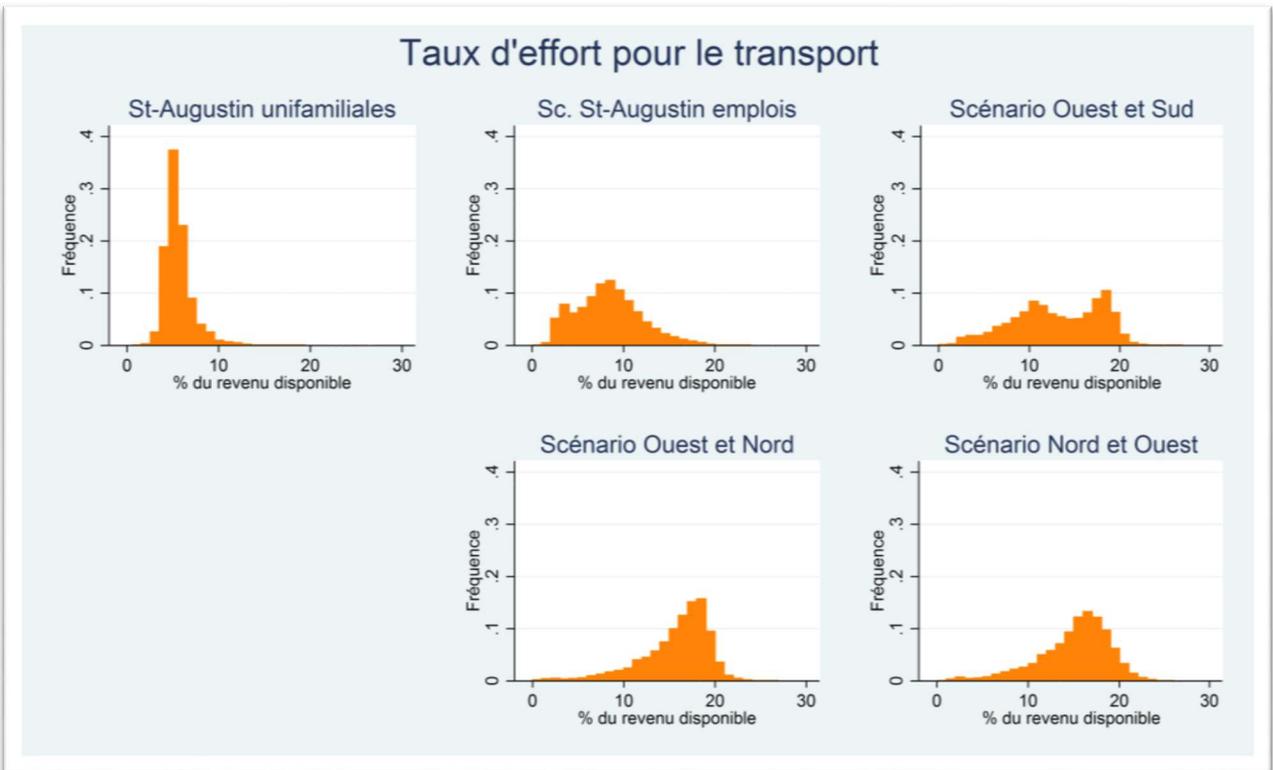
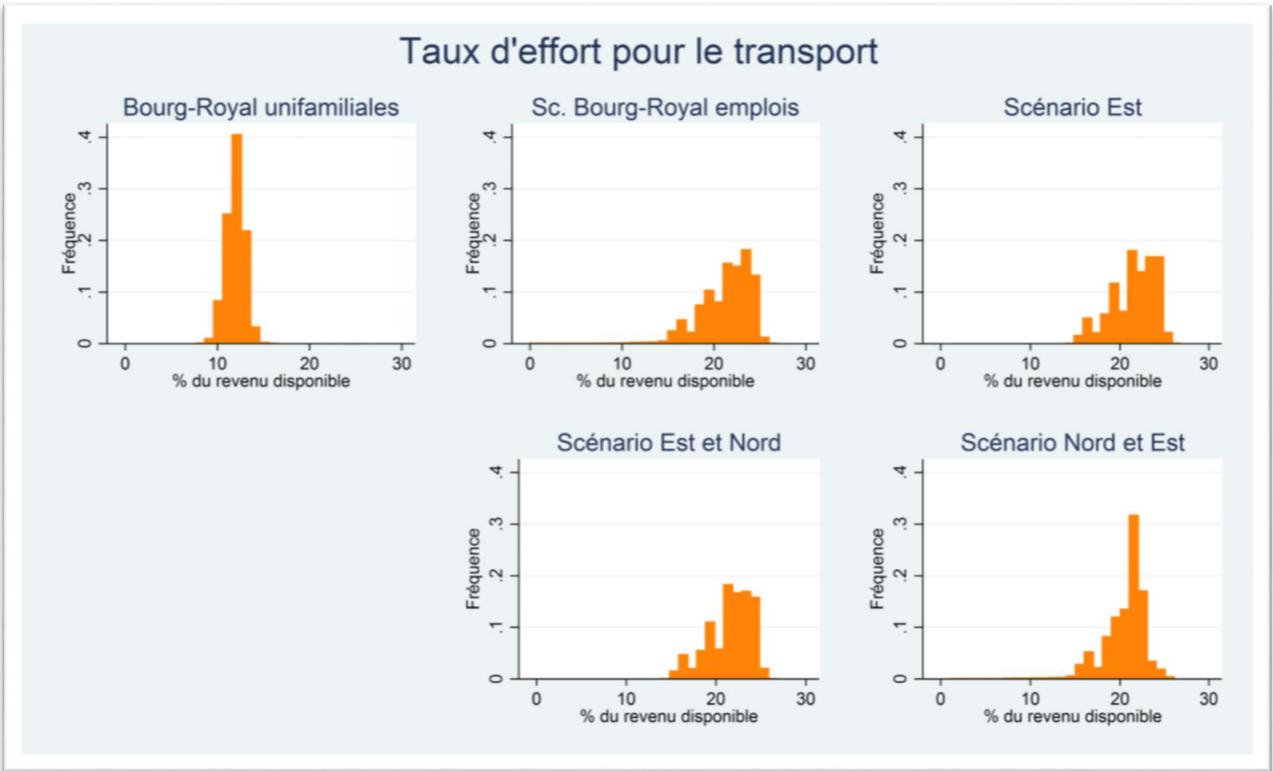


Figure 4.4. Distribution de fréquence des taux d'effort pour le transport (% du revenu disponible) par scénario

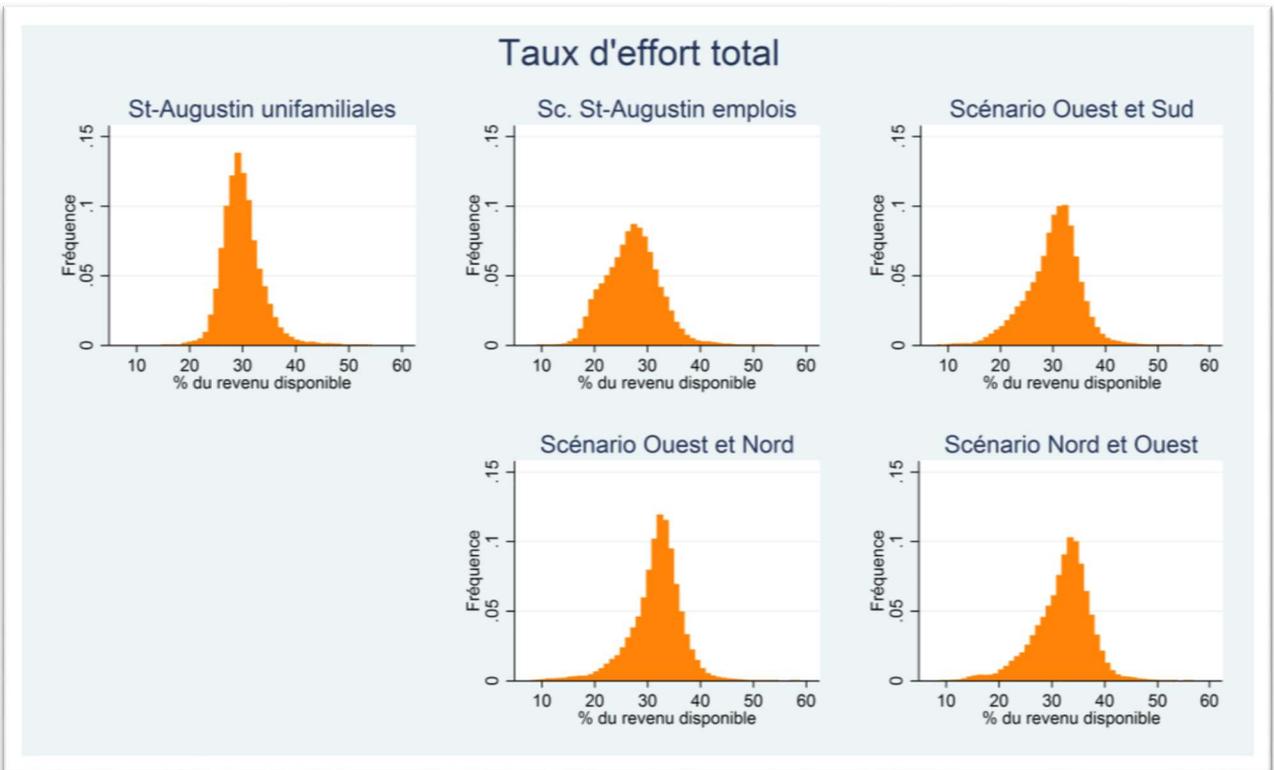
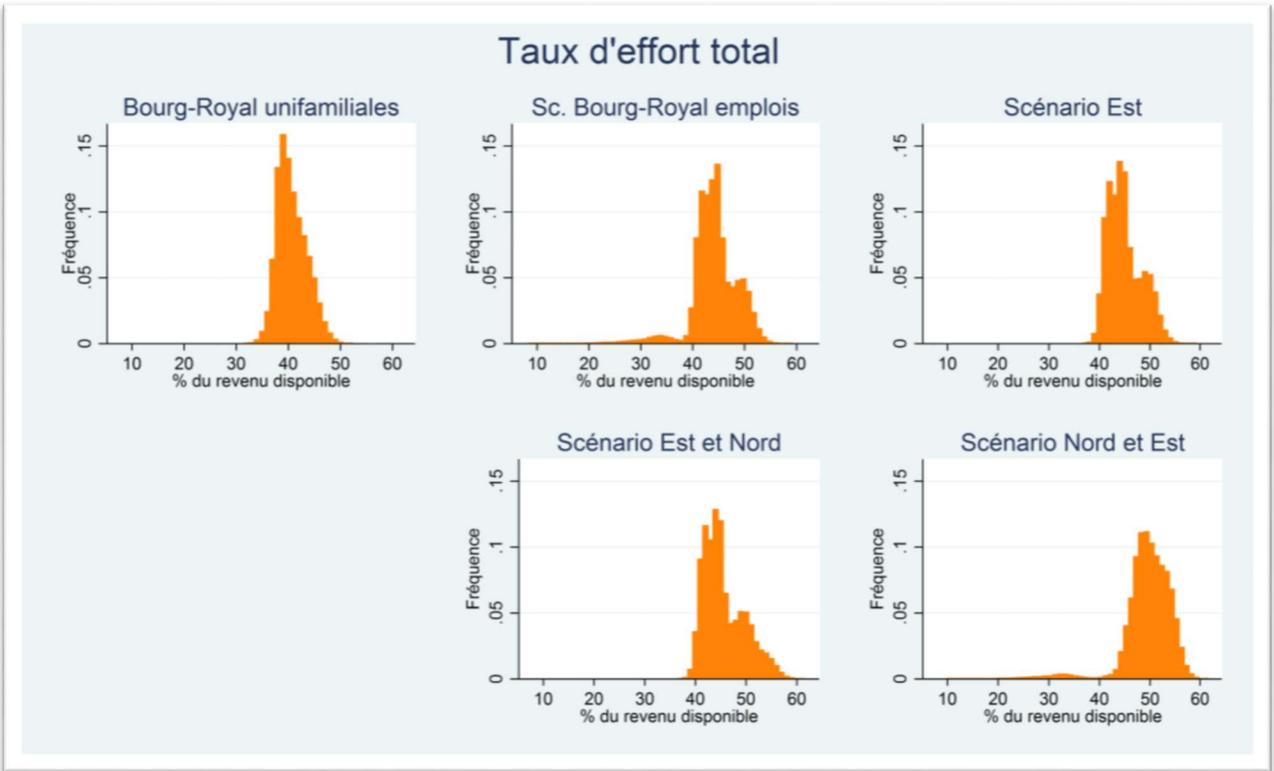


Figure 4.5. Distribution de fréquence des taux d'effort pour le logement et le transport (% du revenu disponible) par scénario

Scénario	Quartile inférieur	Médiane	Quartile supérieur	Seuil de confiance 1%	Seuil de confiance 99%
Bourg-Royal unifamiliales	38,61	40,26	42,58	35,29	47,74
Scénario Bourg-Royal emplois	42,04	44,17	46,63	28,18	52,00
Scénario Est	42,38	44,40	47,14	39,59	53,04
Scénario Est et Nord	42,49	44,61	48,39	39,62	56,21
Scénario Nord et Est	47,67	49,92	52,59	28,99	57,16
St-Augustin unifamiliales	27,59	29,52	31,75	22,35	41,40
Scénario St-Augustin emplois	23,76	27,21	30,29	17,18	39,97
Scénario Ouest et Sud	27,29	30,66	33,20	16,90	41,28
Scénario Ouest et Nord	29,40	32,20	34,42	16,10	42,01
Scénario Nord et Ouest	29,25	32,80	35,32	16,50	43,04

Tableau 4.5. Seuils caractéristiques des taux d'effort pour le logement et le transport (% du revenu disponible) par scénario

Scénario	Quartile inférieur	Médiane	Quartile supérieur	Seuil de confiance 1%	Seuil de confiance 99%
Bourg-Royal unifamiliales	59,22	61,40	63,57	53,49	67,98
Scénario Bourg-Royal emplois	82,91	86,28	92,91	69,76	104,56
Scénario Est	82,62	85,91	92,50	70,07	102,87
Scénario Est et Nord	82,89	86,36	92,52	70,15	102,79
Scénario Nord et Est	84,18	89,75	93,07	69,76	102,30
St-Augustin unifamiliales	73,97	76,74	78,69	64,27	82,25
Scénario St-Augustin emplois	68,59	71,22	75,34	62,84	94,55
Scénario Ouest et Sud	68,90	77,90	94,97	61,41	107,18
Scénario Ouest et Nord	83,17	92,62	99,14	61,95	108,10
Scénario Nord et Ouest	80,58	90,46	98,07	60,21	108,61

Tableau 4.6. Seuils caractéristiques des taux de motorisation (Nombre d'automobiles par 100 conducteurs) par scénario

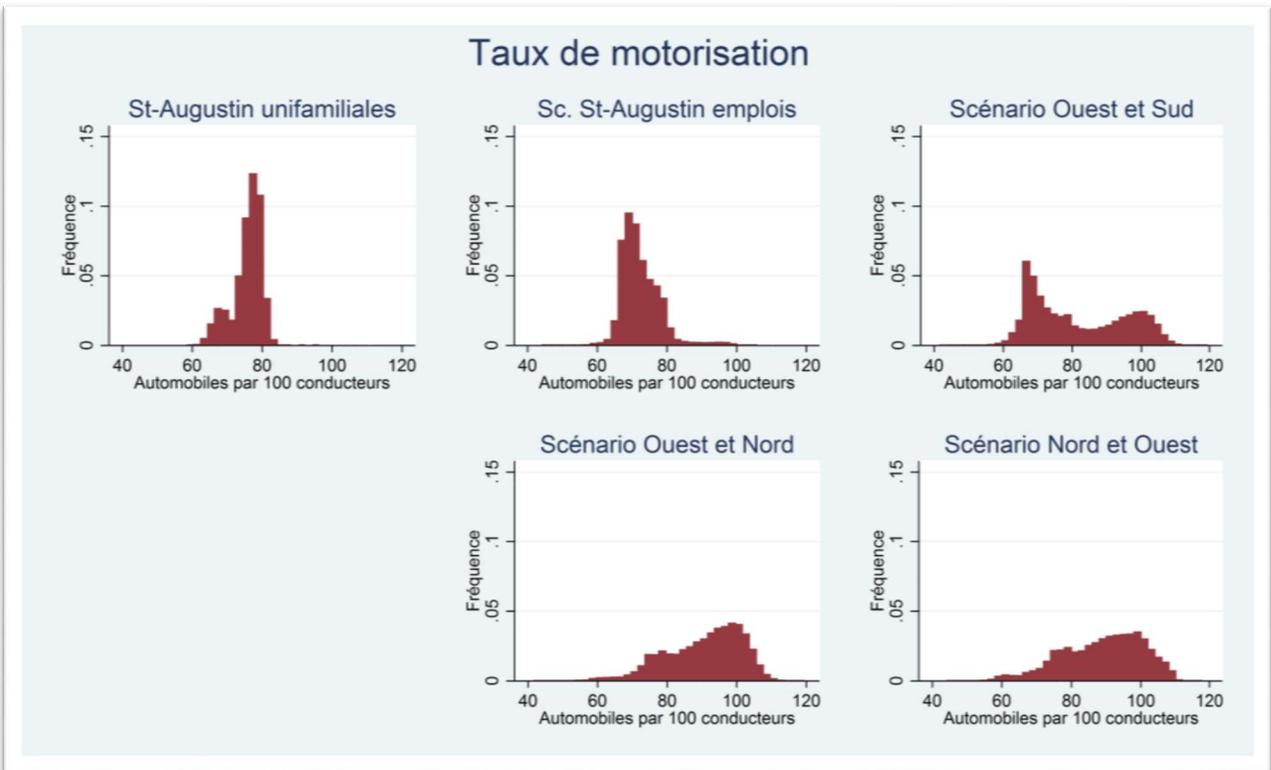
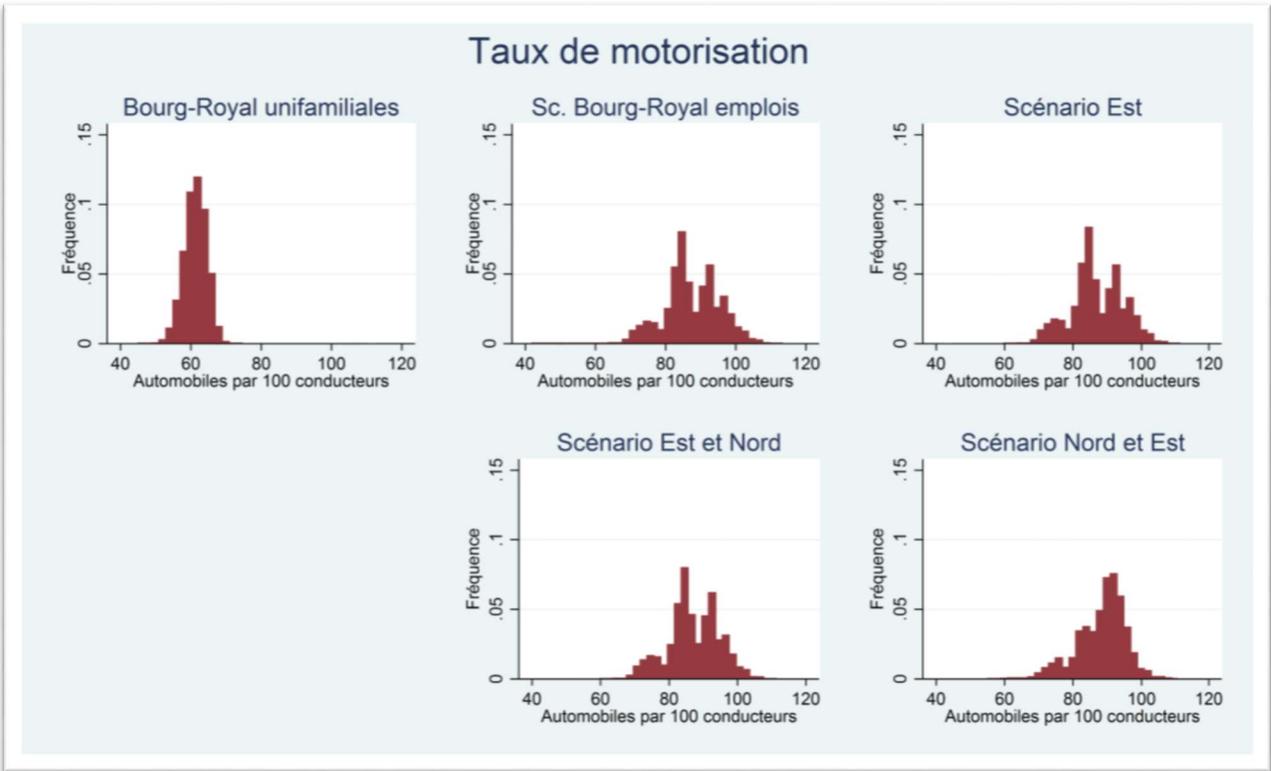


Figure 4.6. Distribution de fréquence des taux de motorisation (Nombre d'automobiles par 100 conducteurs) par scénario

Scénario	Quartile inférieur	Médiane	Quartile supérieur	Seuil de confiance 1%	Seuil de confiance 99%
Bourg-Royal unifamiliales	56,28	63,73	65,74	48,64	69,65
Scénario Bourg-Royal emplois	61,68	64,94	68,59	56,54	81,59
Scénario Est	61,41	64,57	68,24	56,45	81,55
Scénario Est et Nord	61,55	64,29	67,94	56,81	81,42
Scénario Nord et Est	61,02	63,12	66,13	56,56	77,83
St-Augustin unifamiliales	63,68	65,59	66,56	51,57	68,62
Scénario St-Augustin emplois	65,84	67,51	68,47	53,59	71,00
Scénario Ouest et Sud	55,67	65,53	68,87	48,31	76,73
Scénario Ouest et Nord	64,03	67,03	69,64	56,38	77,04
Scénario Nord et Ouest	62,92	66,01	68,79	54,47	78,48

Tableau 4.7. Seuils caractéristiques des parts modales des conducteurs d'automobile (% des déplacements) par scénario

Scénario	Quartile inférieur	Médiane	Quartile supérieur	Seuil de confiance 1%	Seuil de confiance 99%
Bourg-Royal unifamiliales	4,90	6,28	9,09	2,85	14,43
Scénario Bourg-Royal emplois	3,88	5,92	7,08	0,00	9,82
Scénario Est	4,09	6,05	7,28	0,00	9,93
Scénario Est et Nord	4,30	6,05	7,17	0,00	9,79
Scénario Nord et Est	5,26	6,60	7,86	0,00	9,92
St-Augustin unifamiliales	4,31	4,98	6,24	3,03	11,99
Scénario St-Augustin emplois	4,81	5,35	6,28	3,34	11,97
Scénario Ouest et Sud	3,87	5,72	10,85	0,00	15,14
Scénario Ouest et Nord	3,42	4,91	6,69	0,00	10,47
Scénario Nord et Ouest	3,99	5,52	7,27	0,00	10,98

Tableau 4.8. Seuils caractéristiques des parts modales des piétons (% des déplacements) par scénario

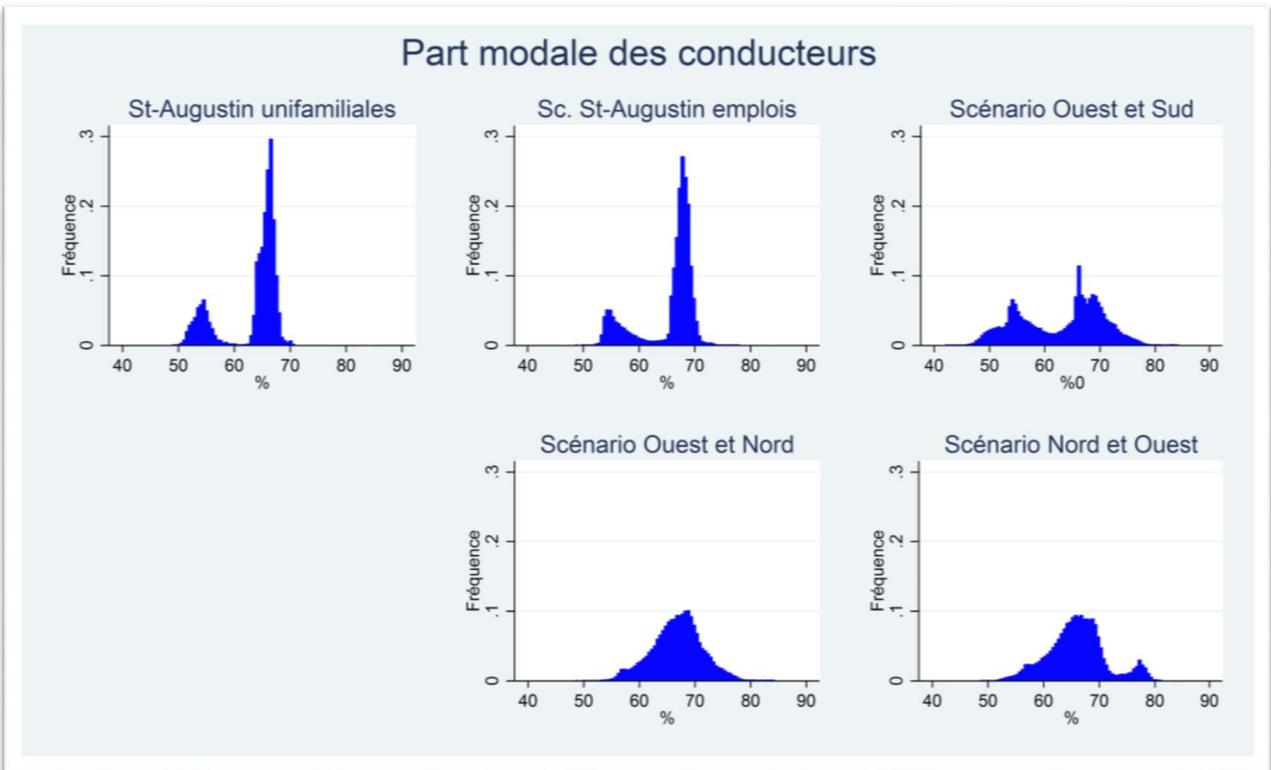
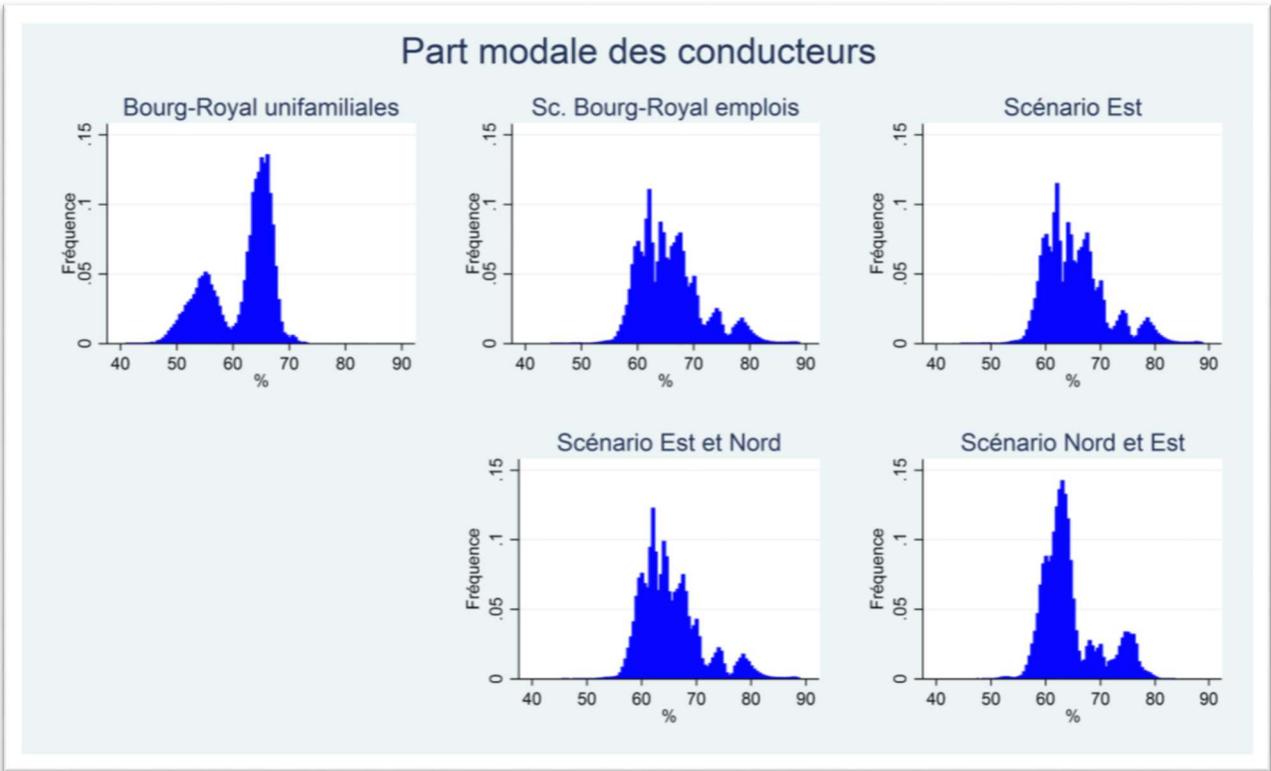


Figure 4.7. Distribution de fréquence des parts modales des conducteurs d'automobile (% des déplacements) par scénario

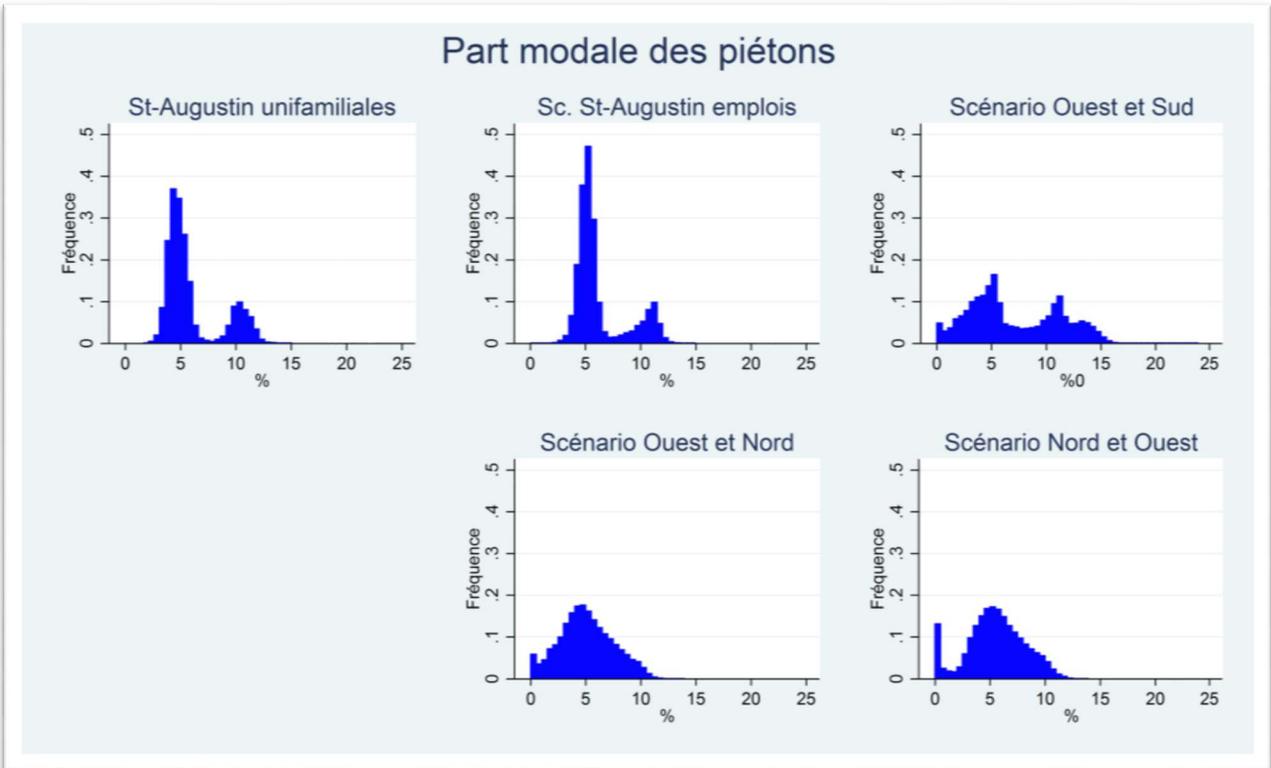
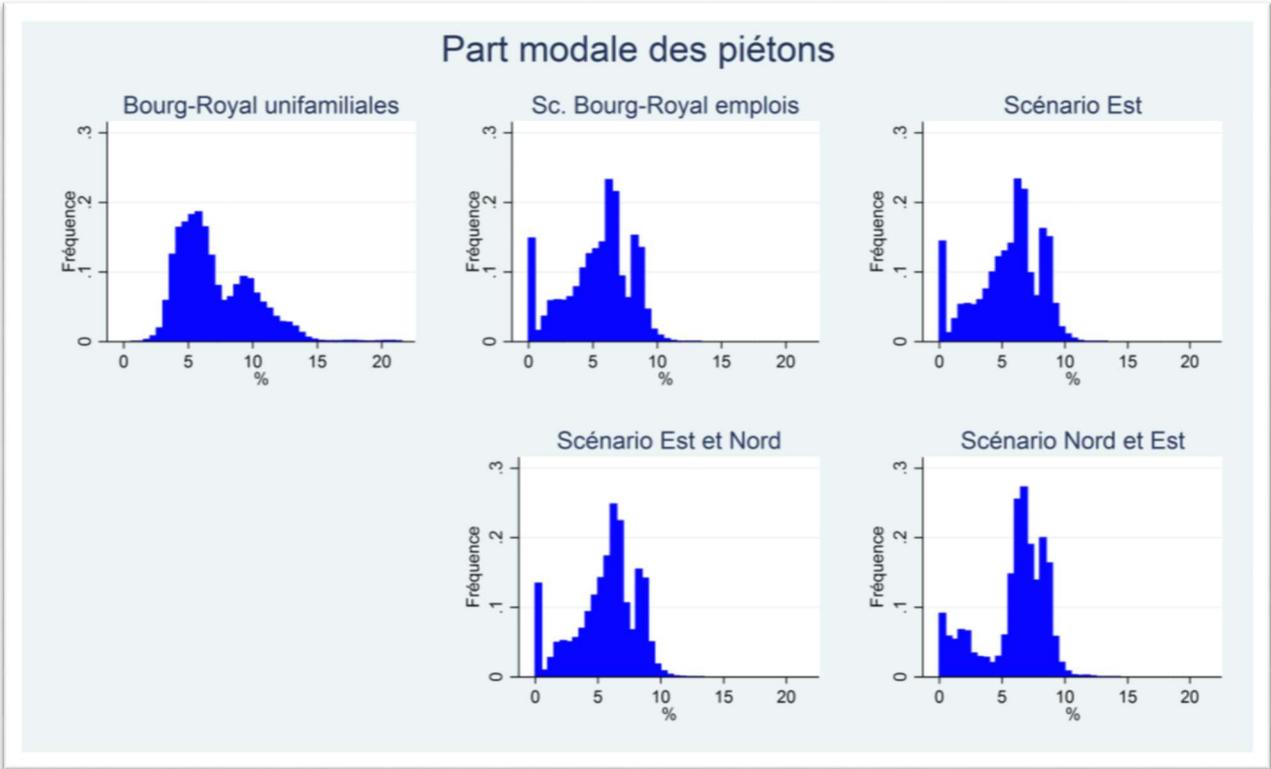


Figure 4.8. Distribution de fréquence des parts modales des piétons (% des déplacements) par scénario

Scénario	Quartile inférieur	Médiane	Quartile supérieur	Seuil de confiance 1%	Seuil de confiance 99%
Bourg-Royal unifamiliales	11,66	12,26	12,80	10,08	13,73
Scénario Bourg-Royal emplois	18,81	24,24	25,01	16,43	27,13
Scénario Est	18,29	24,14	24,92	16,43	27,13
Scénario Est et Nord	18,45	24,04	24,88	16,45	27,11
Scénario Nord et Est	18,29	20,96	21,70	16,42	23,80
St-Augustin unifamiliales	15,46	15,93	16,47	14,08	18,57
Scénario St-Augustin emplois	15,62	16,85	18,11	13,43	23,74
Scénario Ouest et Sud	18,36	20,95	26,12	15,42	28,63
Scénario Ouest et Nord	23,42	24,62	26,48	20,51	28,67
Scénario Nord et Ouest	23,03	23,87	24,74	19,98	26,45

Tableau 4.9. Seuils caractéristiques des émissions de GES pour le transport de personnes (kilogrammes / ménage / jour) par scénario

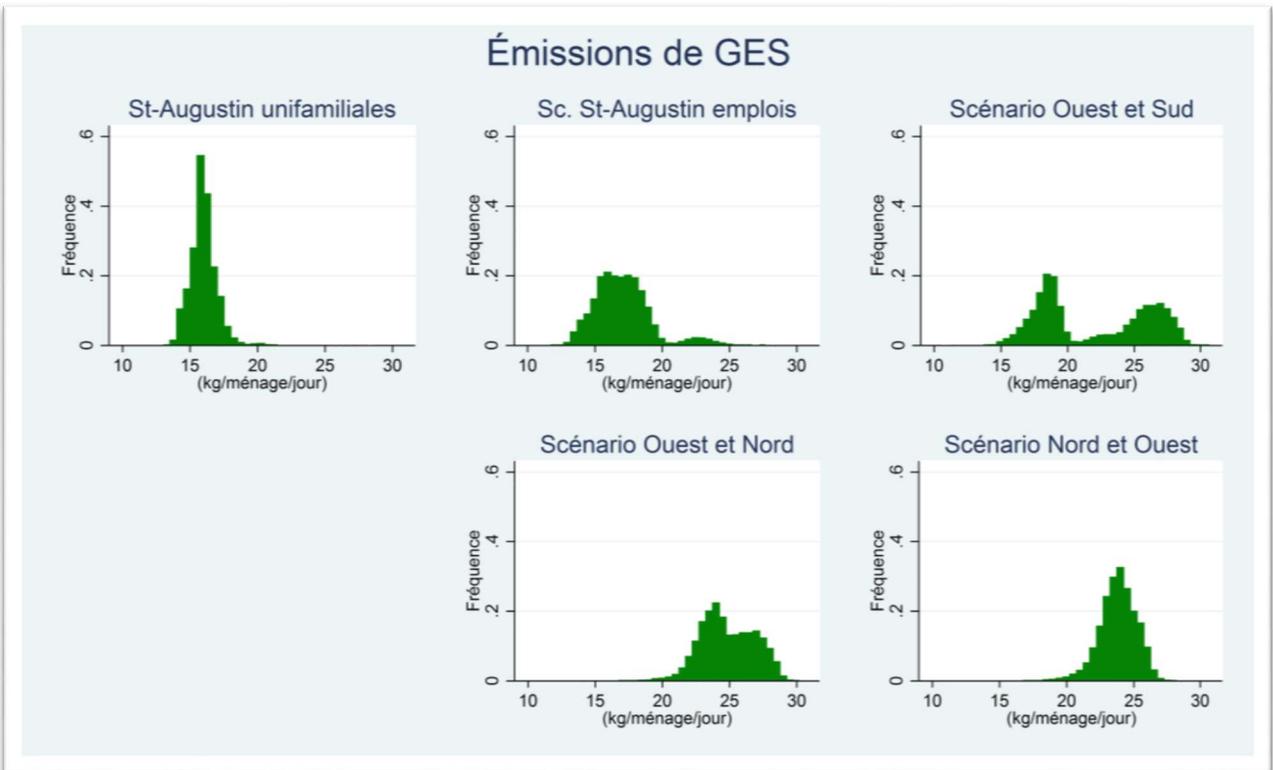
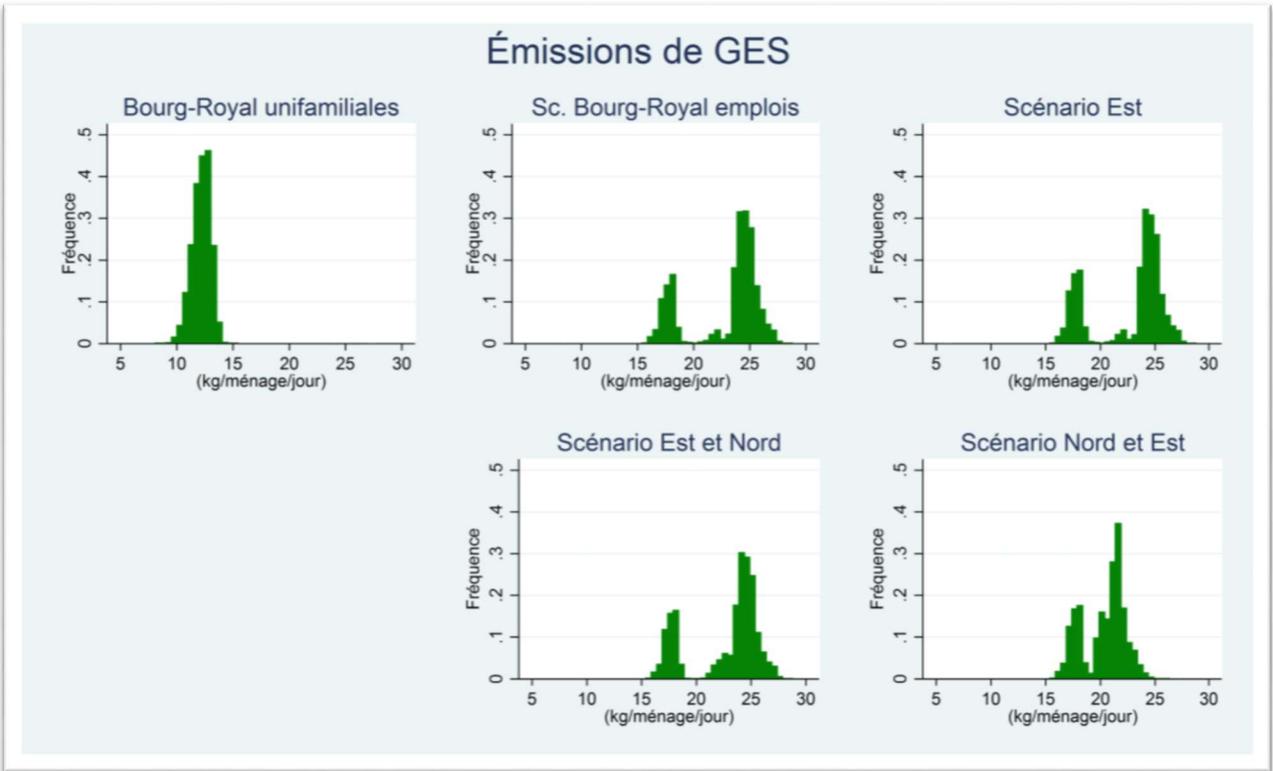


Figure 4.9. Distribution de fréquence des émissions de GES pour le transport de personnes (kilogrammes / ménage / jour) par scénario