

INVENTAIRE ET PROSPECTIVES DES ÉMISSIONS DE GES DANS LE SECTEUR DU TRANSPORT DES PERSONNES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE ET MUNICIPALE

(Projet R707.1)

Résultats de l'analyse désagrégée et agrégée

Philippe BARLA, Université Laval

Luis MIRANDA-MORENO, McGill University

Réalisé pour le compte du ministère des Transports

Décembre 2014



Ce rapport a été préparé dans le cadre d'un projet de recherche financé par le ministère des Transports du Québec – projet R.701.1. Les opinions exprimées dans ce texte sont cependant uniquement celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions du ministère des Transports du Québec.

Auteurs

Philippe Barla
Professeur titulaire
Centre de données et d'analyse sur les transports (CDAT)
Département d'économique
Université Laval
philippe.barla@ecn.ulaval.ca
Tel : (418) 656 7707

Luis Miranda-Moreno
Professeur associé
Department of Civil Engineering
Mc Gill University
luis.miranda-moreno@mcgill.ca
Tel: (514)-398-6589

Contributions de

Mathieu Gilbert-Gonthier, professionnel de recherche au CDAT (U. Laval)
Anne Chang, étudiante de maîtrise (McGill)
Martine Guay, technicienne en administration CDAT (U. Laval)
Amir Sahabi, étudiant au doctorat (McGill)
Zachary Patterson, professeur adjoint (U. Concordia)
Carlos Ordás Criado, professeur adjoint (U. Laval)

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce projet. Nous remercions Monsieur Alain Rajotte qui a initié ce projet en tant que Coordonnateur au Service du développement durable du ministère des Transports (MTQ). Nous remercions également les membres du comité de suivi du projet au ministère des Transports, Monsieur Pierre Tremblay, Chef du Service de la modélisation des systèmes de transport, Madame Nadia Desfossés, économiste et Martin Hotte du Service du développement durable et des systèmes de transport intelligents pour leurs précieux commentaires et pour leurs suggestions. Ce projet a aussi grandement profité du soutien dans l'analyse géographique des données de Monsieur Louis Rousseau, analyste Géomatique et Transports au MTQ. Nous remercions également Audrey Turcotte et Suzanne Hénault, conseillères à la recherche au MTQ.

SOMMAIRE

Pour lutter contre les changements climatiques, la province de Québec s'est fixée l'objectif de réduire de 20 % ses émissions de gaz à effet de serre en 2020 par rapport à 1990. Pour atteindre cet objectif, tous les secteurs devront contribuer et notamment celui des transports. Les pouvoirs publics incluant les autorités locales sont donc à la recherche de mesures efficaces afin de réduire la consommation de carburants fossiles liée aux activités de transport. Les actions adoptées ou envisagées incluent des stratégies de densification et de diversification de l'utilisation du sol, l'amélioration du transport en commun et actif ainsi que des mesures en faveur de véhicules éco énergétiques. En vue d'évaluer ces mesures, il est important de disposer d'inventaires régionaux de la consommation de carburant et des émissions de gaz à effet de serre (GES) responsables des changements climatiques. Il est aussi important de comprendre les sources des variations des émissions dans le temps et entre les régions afin d'établir par la suite des scénarios pour le futur. Cette recherche contribue aux développements de ces éléments.

Plus spécifiquement, les objectifs de ce projet de recherche sont :

- établir des bilans régionaux de la consommation de carburant et des émissions GES produites par les véhicules légers au Québec;
- établir un bilan des émissions de GES produites par le transport en commun à Montréal, Québec et Sherbrooke ;
- mettre en évidence les principaux déterminants des quantités d'émissions calculées et analyser les tendances ;
- établir des projections de la demande en carburant et des émissions de GES à l'horizon 2021 en fonction de différents scénarios technologiques, socio-économiques et de politiques publiques.

Ce rapport est divisé en deux parties complémentaires :

- La partie 1 ou analyse désagrégée exploite les données des enquêtes origine-destination de la région de Montréal, Québec et Sherbrooke. Les bilans et l'analyse s'effectuent au niveau des individus et des ménages. Ce niveau d'analyse permet d'étudier plus particulièrement le rôle de l'environnement bâti (EB) et l'accessibilité au transport en commun, ainsi que les différences spatiales dans l'efficacité du parc de véhicules légers immatriculés en milieu urbain. Ces effets sont

identifiés principalement en exploitant la variabilité spatiale des comportements des usagers entre les quartiers.

- La partie 2 ou analyse agrégée utilise des données sur les ventes d'essence pour la période 2004 à 2009 dans 37 marchés territoriaux au Québec. Dans cette partie, les variabilités spatiale et temporelle sont exploitées afin de mettre en évidence les effets du prix de l'essence, du revenu disponible des ménages et des tendances sur les ventes d'essence et les émissions de GES.

Les principaux résultats de l'analyse désagrégée des déterminants des émissions de GES sont :

- Les indicateurs qui caractérisent l'environnement bâti comme la densité de population, la mixité des quartiers et l'accessibilité au transport en commun, sont associés à une réduction du bilan des émissions de GES des résidents. Les effets sont cependant relativement modestes. Par exemple, à Montréal, nous montrons qu'une hausse de 10% de la densité de population engendrerait une réduction de seulement 3% des GES à l'horizon 2021. L'impact est encore un peu plus faible dans les deux autres régions métropolitaines de Québec et Sherbrooke. L'ordre de grandeur de ces effets est toutefois conforme à ce qui est rapporté dans la littérature internationale.
- Des réductions significatives dans le bilan des GES par personne et par ménage sont observées dans la région de Montréal de 1998 à 2008. Ainsi les émissions de GES par personne ont baissé de 7% au cours de la période, principalement à la suite d'une baisse de la distance parcourue en automobile per capita et de l'amélioration de l'efficacité énergétique de la flotte.

L'analyse agrégée permet de faire les constats suivants :

- Les ventes d'essence per capita sont en moyenne de 905 litres par année. Elles varient cependant considérablement entre les régions. Ainsi par exemple, les ventes en milieu rural sont 50% plus importantes qu'en milieu urbain.
- Pour l'ensemble des régions couvertes, les tendances sont à la baisse avec une réduction annuelle moyenne de -1.16% pour les quantités d'essence vendue per capita et -1.46% pour les émissions de GES per capita. Les réductions proviennent essentiellement des régions

urbaines (-1,7% moyenne annuelle) alors que les marchés ruraux ont connu des hausses dans les ventes d'essence per capita (+1,5%) au cours de la période d'analyse.

- Les variations saisonnières des ventes d'essence diffèrent suivant les marchés. Sans surprise, les marchés affectés par des activités touristiques ou saisonnières connaissent des fluctuations importantes au fil des saisons. Les ventes d'essence dans la région de Montréal diminuent de manière marquée en été (environ -7%).
- L'impact du prix de l'essence sur les ventes d'essence est faible et varie relativement peu d'un marché à l'autre.
- L'effet du revenu disponible sur les ventes d'essence est beaucoup plus variable entre les marchés. L'effet semble plus prononcé dans les marchés urbains mais ce résultat est peut-être lié à des difficultés méthodologiques.

Les deux approches mettent donc en évidence une baisse tendancielle dans l'usage de l'automobile en milieu urbain. Cette baisse combinée à l'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules aboutit à des réductions dans la consommation de carburant et les émissions de GES per capita. Par contre, la croissance de la population en milieu urbain contrecarre en partie ces baisses dans le bilan total.

Ces différents éléments se combinent dans l'analyse des scénarios à l'horizon 2021. Le scénario de référence suppose la poursuite des tendances et prend en compte les politiques publiques pertinentes déjà adoptées comme les normes canadiennes sur les émissions de GES des nouveaux véhicules. Selon l'approche agrégée, la baisse dans les ventes d'essence serait de l'ordre de 25% en 2021 par rapport à 2009. Cette baisse s'expliquerait principalement par l'amélioration de l'efficacité des véhicules légers engendrée par les normes et par la baisse tendancielle dans l'usage en milieu urbain. La réduction pourrait atteindre 32% dans un scénario technologique où l'amélioration de l'efficacité des véhicules serait encore renforcée. Les résultats avec l'approche désagrégée pour la région de Montréal sont assez similaires avec une réduction de l'ordre de 20% dans le scénario de référence et 28% dans un scénario technologique. Pour Québec et Sherbrooke, les résultats entre les deux approches ne sont pas directement comparables

puisque les tendances ne sont pas prises en compte dans l'approche désagrégée.

Cette recherche met donc en évidence le rôle important des politiques publiques visant l'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules et la baisse tendancielle dans l'usage de l'automobile per capita en milieu urbain. Les politiques basées sur des modifications de l'environnement bâti peuvent jouer un rôle mais exigent des changements importants pour réduire de manière significative les émissions. L'impact d'une hausse de prix de l'essence semble avoir très peu d'effet.

Bien entendu, il convient d'être très prudent dans l'interprétation de ces résultats et de tenir compte des limites de l'analyse. Soulignons particulièrement les deux limites suivantes. Premièrement, les tendances estimées dans l'analyse agrégée sont basées sur une période assez courte (2004 à 2009) qui plus est, a été marquée par une crise financière majeure. Notre mesure de l'effet du prix de l'essence est sans doute aussi affectée par l'utilisation de données sur seulement cinq ans. Il est en effet probable que nous ne mesurerons pas l'effet à long terme. Deuxièmement, notre prévision de l'évolution de l'efficacité énergétique des véhicules à l'horizon 2021 est basée sur une approche extrêmement simple. Une modélisation beaucoup plus complexe serait certainement nécessaire afin de tenir compte de toutes les répercussions possibles engendrées par ces normes. Finalement, dans l'analyse désagrégée, les tendances temporelles observées devront être validées avec l'ajout de données plus récentes (par exemple, enquête origine-destination de 2013 pour Montréal).

Partie 1 : Analyse désagrégée

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	5
2. OBJECTIFS GÉNÉRAUX ET SPÉCIFIQUES	6
3. LE CONTEXTE	7
3.1 La littérature sur les GES, l'EB et l'accessibilité aux transports en commun	8
3.2 La littérature sur les GES et les technologies vertes	9
4. MÉTHODOLOGIE	13
5. LES DONNÉES.....	17
5.1 Les enquêtes O-D	17
5.2 Les taux de consommation de carburant (TCC).....	19
5.3 Les indicateurs de l'environnement bâti (EB).....	23
6. LA MODÉLISATION DES ÉMISSIONS DE GES	29
7. LES RÉSULTATS.....	31
7.1 L'inventaire des émissions	32
7.2 Les résultats des régressions	39
7.2.1 <i>Une analyse en trois vagues pour la région de Montréal</i>	40
7.2.2 <i>Analyse de trois régions: Montréal, Québec et Sherbrooke</i>	44
8. LA FORMULATION DES SCÉNARIOS	50
9. LES RÉSULTATS DES SCÉNARIOS	54
10. CONCLUSIONS.....	58

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Statistiques descriptives sur les enquêtes O-D utilisées.....	19
Tableau 2	Sommaire des TCC par région et année à l'échelle des RTA.....	21
Tableau 3	Sommaire des statistiques sur l'EB par région et par année	25
Tableau 4	Sommaire des distances quotidiennes parcourues et des GES à l'échelle des ménages, par région et par groupe	35
Tableau 5	Sommaire des distances quotidiennes parcourues et des émissions de GES à l'échelle individuelle par région.....	36
Tableau 6	Résultats du modèle log-linéaire pour des émissions des ménages	42
Tableau 7	Résultats du modèle log-linéaire pour émissions individuelles ..	43
Tableau 8	Résultats du modèle log-linéaire (MCO) pour GES totaux des ménages	46
Tableau 9	Résultats des modèles MCO et MES pour des GES totaux des ménages avec variables de choix groupe-véhicule léger.....	49
Tableau 10	Taux de consommation de carburant pour les trois régions métropolitaines.....	52
Tableau 11	Scénarios de référence, technologique et de densification de la population pour 2021.....	56

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Consommation de carburant des autobus en fonction de la vitesse	17
Figure 2	Distribution « normalisée » des TCC des véhicules légers par enquête O-D	20
Figure 3	Distribution des TCC à l'échelle des RTA pour la région de Montréal, 2008	21
Figure 4	Distribution des TCC à l'échelle des RTA pour la région de Québec, 2006	22
Figure 5	Distribution des TCC à l'échelle des RTA pour la région de Sherbrooke, 2003	23
Figure 6	Indicateurs de l'EB et typologies des quartiers pour la région de Montréal, 2008.....	27
Figure 7	Indicateurs de l'EB et typologies des quartiers pour la région de Québec, 2006	28
Figure 8	Indicateurs de l'EB et typologies des quartiers pour la région de Sherbrooke, 2003	29
Figure 9	Émissions quotidiennes de GES (kg de CO ₂) par secteur de recensement pour les trois enquêtes O-D à Montréal	37
Figure 10	Émissions quotidiennes de GES (kg de CO ₂) par secteur de recensement au Québec et Sherbrooke.....	39

1. INTRODUCTION GÉNÉRALE

En novembre 2009, le premier ministre du Québec a annoncé la décision de la province de fixer une cible de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) de 20% sous le niveau de 1990 d'ici 2020. Il est reconnu qu'une partie des efforts nécessaires pour atteindre cette cible doit provenir du secteur des transports et, en particulier, du transport routier.

En tenant compte de la relation linéaire entre la consommation de carburants fossiles et les émissions de GES, toute réduction des émissions dans le secteur des transports présuppose une réduction de la consommation de ce type de carburant. Cette observation est pertinente étant donné que les coûts associés à l'importation de pétrole sont principalement responsables du déficit du compte courant du Québec en plus d'être un facteur influençant le niveau de compétitivité des produits québécois sur les marchés étrangers. De plus, dans un contexte où des augmentations des prix des carburants sont anticipées, toute action visant à atteindre les objectifs de réduction des émissions de GES pourrait avoir des retombées économiques majeures qui affecteront les acteurs de la planification et de l'opération du système de transport. L'effort nécessaire pour atteindre les objectifs représentera un défi pour les régions et les autorités locales puisque le transport des personnes et des biens est une des sources les plus importantes d'émissions de GES. Il est pertinent de mentionner que les efforts visant à réduire les émissions de GES produiront des bénéfices qui amélioreront progressivement la compétitivité de l'économie québécoise à l'échelle régionale et urbaine. Il est également important de développer une meilleure connaissance des retombées économiques et énergétiques afin de mieux définir les priorités, les délais, les bénéfices-coûts et les répercussions attendues ainsi que les rôles et les responsabilités des différents acteurs.

Dans ce contexte, le présent projet vise à créer des inventaires des émissions et de la consommation de carburant liée au transport des personnes dans les régions du Québec, en particulier dans certaines de ses plus grandes régions métropolitaines. Dans une deuxième étape, des analyses économétriques sont développées pour l'identification des déterminants de la consommation de carburants fossiles et des émissions de GES. Par la suite, plusieurs scénarios sont étudiés. Ces scénarios prennent en compte les tendances observées dans le passé et futur de l'effet possible de divers facteurs comme les changements dans l'environnement bâti (EB), l'accessibilité au transport en commun, l'arrivée de nouvelles technologies (« technologies vertes »), les

normes canadiennes d'émissions de GES des véhicules légers (VL), les prévisions démographiques et socioéconomiques ainsi que le prix du pétrole.

2. OBJECTIFS GÉNÉRAUX ET SPÉCIFIQUES

Les objectifs principaux du projet de recherche sont :

- la constitution d'une base de connaissances sur les facteurs contribuant à la consommation de carburants fossiles et la production d'émissions de GES liées au transport des personnes aux niveaux municipal et régional ;
- une meilleure compréhension des conséquences d'une réduction des émissions de GES dans le secteur des transports aux niveaux municipal et régional ;
- une meilleure compréhension des difficultés associées à l'élaboration et à l'implémentation de politiques liées aux émissions de GES aux niveaux provincial et municipal.

Les objectifs spécifiques de ce projet de recherche sont :

- a) l'établissement des inventaires régionaux de la consommation de carburant et des émissions de GES attribuables aux véhicules légers au Québec ;
- b) l'établissement d'inventaires des émissions de GES par personne attribuables aux transports (VL ou transport en commun) à Montréal, Québec et Sherbrooke. Il est important de noter que ces inventaires sont produits à partir d'enquêtes origine-destination (O-D) qui tiennent compte de tous les déplacements de personnes en véhicule motorisé dans une journée d'automne, en excluant les déplacements dont l'origine ou la destination se situe en dehors de la région à l'étude ;
- c) l'analyse des tendances et l'identification des déterminants principaux des niveaux d'émissions calculés en a) et b) ;
- d) l'établissement de scénarios de tendances d'émissions pour 2021 d'après différents scénarios socioéconomiques, technologiques et de politiques publiques.

3. LE CONTEXTE

Le secteur des transports est responsable d'environ 30% des émissions de GES en Amérique du Nord (IEA 2009), les VL contribuant à plus de la moitié de ces émissions. Étant donné l'importance de l'hydroélectricité au Québec, la part des émissions des véhicules VL y est particulièrement élevée, représentant plus de 22% des émissions totales. Celles-ci ont d'ailleurs augmenté de 19,5% depuis 1990, ce qui est comparable à la tendance observée au Canada et aux États-Unis. Afin de limiter le réchauffement climatique, les autorités politiques dans le monde recherchent des stratégies pour réduire les émissions de GES dues aux véhicules routiers. Par exemple, le gouvernement du Québec en 2011 visait une réduction globale des émissions de GES de 20% sous le niveau de 1990 d'ici 2020.¹

Il existe une abondante littérature traitant des retombées de différentes stratégies et politiques visant la réduction des émissions de GES liées aux transports. Parmi ces stratégies, une grande attention a été portée aux répercussions potentielles de l'EB et des technologies vertes aux niveaux individuel, des ménages et/ou régional. Le but des stratégies concernant l'EB est de réduire la dépendance à l'automobile en construisant des quartiers denses, diversifiés et bien conçus qui comprennent des systèmes de transport en commun efficaces. Du côté technologique, plusieurs études ont examiné les retombées de l'arrivée de technologies automobiles alternatives comme les voitures hybrides en plus de s'intéresser à l'amélioration des normes d'efficacité énergétique des véhicules à essence. Néanmoins, ces stratégies variées pourraient avoir des retombées considérablement disparates suivant le contexte de la région urbaine en question. Comme l'atteste la littérature, des changements coordonnés entre plusieurs aspects de l'amélioration l'EB et de l'introduction des technologies plus efficaces pourraient mener à des réductions plus significatives de la dépendance aux carburants fossiles.

¹ Voir le document : « État des lieux de la lutte contre les Changements Climatiques au Québec », 2011, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs.

3.1 La littérature sur les GES, l'EB et l'accessibilité aux transports en commun

Pour une revue plus complète de la littérature concernant l'influence de l'EB sur les trajets routiers, le lecteur peut se référer aux travaux de Bento et al. (2003), Badoe et Miller (2009), TRB special report (2009) et Barla et al. (2010a, 2010b). D'après les résultats principaux de ces études, on conclut que les caractéristiques de l'EB telles que : la densité de population ou la composition des utilisations du sol, ont des répercussions peu importantes, mais statistiquement significatives. En fait, dans la plupart des cas, les chercheurs ont établi que les indicateurs de l'EB et de l'accessibilité au transport en commun génèrent des impacts limités sur les indicateurs de mobilité urbaine. L'ampleur de ces impacts semble toutefois beaucoup plus importante lorsque l'EB est représenté par types de quartiers (Zahabi et al., 2013a; Miranda-Moreno et al., 2011). Cela signifie que d'importants changements simultanés dans l'EB et dans l'offre de services de transports en commun sont nécessaires pour réduire les émissions de GES associées à l'usage des VL. Par exemple, Bento et al (2005) ont calculé des élasticités proches de 0,1 pour différents indicateurs de forme urbaine et d'accessibilité au transport en commun. Par ailleurs, les auteurs estimaient qu'il serait possible de réduire l'utilisation des voitures de 25% si l'EB et l'accessibilité au transport en commun d'une ville comme Atlanta étaient transformés pour ressembler à ceux de la ville de Boston. Dans une revue de littérature plus récente du Transportation Research Board (2009), les auteurs rapportaient des élasticités entre -0,1 et -0,24 pour la distance parcourue avec densités résidentielles (c'est-à-dire une augmentation de 10% de la densité résidentielle entraîne une réduction de 1 à 2,4% de la distance du déplacement). Dans le contexte local (ville de Québec), Barla et al (2010a) démontraient également qu'il y a un impact statistiquement négatif de l'EB et de l'accessibilité au transport en commun sur les GES. Comme dans la documentation des États-Unis, l'impact individuel de chaque indicateur de l'EB est faible. Les auteurs rapportaient qu'une densité de population 10% plus grande produit une diminution des GES associée aux transports de moins de 2%. Dans une autre étude américaine récente (État de Washington), Hong and Goodchild (2014) comparaient l'influence de l'EB sur les émissions dans des zones urbaines et semi-urbaines tout en tenant compte de la vitesse et des caractéristiques du véhicule. Ils trouvent également de faibles élasticités pour les émissions tenant compte de la densité résidentielle, de l'entropie et de la densité d'intersection (autour de 1% pour chaque indicateur individuel). Cependant, lorsque les élasticités sont combinées (somme), ils constataient qu'une augmentation

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

simultanée de 10% des trois facteurs de l'EB peut entraîner des réductions d'émissions de 3,1 à 3,4% dans les zones urbaines. Dans une autre étude récente de Liao et al. (2013), la corrélation entre les changements de l'EB et les GES dans les zones urbaines à Taiwan est analysée. Entre autres choses, les résultats suggèrent que les relations entre l'EB et les GES dans les zones urbaines varient considérablement en fonction des caractéristiques résidentielles et des transports. Cela fait ressortir l'importante variabilité des taux de GES observée selon le type de quartier. Une observation similaire est soulignée dans des études récentes conduites en milieu urbain au Québec où une importante variabilité d'utilisation des voitures et des GES est relevée selon la zone résidentielle (Miranda-Moreno et al., 2011; Zahabi et al., 2013). Malgré le fait que les indicateurs d'EB et d'accessibilité au transport en commun ont de faibles impacts sur les GES à l'échelle régionale, les taux d'émissions (par habitant ou pour le ménage) peuvent largement varier selon les caractéristiques de la région étudiée.

3.2 La littérature sur les GES et les technologies vertes

En ce qui concerne les retombées des technologies émergentes, le lecteur peut se référer à Zamel et Li (2006), à Schafer et al. (2006) et à Wee et al. (2005), qui ont évalué différentes technologies automobiles en Amérique du Nord et en Europe. Par ailleurs, il existe de nombreuses recherches sur les technologies des véhicules à combustion interne (VCI), les véhicules hybrides électriques (VHE) et les véhicules à piles combustibles (VPC). Ces recherches portent sur différents contextes et ont recours à des analyses du cycle de vie (ACV) en fonction de l'énergie de consommation et des émissions. Parmi les études rapportées, Zamel et Li (2006) font une ACV complète d'un VCI et d'un VPC. Ils soulignent notamment les limitations de la technologie VPC, comme le coût élevé, le manque d'infrastructure de recharge, l'autonomie de la batterie et différents problèmes techniques non résolus. Leurs résultats suggèrent que c'est l'utilisation du charbon pour l'obtention d'hydrogène qui génère le plus d'émissions et consomme le plus d'énergie². En comparant les cycles de vie globaux d'un VCI et d'un VPC, les émissions totales du VPC s'avèrent être 49% moins importantes que celles du VCI tandis que la consommation d'énergie est 87% plus basse. Schafer et al. (2006) se concentrent sur l'utilisation d'énergie et les émissions de GES provenant de différentes configurations de VPC, puis ils comparent les valeurs obtenues aux

² La production d'hydrogène à partir d'eau ou de gaz naturel nécessite une source d'énergie constante laquelle est à l'origine de GES supplémentaires dans la plupart des pays.

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

caractéristiques anticipées de véhicules à essence et diesel de taille et de performance semblables sur leur durée de vie. Leur analyse suggère que dans les vingt prochaines années, les nouveaux véhicules hybrides à combustion interne pourraient atteindre des réductions de consommation énergétique et d'émissions de GES comparables à ceux des VPC à hydrogène, si l'hydrogène est dérivé du gaz naturel. Cependant, les répercussions des véhicules éco énergétiques sur le parc automobile dépendent du temps requis pour les nouvelles technologies pour devenir concurrentielles et d'augmenter leur pénétration dans le parc de VL immatriculés. Wee et al. (2005) cherchent à démontrer comment des approches méthodologiques peu rigoureuses couramment utilisées peuvent mener à de graves erreurs dans l'estimation des impacts environnementaux. Leur étude démontre que les variations des émissions de GES, telle que celles issues de la réglementation, sont souvent considérées seulement sur un horizon temporel limité et donc que de prolonger la période d'analyse des facteurs d'émissions représenterait une importante amélioration.

Depuis quelques années, les bénéfices des VHE sur l'amélioration de l'efficacité énergétique et de la réduction des émissions de GES attirent également beaucoup d'attention. Récemment les chercheurs se sont concentrés sur l'évaluation du rendement de carburant des VHE dans les conditions réelles de conduite. Par exemple, Fontaras et al. (2008) testaient la performance de deux VHE répandus (Honda Civic IMA et Prius II) afin de mesurer l'économie d'essence et les émissions polluantes en utilisant des simulations de cycles du monde réel. Les auteurs indiquaient que pour les vitesses supérieures, la différence en économie de carburant diminue entre les VHE et les voitures à essence conventionnelles. Les économies de carburant des deux VHE en milieu urbain sont de 40% et 60% respectivement. Dans une autre étude conduite par Alvarez et al. (2012), les auteurs s'intéressaient aux avantages des VHE dans des conditions de basses températures ambiantes et de démarrages à froid, l'idée étant de mesurer la consommation de carburant et les émissions de CO₂ dans des conditions réelles. Malgré les avantages importants que présentent les VHE, ils ont remarqué que des températures basses peuvent affecter le bon fonctionnement de l'organe de transmission pendant les périodes de réchauffement du moteur et de conduite normale, ce qui affecte à son tour la consommation de carburant et les émissions. Ils ont constaté que pour un VHE, dans des conditions de basses températures, les émissions additionnelles occasionnées par le démarrage étaient réduites de 30% par rapport aux véhicules conventionnels. Par ailleurs, bien que dans des environnements urbains congestionnés les VHE présentent des avantages intéressants, l'autonomie de ces derniers est limitée dans des conditions de basses températures. Dans une étude très récente au Québec, Zahabi et al.

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

(2014) étudiaient la consommation de carburant en utilisant des données calculées à l'échelle des segments, dans des conditions réelles, à partir d'un échantillon de 74 véhicules dont 21 sont des VHE. Entre autres résultats, les avantages en matière d'économie de carburant sont soulignés, en particulier, à basse vitesse et dans les zones urbaines. En contrôlant d'autres facteurs, les VHE sont 28% plus efficaces que les VL traditionnels. Cependant, les basses températures en dessous de 0°C, régulièrement observées pendant la saison d'hiver, affectent négativement l'économie de carburant. En hiver, l'efficacité énergétique des VHE diminue de 20% par rapport à la saison d'été. L'efficacité énergétique des véhicules moteurs à combustion interne (MCI) est aussi affectée en hiver mais l'impact est plus faible.

Concernant les autobus, de nombreuses études s'interrogeaient sur les carburants alternatifs : le gaz naturel comprimé (GNC), le gaz naturel liquéfié (GNL), le bioéthanol, le biodiesel, l'électrique, le diesel-électrique hybride, l'hydrogène et les gaz de pétrole liquéfiés - ex., Beer et al. (2002); Karman (2006); Frey et al. (2007); Ryan and Caulfield (2010); Chan et al. (2013). Les chercheurs ont effectué des ACV malgré la difficulté de collecte des données durant les périodes de transit. Ils avancent que les émissions pendant la période de service sont les plus élevées, et peuvent représenter jusqu'à deux tiers de la consommation d'énergie et des émissions de GES (Chester et al., 2008). Parmi les études réalisées sur le transport en commun, le lecteur est invité à consulter Yan et Crookes (2009). Dans cette étude, les véhicules à carburants alternatifs étaient comparés aux véhicules diesel standards. Dans la plupart des cas, les auteurs y démontraient que la technologie des bus diesel entraîne des cycles de vie avec plus d'émissions que les technologies alternatives. Plusieurs études ACV comparent également les émissions de bus avec des technologies diesel et gaz naturel (Ally et Prior, 2007; Beer et al. 2002; Karman, 2006; Rabl, 2002; Yan et Crookes, 2009). Ces études démontraient généralement que les bus fonctionnant au gaz naturel présentaient des réductions d'émissions modestes et parfois nulles. Dans certains cas, des chercheurs documentent les avantages des bio GNC. Par exemple, une étude en Irlande faisait état d'une réduction de 63% par rapport aux bus utilisant du GNC traditionnel (Ryan and Caulfield, 2010). Par ailleurs, il existe un grand intérêt pour les biocarburants comme le bioéthanol et le biodiesel. Les émissions de GES sur l'ACV du bioéthanol dépendent largement de la matière première utilisée. Par exemple, le bioéthanol produit à partir de colza et de soja présente un bilan des émissions de GES sur le cycle de vie largement inférieur : 25 g/MJ et 30 g/MJ respectivement (Yan et Crookes, 2009). Ainsi, la combustion de carbone non fossile compense plus que largement la quantité significative de GES émise dans l'étape de production (Beer et al., 2002).

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

Les technologies des bus entièrement électriques sont apparues sur le marché depuis quelques années. Ce type de bus élimine les émissions polluantes, mais il nécessite l'utilisation d'une infrastructure de recharge électrique.³ Aussi, une technologie de transition propose des hybrides diesel électriques, en attendant que des bus purement électriques fonctionnent plus efficacement. Les études ACV sur les bus électriques ou hybrides sont rares, pourtant ces bus offrent des avantages évidents puisque la consommation de carburant est proportionnelle aux émissions de GES. Par exemple, une étude dans la ville de Mexico suggérait que les bus hybrides électriques aient une très bonne efficacité énergétique, que ce soit dans la congestion ou non, par rapport aux bus diesel ou au GNC (Clark et al., 2006, 2009). Un rapport de la Société de transport de Montréal (STM) sur les bus hybrides faisait état d'une réduction de 30% de la consommation de carburant (STM, 2009). Une étude plus récente réalisée dans un couloir à Montréal évalue les technologies de bus alternatives dont les bus biodiesel, GNC, hybrides diesel-électrique, ainsi que diesel conventionnel (Chan et al., 2013). Les chercheurs concluaient, entre autres, que la technologie hybride produit les taux d'émissions les plus bas pendant la période de service ainsi que sur tout le cycle de vie, bien que le GNC ait les plus basses émissions en amont, l'étape de la production. D'après leurs ACV, les avantages environnementaux de la conversion de la flotte d'autobus diesel actuelle en autobus hybrides électriques seraient de plus de 40% dans les couloirs urbains importants. Étant donné les avantages indéniables des technologies hybrides, il n'est pas surprenant que les sociétés de transport québécoises les aient sélectionnées dans leur dernier appel d'offres pour remplacer progressivement leurs flottes d'autobus diesel, par exemple, à partir de cette année 2014, la STM prévoit l'acquisition de bus réguliers à propulsion hybride biodiesel-électrique.⁴

Comme déjà mentionné, ce rapport présente les résultats d'inventaires des GES et l'effet potentiel de changements dans les technologies véhiculaires, dans les indicateurs sociodémographiques, dans les utilisations du sol et dans l'offre de transport en commun dans le contexte du Québec urbain. Plusieurs scénarios sont formulés et leurs impacts sont estimés pour l'année 2021. Cette étude concerne trois régions de la province : Montréal, Québec et Sherbrooke. Une analyse comparative est alors possible entre des régions montrant des populations et des environnements bâtis différents.

³ Par exemple en Suisse, la recharge s'effectue par « biberonnage » à certains arrêts (En ligne : <http://actu.epfl.ch/news/le-bus-tosa-biberonne-son-electricite-a-moindre-co/>)

⁴ Voir le document : « Plan de développement durable 2020 », Société de transport de Montréal (STM). En ligne : <http://www.stm.info/fr/node/3616/developpement-durable>

4. MÉTHODOLOGIE

La méthodologie proposée pour estimer les émissions de GES fait suite à des travaux antérieurs (Barla et al., 2009; Barla et al., 2010; Zahabi et al., 2013). Les étapes à suivre dans cette recherche comprennent:

a) *Le calcul des émissions de GES quotidiennes liées aux déplacements.*

Différents attributs des déplacements comme la vitesse à l'échelle du segment, les caractéristiques du parc automobile, le nombre de passagers et la distance sont considérés. Les émissions de GES sont calculées pour les déplacements de personnes dans la région étudiée. Les déplacements comprennent les trajets en véhicule personnel ainsi que les trajets en transport en commun. Les émissions de GES provenant de déplacements dont l'origine ou la destination se trouve en dehors de la région étudiée ne sont pas comptabilisées.

b) *La détermination d'indicateurs pour l'EB et l'accessibilité au transport en commun.*

Les trois facteurs principaux étudiés sont la densité résidentielle, les utilisations du sol et l'accès au transport en commun. Ces facteurs sont souvent perçus dans la littérature comme ayant un effet important sur l'utilisation des VL. En se basant sur ces trois mesures, des typologies de quartiers seront générées à l'exemple d'analyses existantes (Miranda-Moreno et al., 2011).

c) *L'estimation des répercussions de l'EB et de l'accessibilité au transport en commun sur les émissions de GES.*

Deux modèles sont testés : un modèle de régression des moindres carrés ordinaires (MCO) où les caractéristiques de l'EB et de l'accessibilité au transport en commun sont modélisées directement, et un modèle d'équations structurelles (MES) pour lequel les choix du quartier de résidence et de propriété de véhicules sont modélisés. Ce dernier modèle tient compte du phénomène d'auto sélection.

d) *La formulation et l'évaluation de scénarios.*

En utilisant les déterminants majeurs des émissions de GES relevés dans les étapes précédentes, nous formulons différents scénarios qui tiennent compte des normes existantes d'efficacité énergétique et à venir, de l'EB et des tendances sociodémographiques.

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

Le reste de la présente section contient des détails supplémentaires concernant l'estimation des émissions de GES. Les zones étudiées pour le calcul des émissions de GES se limitent aux régions précédemment mentionnées. De plus, le calcul ne comprend que les émissions de fonctionnement des véhicules. Pour chaque déplacement dans les enquêtes conduites auprès des ménages, deux catégories d'émissions de GES sont distinguées : celles liées aux véhicules personnels et celles liées au transport en commun. Les déplacements multimodaux sont également considérés. En suivant une approche très similaire à celle proposée par Barla et al. (2010), les émissions sont estimées en utilisant la distance et la vitesse moyenne pour chaque segment du trajet.

En d'autres termes, les émissions individuelles pour un déplacement donné i ($i=1, \dots, I$) composé d'un ensemble de segments k ($k=1, \dots, K$) sont estimées comme suit :

$$\text{où } GES_{Aj} = \sum_{k=1}^N \frac{CC_{Aj} \times FE_A \times [D_{Akj} \times VC_{kj}]}{R_{Aj}} \quad (1)$$

- A indique l'automobile, j le déplacement et k le segment.
- GES_{Aj} représente les émissions de GES par personne associées à l'utilisation des VL j en kg de CO_{2e} .
- CC_{Aj} est le taux de consommation de carburant (TCC) moyen en litres d'essence aux 100 kilomètres pour le véhicule utilisé pour le déplacement j . Cette variable est générée en utilisant les données du recensement du parc automobile de la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ) par Barla et al. (2010), qui fournit un TCC moyen à l'échelle des régions de tri d'acheminement (RTA). Le territoire d'une RTA est fondé sur les trois premiers caractères des codes postaux sur ce territoire et correspond approximativement, en termes d'étendue, à un code ZIP aux États-Unis.
- D_k représente la distance parcourue sur le segment k . Les itinéraires sont simulés en utilisant les conditions d'équilibre pour les utilisateurs (EU) dans le modèle de planification des transports EMME/3 développé et calibré par le ministère des Transports du Québec (MTQ). Il est à noter qu'il existe différents modèles pour chaque région étudiée et pour chaque année d'enquête O-D.

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

- VC_{kj} est le facteur de correction de la vitesse pour le segment k. Les TCC sont corrigés d'après les vitesses de déplacement simulées qui dépendent également de l'heure du déplacement. Les facteurs de correction de la vitesse sont aussi générés par le MTQ, (Babin et al., 2004). Ces facteurs sont dérivés en utilisant MOBILE6 et calibrés d'après les conditions locales.
- Le facteur d'émission (FE_A) pour l'essence est de 2,289 kg de dioxyde de carbone (CO_2) par litre⁵. Les émissions de méthane (CH_4) et d'oxyde nitreux (N_2O) ont une valeur moyenne marginale de quelques dizaines de grammes par litre.
- R_{Aj} est le nombre de personnes dans le véhicule lors du déplacement j, incluant le conducteur.

Pour l'autobus, les émissions de GES sont calculées d'après l'équation suivante :

$$GES_{Bj} = \frac{CC(V)_{Bj} \times D_{Bj} \times FE_B}{R_{Bj}} \quad (2)$$

- GES_{Bj} représente les émissions de GES par personne pour la portion autobus du déplacement j en kg de CO_2 .
- $CC(V)_B$ est la consommation de carburant en fonction de la vitesse de fonctionnement (V) en litres de diesel aux 100 km.
- Les TCC pour un autobus typique fonctionnant dans des conditions réelles sont obtenus à partir d'une étude récente de la Société de transport de Montréal (STM). La courbe de consommation de carburant dérivée dans cette étude est $CC(V) = 255,33 \times V^{0,4753}$. La Figure 1 présente cette courbe ainsi que sa comparaison avec le diesel.
- D_{Bj} est la distance parcourue par l'autobus lors du déplacement j (km). Pour chaque déplacement impliquant le transport en commun (autobus, métro et train de banlieue) dans la région de Montréal, les distances sont obtenues en utilisant le logiciel MADIGAS (Chapleau, 1992). Les déplacements ont été simulés par l'Agence métropolitaine de transport (AMT).

⁵ National Inventory Report 1990-2009, Environment Canada –
<http://www.ec.gc.ca/ges-ghg/default.asp?lang=En&n=AC2B7641-1>

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

- FE_B est le facteur d'émission pour le diesel. Ici, un facteur de 2,663 kg CO₂/l de diesel suivant la recommandation d'Environnement Canada pour les conditions urbaines canadiennes⁶.
- R_{Bj} est l'achalandage de l'autobus lors du déplacement j. Dans le cas présent, on utilise une valeur moyenne pour chaque ligne empruntée selon la plage horaire. Ces valeurs sont obtenues des sociétés de transport en commun pour les lignes de bus et les jours de la semaine.
- Pour les lignes de train de banlieue utilisant des locomotives au diesel ou diesel-électrique, la consommation de carburant moyenne par personne-kilomètre (CC/PK) est directement estimée par l'AMT. Le calcul est fait en divisant la consommation de carburant annuelle (en litres de diesel) par les personnes-kilomètres parcourus. La distance parcourue par train (DT) est ensuite estimée pour chaque déplacement (km). En multipliant DT par CC/PK, le nombre de litres de carburant consommés pour le segment de train correspondant est estimé. Pour obtenir la quantité de CO₂ en kg émise pour chaque déplacement, le nombre de litres de carburant consommés pour chaque déplacement est multiplié par le facteur d'émission de CO₂ obtenu d'Environnement Canada, soit 2.663 kg de CO₂ pour chaque litre de diesel consommé par les trains. Les émissions de GES du métro et des trains de banlieue complètement électriques, comme pour la ligne de train Deux-Montagnes à Montréal, sont considérées comme nulles puisque ce mode de transport fonctionne à l'hydroélectricité.

Pour obtenir l'inventaire à l'échelle des ménages, les émissions de GES sont estimées pour chaque déplacement uni-modal ou multimodal des enquêtes origine-destination (O-D). Les émissions liées aux déplacements sont agrégées aux échelles des individus et des ménages.

⁶ National Inventory Report 1990-2009, Environment Canada –
<http://www.ec.gc.ca/ges-ghg/default.asp?lang=En&n=AC2B7641-1>

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

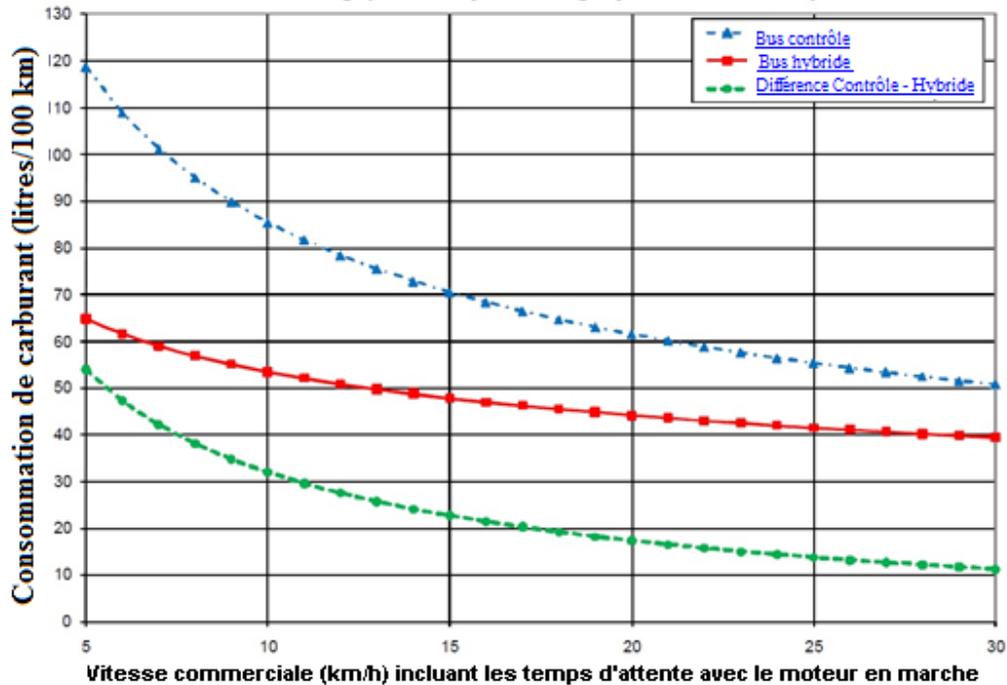


Figure 1 Consommation de carburant des autobus en fonction de la vitesse

5. LES DONNÉES

Les données proviennent des enquêtes O-D pour les différentes régions, des facteurs de consommation de carburant et des variables d'utilisation du sol, comme décrit ci-après.

5.1 Les enquêtes O-D

La source principale de données pour les déplacements est l'ensemble des enquêtes origine-destination (O-D) pour les régions métropolitaines de Montréal, Québec et Sherbrooke. Pour Montréal, nous utilisons les enquêtes O-D des années 1998, 2003 et 2008. Pour Québec, nous utilisons l'enquête de 2006 et pour Sherbrooke, celle de 2003. Ces enquêtes fournissent de l'information sur les déplacements de très grands échantillons représentatifs

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

provenant des régions à l'étude. Les données sont recueillies pour tous les déplacements effectués lors des 24 heures précédentes, sur un jour ouvrable, pour tous les membres d'un ménage âgés de plus de 4 ans.

L'information recueillie lors de chaque déplacement inclut : les coordonnées x-y de l'origine et de la destination, le(s) mode(s) de transport, le but du déplacement, les lignes de transport en commun empruntées, l'heure du départ, etc. De l'information sociodémographique aux niveaux individuel et du ménage est aussi recueillie, incluant le sexe, l'âge, le statut professionnel, la structure familiale, le nombre de véhicules appartenant au ménage et le revenu du ménage. En dépit de variations d'une enquête O-D à l'autre, les caractéristiques sociodémographiques recueillies demeurent constantes au cours des années. Des statistiques descriptives concernant les enquêtes utilisées pour cette étude sont présentées ci-dessous – dans le **Tableau 1**.

On constate, d'après les deux dernières lignes de ce tableau, que le nombre d'observations rapportées dans les enquêtes O-D et celles utilisées dans l'analyse des émissions de GES sont légèrement différents. Ces différences ont plusieurs causes. À Montréal, puisqu'il était préférable d'utiliser une base de données sur 10 ans pour observer les variations dans les caractéristiques, la région d'intérêt a dû être limitée à celle utilisée dans l'enquête O-D de 1998. Ainsi, les observations provenant de l'extérieur de cette région de Montréal en 2003 et 2008 ont été éliminées. Par ailleurs, on doit mentionner ici que les données sur les caractéristiques de la consommation de carburant et l'EB ne font pas partie de l'enquête O-D. Ces variables sont calculées indépendamment et assignées à chaque ménage, ou déplacement rapporté, selon une approche décrite dans les paragraphes suivants. Pour les observations provenant de la région de l'enquête O-D de 1998, seulement une part marginale (de 3% à 4% dans la plupart des cas) a dû être exclue en raison du fait que des données sur les caractéristiques du TCC ou de l'EB sont manquantes.

Tableau 1 Statistiques descriptives sur les enquêtes O-D utilisées

Catégorie	Variable	Montréal			Québec	Sherbrooke
		1998	2003	2008	2006	2003
Sociodémo. par ménage (valeurs moyennes)	N ^{bre} de véhicules légers	1.29	1.20	1.24	1.50	1.49
	N ^{bre} de personnes	2.56	2.33	2.33	2.51	2.42
	N ^{bre} de travailleurs, temps plein	1.13	1.02	0.97	0.99	1.03
	N ^{bre} de travailleurs, temps partiel	0.13	0.11	0.11	0.06	0.11
	N ^{bre} d'étudiants	0.64	0.56	0.53	0.21	0.19
	N ^{bre} de retraités	0.27	0.32	0.42	0.25	0.29
N ^{bre} de déplacements	Déplacements totaux en O-D	417,9 51	329,3 54	354,9 15	224,640	56,387
	Déplacements utilisés dans le calcul des GES	404,1 18	316,1 13	330,5 16	215,654	54,525

5.2 Les taux de consommation de carburant (TCC)

Puisque les données des enquêtes O-D n'incluent pas d'information sur la marque, le modèle ou l'année des véhicules appartenant aux ménages, des données provenant du recensement du parc automobile de la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ) sont utilisées. L'efficacité énergétique de chaque véhicule est obtenue en combinant les données de la SAAQ et de Ressources naturelles Canada (RnCan).

Le CDAT (Centre de données et d'analyse sur les transports, Université Laval) a traité les données originales du recensement du parc de VL québécois provenant de la SAAQ, afin d'obtenir les TCC à partir de la marque, du modèle et de l'année des véhicules. Pour la région de Montréal, la distribution des TCC sur les trois périodes, ou « vagues », est présentée en **Figure 2**. Pour obtenir cette figure, une fonction de densité associée à une loi de probabilité de type normale est ajustée aux données brutes.⁷ On peut clairement voir sur cette figure que l'efficacité énergétique du parc de VL s'est améliorée au cours

⁷ La fonction de densité permet de représenter une loi de probabilité sous forme d'intégrales. Plus concrètement, cela signifie que la probabilité qu'un VL choisi au hasard ait un taux de consommation inférieur ou égal à par exemple 9,5 litres est mesurée par la surface à la gauche de cette valeur et sous la fonction de densité.

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

des 10 ans couvrant les années d'enquête. Les TCC moyens pour 1998, 2003 et 2008 sont de 9,57 l/100 km, 9,36 l/100 km et 9,19 l/100 km, respectivement. Il est à noter qu'il n'y a pas eu de modification au niveau des normes d'efficacité énergétique des VL avant l'année-modèle 2010 et que la première norme fédérale d'émission de GES pour les VL est apparue à compter de 2010. Des statistiques descriptives pour les TCC dans les trois régions d'intérêt sont également présentées dans le **Tableau 2**.

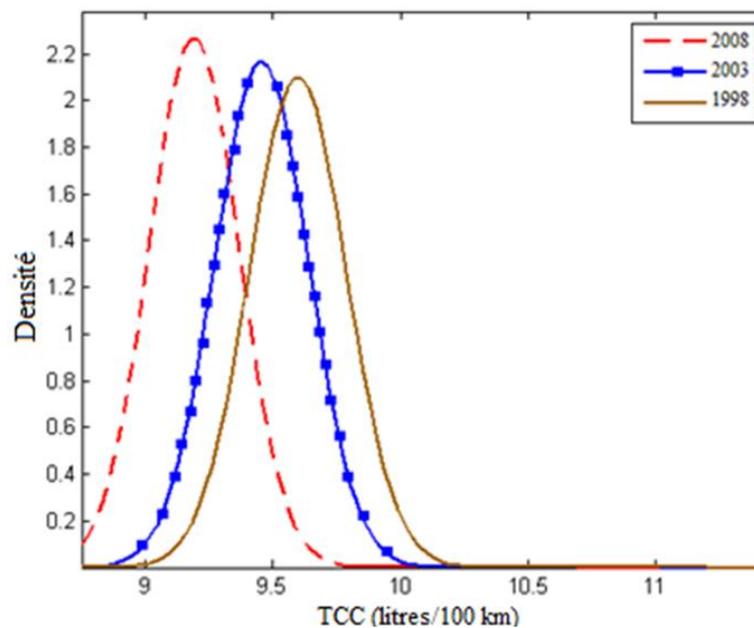


Figure 2 Distribution « normalisée » des TCC des véhicules légers par enquête O-D

Tableau 2 Sommaire des TCC par région et année à l'échelle des RTA

Région	Année	TCC moyen (l/100 km)	Écart-type
Montréal	1998	9.57	0.38
	2003	9.36	0.32
	2008	9.19	0.35
Québec	2006	9.41	0.28
Sherbrooke	2003	9.23	0.34

Les distributions spatiales des TCC à l'échelle des RTA (Région de tri d'acheminement) sont présentées en **Figures 3, 4 et 5**.

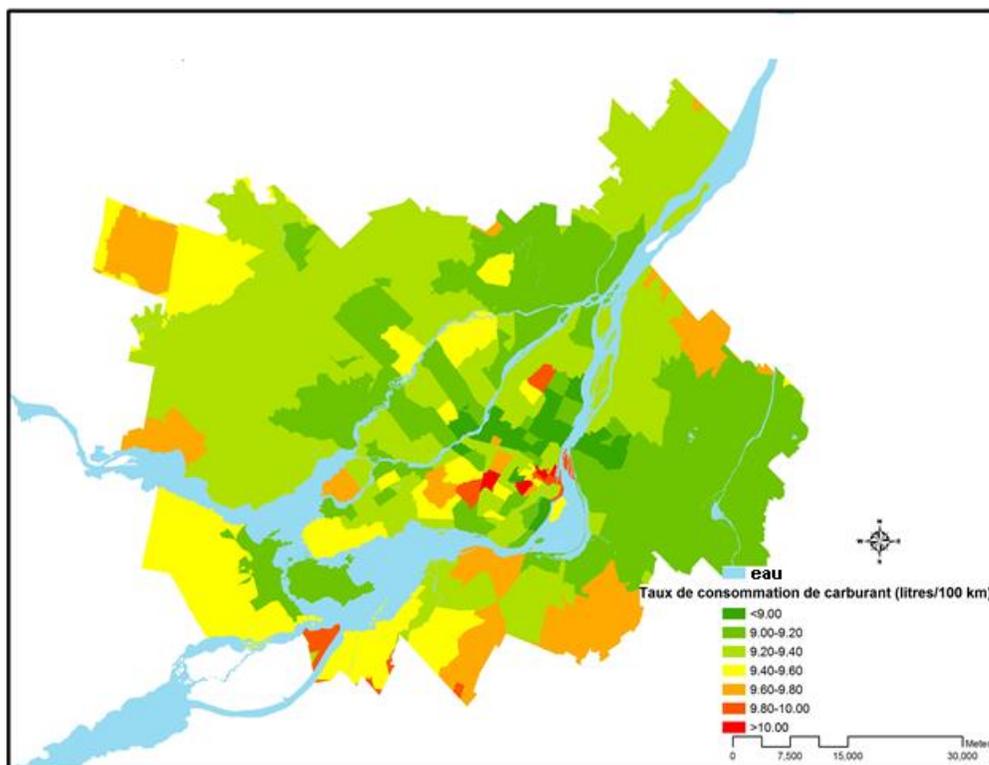


Figure 3 Distribution des TCC à l'échelle des RTA pour la région de Montréal, 2008

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

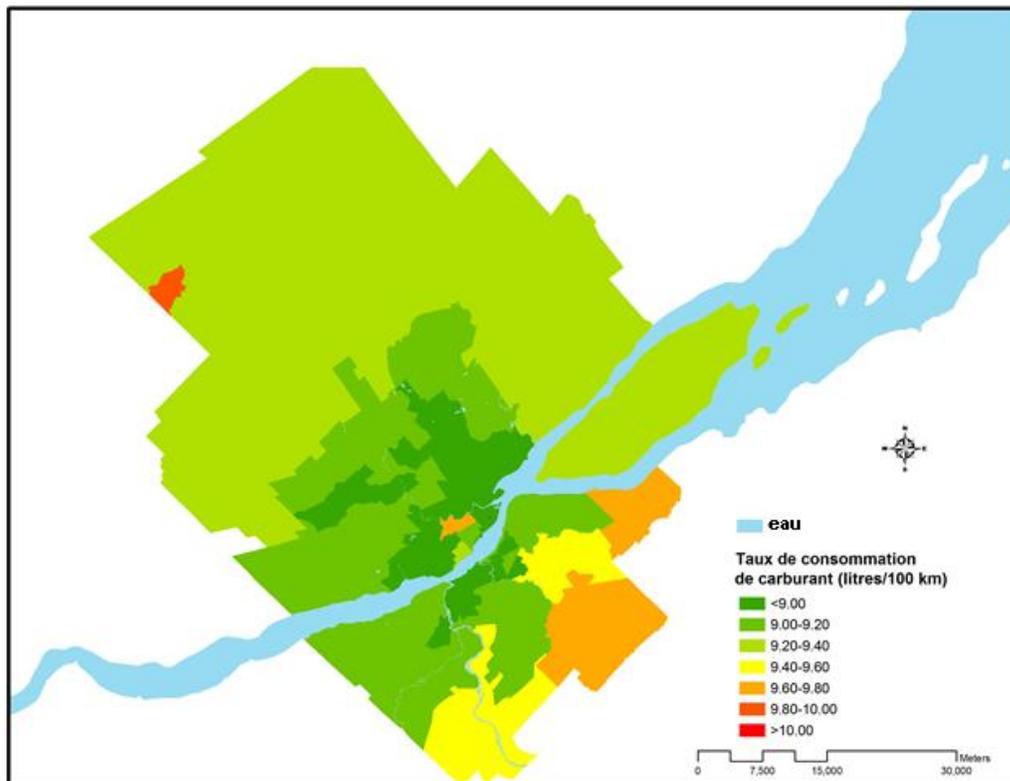


Figure 4 Distribution des TCC à l'échelle des RTA pour la région de Québec, 2006

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

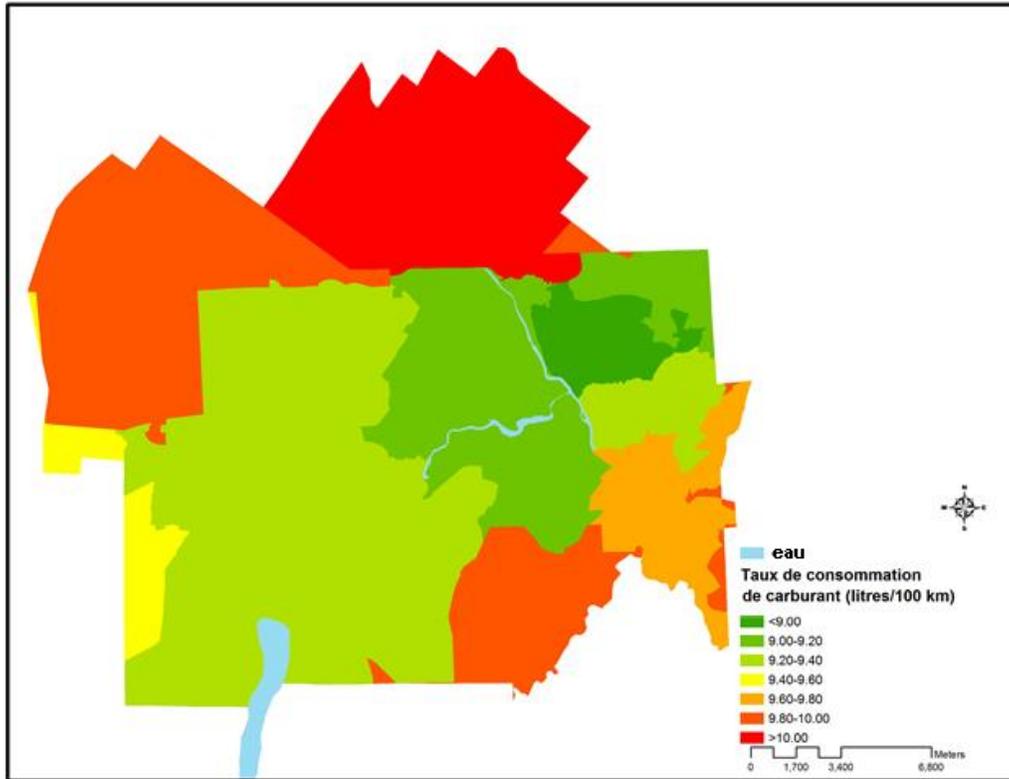


Figure 5 Distribution des TCC à l'échelle des RTA pour la région de Sherbrooke, 2003

5.3 Les indicateurs de l'environnement bâti (EB)

Les trois indicateurs typiquement utilisés pour caractériser l'EB sont la densité de population (habitants par hectare), les utilisations du sol et l'accessibilité au transport en commun. Pour générer ces trois indicateurs au voisinage de chaque ménage, une approche utilisant une grille à 9 cellules est employée (Miranda-Moreno et al., 2011). Cette procédure est suivie afin de conserver les avantages d'une grille régionale tout en palliant partiellement le manque de précision d'une méthode par grille normale. L'approche implique la création de cellules de 500 m sur 500 m pour les régions métropolitaines de recensement (RMR) de Montréal, Québec et Sherbrooke. Chaque groupe de 9 cellules a une cellule centrale. Les attributs des 8 cellules avoisinantes sont considérés également et appliqués à cette cellule centrale. En définissant des cellules de 500 m sur 500 m, la méthode de la grille à 9 cellules crée une zone

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

approximant une région-tampon de 900 m de rayon (le « rayon » minimum est de 750 m et le maximum, de 1061 m). L'avantage principal de cette méthode, en comparaison avec l'utilisation de grandes grilles de 1,5 km de côtés, est qu'elle définit une cellule centrale à laquelle appartiennent les observations et contraint ainsi la distance des observations par rapport au bord de la grille à un minimum de 500 m et un maximum de 1,4 km. Une description détaillée de la méthode se trouve dans Miranda-Moreno et al. (2011).

D'après cette approche, les indicateurs suivants sont construits pour chaque année couverte par l'analyse (1998, 2003 et 2008) :

- Utilisations du sol : à partir de l'approche de la grille à 9 cellules, les utilisations du sol sont évaluées à l'aide de l'indice d'entropie - Frank et al. (2005). Les utilisations du sol considérées sont celles définies par Desktop Mapping Technologies Inc. (DMTI) et incluent les catégories résidentielle, commerciale, institutionnelle et gouvernementale, ressource naturelle et industrielle, parc et aire de loisirs. Les zones vacantes et les plans d'eau ne sont pas considérés. L'indice est calculé d'après la méthode communément utilisée et décrite par Frank et al. (2005) et Miranda-Moreno et al. (2011).
- Densité de population : les données de population sont celles fournies par Statistique Canada au niveau des secteurs de recensement pour la RMR de Montréal, la Ville de Québec et la Ville de Sherbrooke. Les données d'utilisation du sol de DMTI Spatial sont ensuite utilisées pour répartir plus précisément la population dans chaque secteur de recensement, ce qui permet le calcul de la population approximative dans chaque cellule.
- Accessibilité au transport en commun : l'approche par grille est également utilisée pour estimer l'accessibilité au transport en commun en trouvant les arrêts d'autobus, de métro et de trains de banlieue, les plus proches de chaque cellule et en additionnant la contribution de chaque arrêt à un indice d'accessibilité. Un arrêt plus près du centre gravitationnel d'une cellule ou avec des passages plus fréquents (calculés à l'heure de pointe matinale) contribue plus fortement à l'accessibilité d'après l'indice. Celui-ci est calculé comme étant : $TC_m = \sum_{k=1}^n [d \times h_k]^{-1}$, où TC_m correspond à l'accessibilité au transport en commun dans la cellule m , d correspond à la distance en km du centre gravitationnel de la cellule m à l'arrêt d'autobus de la ligne k le plus proche (valeur minimale de 0,1 km) et h correspond au temps entre

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

chaque passage, en heures, de la ligne k à l'heure de pointe matinale (valeur maximale d'une heure).

Notons que des études précédentes utilisent ces trois indicateurs. D'autres indicateurs pour l'EB peuvent être inclus, telle que la densité d'emploi. Toutefois, ceux-ci apparaissent fortement corrélés avec les trois indicateurs déjà choisis. Aussi, il est important de mentionner que la valeur de ces indicateurs a changé au cours des trois périodes d'intérêt. Qui plus est, les données provenant des secteurs de recensement ne permettent pas de prendre en compte la nature tridimensionnelle de l'EB, ce qui peut mener à une spécification erronée des caractéristiques réelles de l'EB. Pour pallier cette lacune, des données de parcelles sont aussi utilisées, rapportant des résultats similaires. De plus, seulement les zones résidentielles sont considérées dans le calcul. Cette restriction est imposée en attribuant la population seulement aux zones résidentielles des secteurs de recensement (pour plus de détails, voir Miranda-Moreno et al., 2011).

La densité d'emploi est un indicateur que nous avons également testé, mais il est fortement corrélé avec l'indice d'entropie (utilisation du sol). Par conséquent, nous avons décidé de ne pas inclure les deux indicateurs dans le même modèle, leur corrélation étant plus de 70%. De plus, pour dériver l'indice d'accessibilité au transport en commun, le réseau de voies piétonnières est utilisé pour calculer la distance à parcourir jusqu'à l'arrêt le plus proche. L'élimination des zones non accessibles aux piétons permet des estimations plus précises. Par ailleurs, les barrières géographiques, les plans d'eau et les terrains vacants n'ont pas été pris en compte dans le calcul des indicateurs liés à l'EB.

Un sommaire de ces trois indicateurs pour chaque région est présenté au **Tableau 3**.

Tableau 3 Sommaire des statistiques sur l'EB par région et par année

Variable	Montréal			Québec	Sherbrooke
	1998	2003	2008	2006	2003
Densité de population (habitants par hectare)	46.44	50.47	48.75	25.10	16.98
Accessibilité au transport en commun	122.38	130.57	124.88	63.30	72.79
Utilisation du sol (entropie)	0.34	0.36	0.34	0.14	0.22

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

Afin de générer les typologies des quartiers basées sur l'EB précédemment défini et les indicateurs d'accessibilité au transport en commun, un algorithme de type K-moyennes est utilisé, similairement à une approche proposée par Lin et Long (2008), Riva et al. (2008) et Miranda-Moreno (2011). Les ménages sont alors assignés à des groupes sur la base des cellules sur lesquelles ils se trouvent. À partir de cette analyse, les groupes de ménages sont classés ainsi :

- Groupe 1. Le groupe *Rural-banlieue*, où tous les attributs sont sous la moyenne, avec une densité, une accessibilité et une entropie faibles (1/30 à 1/5 de la moyenne).
- Groupe 2. Le groupe *Banlieue extérieure*, où tous les attributs sont légèrement sous la moyenne, les valeurs associées à l'EB étant environ à la moitié de la moyenne.
- Groupe 3. Le groupe *Banlieue intérieure* ou le type de quartier intermédiaire, où toutes les valeurs associées à l'EB sont égales ou très proches de la moyenne.
- Groupe 4. Le groupe *Centre-ville*, regroupant les ménages situés dans des zones denses bénéficiant d'accessibilité et d'entropie élevées (environ deux fois la moyenne).
- Groupe 5. Ce dernier groupe comprend les *milieux urbains* de densité, d'accessibilité et d'entropie modérément élevées (environ 1,5 fois la moyenne). Il est important de mentionner que dans le cas de Sherbrooke, seulement 4 groupes sont utilisés au lieu de 5 en raison du nombre d'observations insuffisant de l'enquête O-D pour le groupe 5.

Les **Figures 6, 7 et 8** montrent les représentations spatiales des trois indicateurs et des groupes.

INVENTAIRE ET PROSPECTIVES DES ÉMISSIONS DE GES DANS LE SECTEUR DU TRANSPORT DES PERSONNES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE ET MUNICIPALE

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

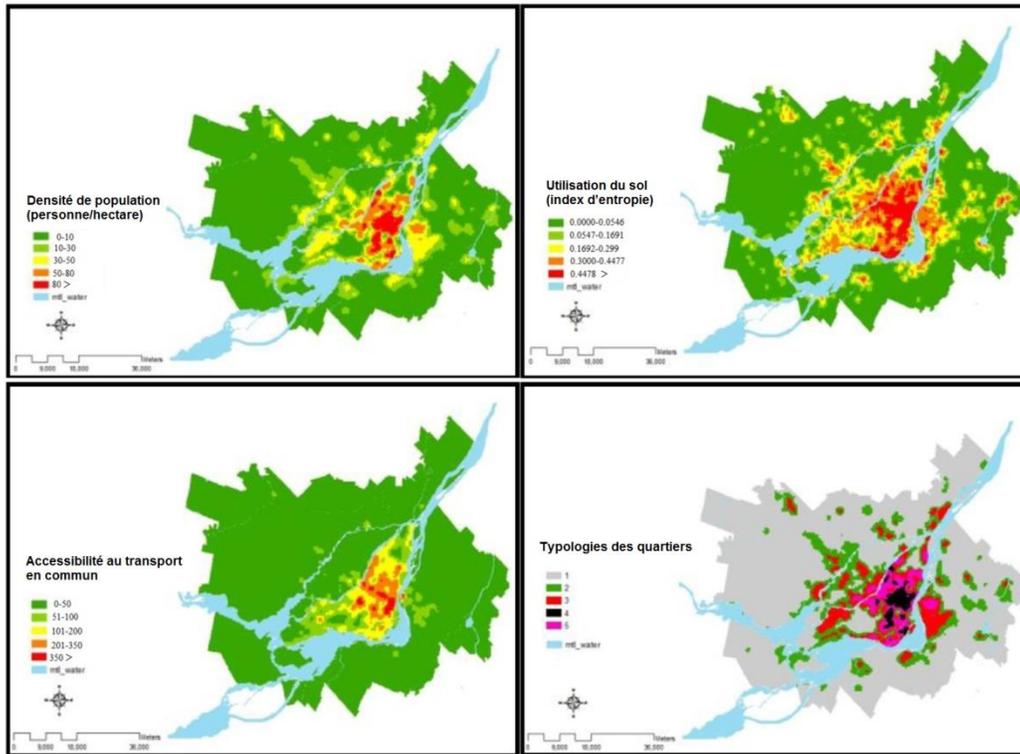


Figure 6 Indicateurs de l'EB et typologies des quartiers pour la région de Montréal, 2008

INVENTAIRE ET PROSPECTIVES DES ÉMISSIONS DE GES DANS LE SECTEUR DU TRANSPORT DES PERSONNES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE ET MUNICIPALE

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

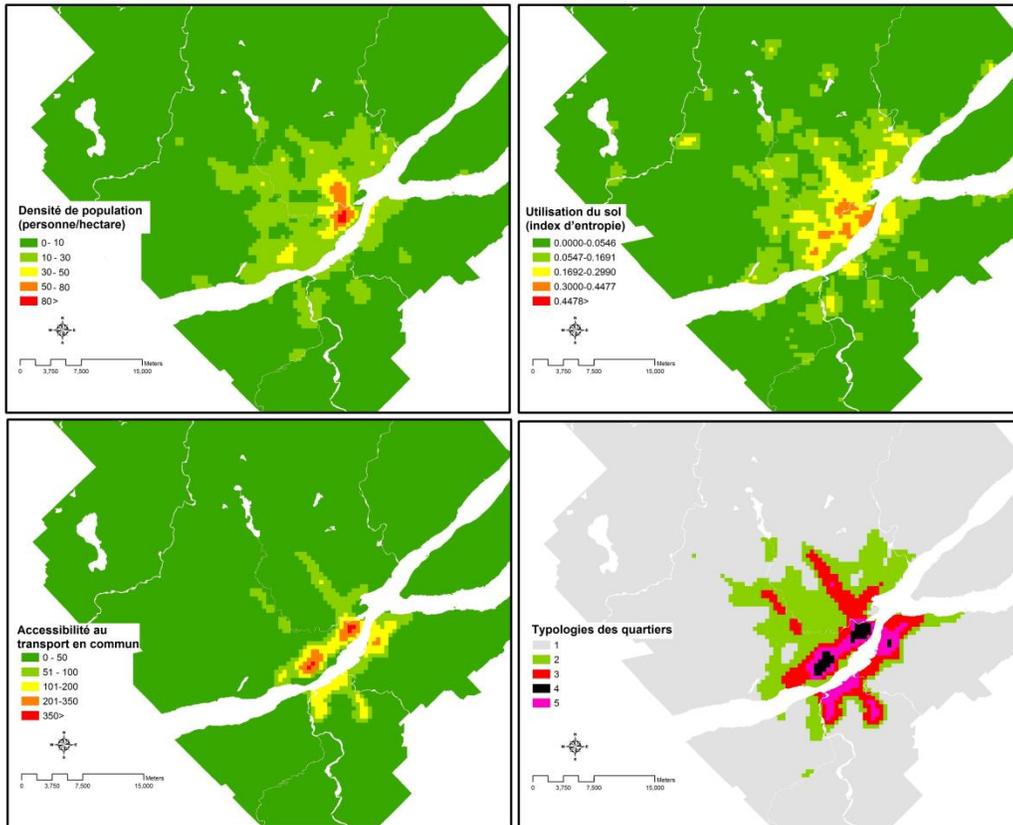


Figure 7 Indicateurs de l'EB et typologies des quartiers pour la région de Québec, 2006

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

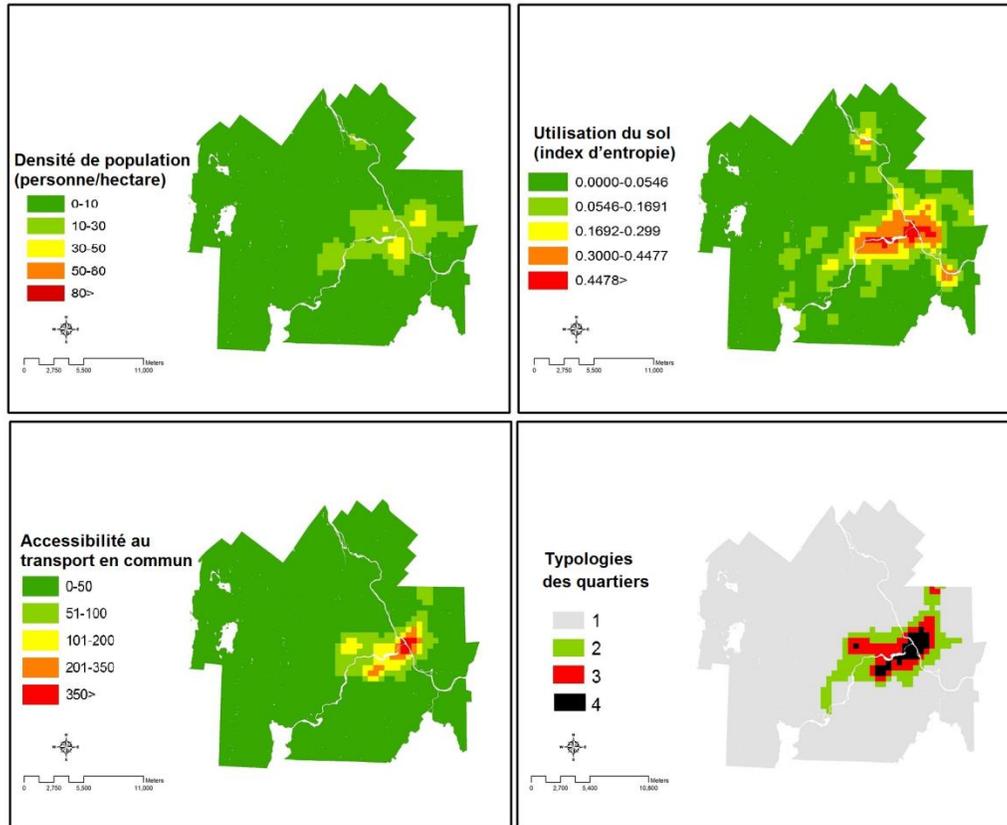


Figure 8 Indicateurs de l'EB et typologies des quartiers pour la région de Sherbrooke, 2003

6. LA MODÉLISATION DES ÉMISSIONS DE GES

Pour estimer l'effet de l'EB sur les émissions de GES, deux approches sont adoptées : i) un modèle de régression linéaire classique estimé par moindres carrés ordinaires (MCO) dans lequel les trois indicateurs (densité de population, utilisations du sol et accessibilité au transport en commun) entrent directement dans le modèle et ii) un modèle d'équations simultanées (MES) dans lequel les attributs de l'EB sont combinés et représentés par les typologies de quartiers pour pallier le problème de biais de sélection.

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

Pour la première approche (MCO), un modèle log-linéaire est défini et inclut des effets fixes annuels dans le cas de la région de Montréal. Dans ce modèle, les GES produits par ménage i ($i=1, \dots, N$) sont expliqués par :

$$\ln(GES_i) = \alpha x_i + \gamma z_i + \theta t + \eta_i \quad (3)$$

où :

- $\ln(GES_i)$ = le logarithme naturel des émissions de GES du ménage i
- α, γ, θ = les paramètres du modèle de régression
- x_i = les caractéristiques démographiques du ménage i
- z_i = les caractéristiques de l'EB (densité de population, utilisations du sol et accessibilité au transport en commun) au voisinage de i
- t = des variables dichotomiques pour les années 1998, 2003 et 2008
- η_i = un terme d'erreur aléatoire, indépendamment et identiquement distribué (i.i.d.) selon une loi normale pour le ménage i

Dans la seconde approche, un modèle MES de type quartier résidentiel-nombre de véhicules est proposé et le logarithme naturel des émissions quotidiennes de GES est généré. Nous considérons que la propriété de véhicule et le quartier d'habitation sont des choix du ménage. Les émissions sont alors agrégées à ce niveau. En effet, les GES à l'échelle du ménage dépendent de la localisation du ménage représentée par le type de quartier et la propriété de véhicule représentée par le nombre d'automobiles possédées par le ménage. Ces deux choix sont alors combinés de façon à obtenir un ensemble de catégories ou de choix. Ainsi, pour Montréal et Québec, 10 catégories (variables dichotomiques), représentant les combinaisons de 5 types de quartiers et de propriété de voiture (ménages avec ou sans voiture), sont modélisées. Pour Sherbrooke, 8 catégories sont modélisées. Le cas de référence choisi est le groupe 3 avec une voiture ou plus. La formulation des équations simultanées est la suivante :

$$\ln(GES_i) = \alpha x_i + \sum_{j=1}^5 \mu_j Q_{ij} + \sum_{j=1}^5 \lambda_j l_{ij} + \varepsilon_i \quad (4)$$

$$Q_{ij} = \beta_j z_i + \delta_j l_{ij} + \eta_{ij} \quad j = 1, \dots, 10 \quad (5)$$

où :

- $\ln(GES_i)$ = le logarithme naturel des émissions de GES du ménage i
- Q_{ij} = l'utilité indirecte du choix combiné du quartier et du nombre de VL k_j pour le ménage i
- x_i et z_i = les caractéristiques socioéconomiques du ménage i
- k_{ij} = des variables dichotomiques représentant les choix combinés du quartier et du nombre de VL j par le ménage i
- ε_i = un terme d'erreur aléatoire, i.i.d. selon une loi normale pour le ménage i
- I_{ij} = une variable explicative latente capturant l'hétérogénéité non observée à travers les variables endogènes. Cette variable est indépendante de n_{ij} et ε_i et incorpore les caractéristiques inobservables communes au choix du ménage i .
- n_{ij} = un terme d'erreur i.i.d. suivant une loi logistique
- $\alpha, \beta, \delta, \lambda$ et μ = les paramètres du modèle

Les modèles alternatifs aux échelles individuelle et du ménage sont alors ajustés à l'aide des données provenant des trois régions. Les modèles sont estimés d'après une méthode économétrique proposée par Deb et Trivedi (2006) et implémentée dans le logiciel STATA. Avec les résultats obtenus, les élasticités sont calculées et utilisées pour mesurer les répercussions potentielles de changements dans l'EB sur les émissions de GES. Nous utilisons ces répercussions pour formuler différents scénarios.

7. LES RÉSULTATS

Les résultats se divisent en deux parties. Dans la première partie, un sommaire des inventaires des émissions de GES pour les trois régions métropolitaines est présenté. Une analyse exploratoire basée sur des statistiques générales et des cartes fait l'objet d'une discussion. Dans la

seconde section, les résultats des régressions sont présentés et discutés. Les analyses sont faites au niveau des ménages et des individus.

7.1 L'inventaire des émissions

Avant de donner les résultats des modèles, des sommaires des statistiques concernant les distances quotidiennes parcourues, les taux de consommation de carburant et les émissions de GES au niveau des ménages et des individus sont présentés dans les **Tableaux 4** et **5**. Rappelons que les émissions proviennent de déplacements personnels régionaux effectués soit en VL soit en transport en commun. Les déplacements commerciaux ne sont pas compris dans l'étude. Rappelons aussi que les données brutes et les facteurs d'expansion pour chaque ville ont servi à élaborer les sommaires. D'après les statistiques présentées dans ces deux tableaux, on observe que :

- Le niveau d'émissions de GES le plus important au niveau des ménages et des individus se trouve dans la région de Québec, tandis que les résultats à Sherbrooke sont similaires à ceux de Montréal - Québec montrant la valeur la plus élevée avec 11,5 kg de CO₂ par jour. Il est surprenant de noter que les ménages de 2003 à Montréal sont 10% plus « verts » que ceux de Québec. De plus, les ménages de Montréal sont aussi plus « verts » en moyenne que ceux de Sherbrooke, en dépit du fait que la Métropole soit trois fois plus grande en termes de superficie (km²). Cela montre clairement les bénéfices d'une part modale de transport en commun ou actif plus élevée associée à une concentration des ménages dans des zones plus denses. Notons aussi qu'il n'y a pratiquement pas de congestion à Sherbrooke, ce qui permet d'optimiser les économies de carburant. Un portrait similaire est observé à l'échelle individuelle alors que les émissions de GES par personne sont moins élevées à Montréal que dans les autres régions métropolitaines.
- Les variations des émissions de GES moyennes entre quartiers sont beaucoup plus élevées que les variations entre villes. D'après le **Tableau 4** et la **Figure 9**, on peut constater que les émissions de GES augmentent lorsqu'on s'éloigne du noyau d'une ville vers sa périphérie. Ce résultat illustre une utilisation plus importante des VL et une accessibilité moindre aux transports en commun en périphérie des villes. Les ménages situés au centre-ville (groupe 4) et dans les quartiers centraux (groupe 5) ont une empreinte carbone beaucoup

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

moins élevée en moyenne, et ce, dans toutes les villes. Il est intéressant d'observer que le bilan des émissions de GES moyennes diffère entre régions et groupes, mais qu'en termes d'ampleur, elles sont semblables dans les centres-villes et les quartiers centraux des trois villes. Dans les périphéries, les niveaux d'émissions des ménages illustrent un haut niveau de variabilité dans les trois régions métropolitaines.

- En observant la distance moyenne parcourue, on note que l'utilisation des VL à Montréal correspond à une moyenne de 51 km par ménage par jour (enquête O-D 2003) comparativement à 58 km à Québec (enquête O-D 2006). Donc, l'utilisation d'un VL était 14% plus élevée à Québec. De plus, dans la région de Montréal, on constate une tendance décroissante durant la période couvrant les trois enquêtes, non seulement en ce qui concerne les GES, mais aussi en distance totale parcourue et en distance en VL. Entre 1998 et 2008, les distances totales parcourues par personne et par ménage sont réduites de 10,9% et 12,3% respectivement. Ces résultats renforcent l'importance des tendances temporelles dans la demande de transport, en particulier en ce qui concerne l'usage des VL.
- Pour ce qui est de l'efficacité énergétique moyenne du parc de VL, on constate de petites différences selon les régions métropolitaines. Par exemple, en 2003, l'efficacité énergétique du parc de VL de la région de Montréal était de 9,36 litres aux 100 km en moyenne, tandis que celui de la région de Québec était de 9,41 litres aux 100 km en moyenne. De plus, il est à noter qu'une importante réduction d'environ 4% est observée au cours de la période 1998, 2003 et 2008 dans la région de Montréal, allant de 9,57 à 9,19 litres aux 100 km en 1998 et 2008, respectivement.

En ce qui concerne les résultats généraux, on peut voir que les variations des distances parcourues au cours des années concernées et selon les régions métropolitaines sont un déterminant essentiel des différences entre les régions et de la réduction des GES au cours des années à Montréal. Donc, la réduction des GES est, à la fois, le résultat d'une réduction de la distance moyenne parcourue en VL et d'une amélioration de l'efficacité énergétique du parc, le rôle associé aux émissions étant essentiel. D'autres facteurs comme la congestion routière réduisent la fluidité des déplacements et peuvent intervenir au détriment de la réduction des émissions de GES. En effet, une baisse des vitesses de circulation, ou une augmentation de la congestion à Montréal entraîneraient une augmentation des émissions associées à l'augmentation du

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

temps de déplacement et une réduction de l'efficacité énergétique. Malgré ces résultats intéressants, il faut reconnaître la courte période d'étude, seulement trois vagues, et les différents niveaux d'agrégation des données, par exemple, le volume exact de consommation de carburant du parc des VL n'est pas disponible, ni à l'échelle individuelle, ni à celle du ménage.

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

Tableau 4 Sommaire des distances quotidiennes parcourues et des GES à l'échelle des ménages, par région et par groupe

Variable	Montréal 1998			Montréal 2003			Montréal 2008			Québec 2006			Sherbrooke 2003		
	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
Distance totale moyenne (km)	53.65	0.00	920.63	51.10	0.00	829.46	47.82	0.00	758.35	58.40	0.00	520.14	52.10	0.00	454.20
Distance moyenne en véhicule léger (km)	45.23	0.00	902.78	43.68	0.00	811.68	39.66	0.00	769.31	49.07	0.00	514.33	46.11	0.00	449.98
TCC moyen (l/100 km)	9.57	9.09	10.68	9.36	9.07	10.61	9.19	8.92	10.26	9.41	9.01	10.23	9.23	8.97	10.02
GES par ménage (kg de CO ₂)	10.70	0.00	189.63	10.32	0.00	143.53	10.02	0.00	136.87	11.50	0.00	110.80	9.90	0.00	65.29
Groupe 1	23.52	0.00	189.63	21.85	0.00	140.10	20.65	0.00	136.87	14.31	0.00	110.80	13.15	0.00	61.81
Groupe 2	16.87	0.00	136.52	16.71	0.00	125.24	16.02	0.00	120.46	8.88	0.00	79.90	9.61	0.00	65.29
Groupe 3	13.02	0.00	131.74	12.26	0.00	143.53	11.98	0.00	118.68	9.13	0.10	69.80	7.91	0.00	56.38
Groupe 4	5.63	0.00	99.60	4.97	0.00	97.58	4.34	0.00	92.35	5.63	0.10	47.00	5.24	0.00	44.05
Groupe 5	8.11	0.00	92.18	7.18	0.00	89.24	6.91	0.00	87.25	6.89	0.00	41.90	-	-	-

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

Tableau 5 Sommaire des distances quotidiennes parcourues et des émissions de GES à l'échelle individuelle par région

Variable	Montréal 1998			Montréal 2003			Montréal 2008			Québec 2006			Sherbrooke 2003		
	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.
Distance totale moyenne (km)	19.74	0.00	403.42	18.99	0.00	488.8	17.59	0.00	463.7	20.27	0.00	345.87	19.80	0.00	295.65
Distance moyenne en véhicule léger (km)	16.32	0.0	403.42	15.91	0	488.8	14.30	0	463.7	17.22	0	345.87	17.83	0	295.65
TCC moyen (l/100 km)	9.57	9.09	10.68	9.36	9.07	10.61	9.19	8.92	10.26	9.41	9.01	10.23	9.23	8.97	10.02
GES par personne (kg CO ₂)	3.56	0.00	90.95	3.44	0.00	89.34	3.34	0.00	83.64	3.89	0.00	76.87	3.40	0.00	56.09

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

Les distributions spatiales des émissions moyennes de GES au niveau des grilles sont illustrées à la **Figure 9** pour les trois enquêtes O-D à Montréal et à la **Figure 10** pour les deux autres villes. Les cartes montrent les émissions moyennes de GES par ménage à l'échelle des secteurs de recensement pour tous les ménages situés dans chaque secteur de recensement, autrement dit les émissions totales divisées par le nombre de ménages dans le secteur de recensement.

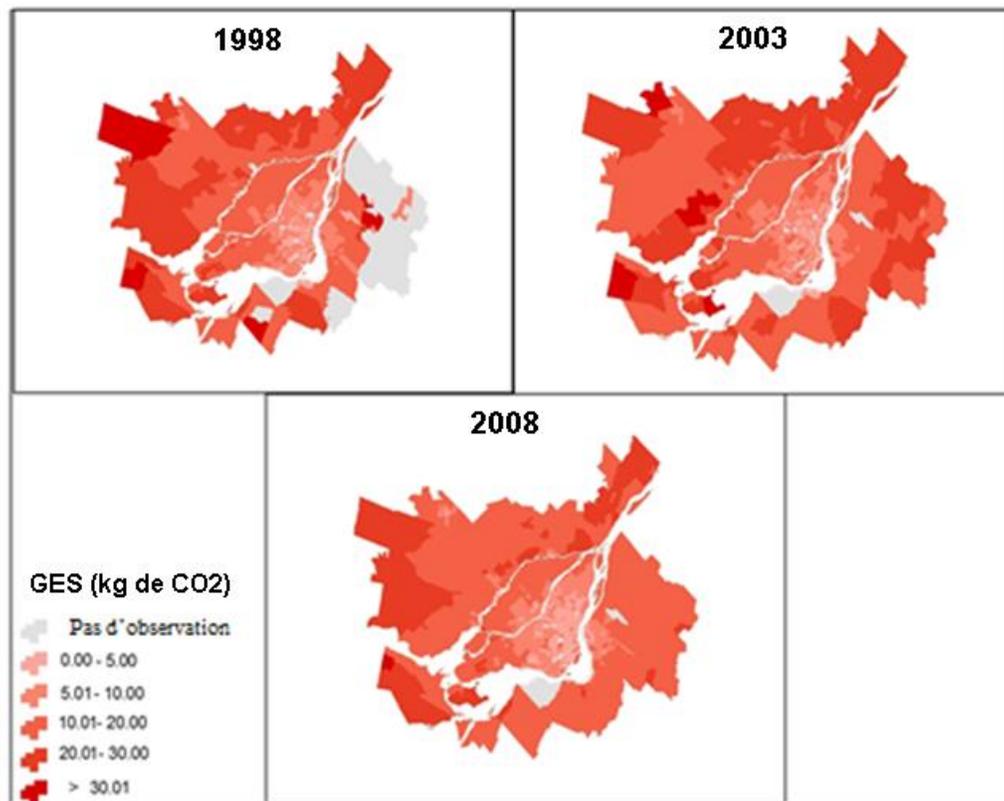
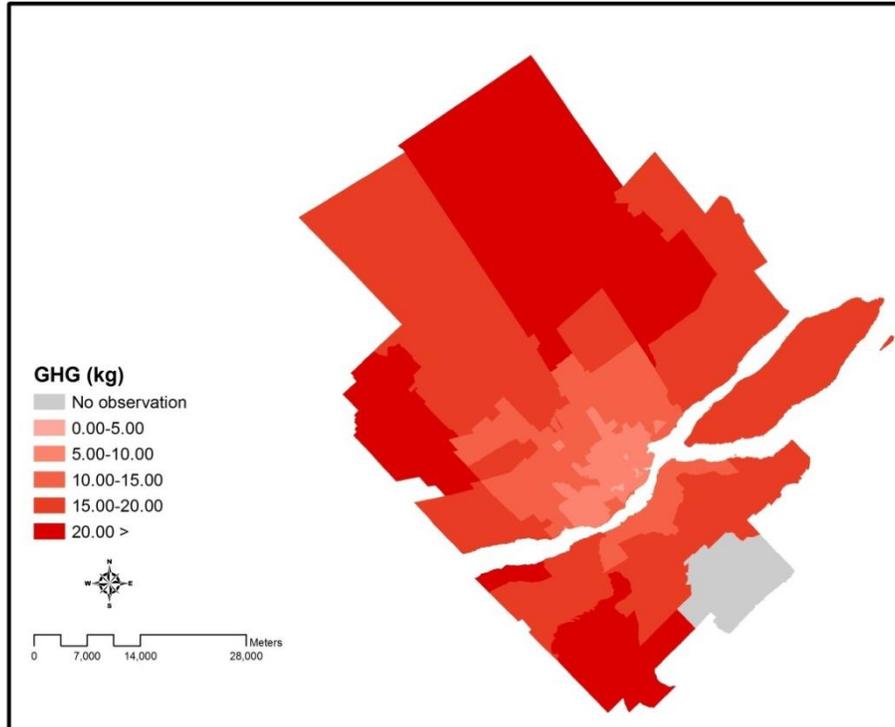


Figure 9 Émissions quotidiennes de GES (kg de CO₂) par secteur de recensement pour les trois enquêtes O-D à Montréal

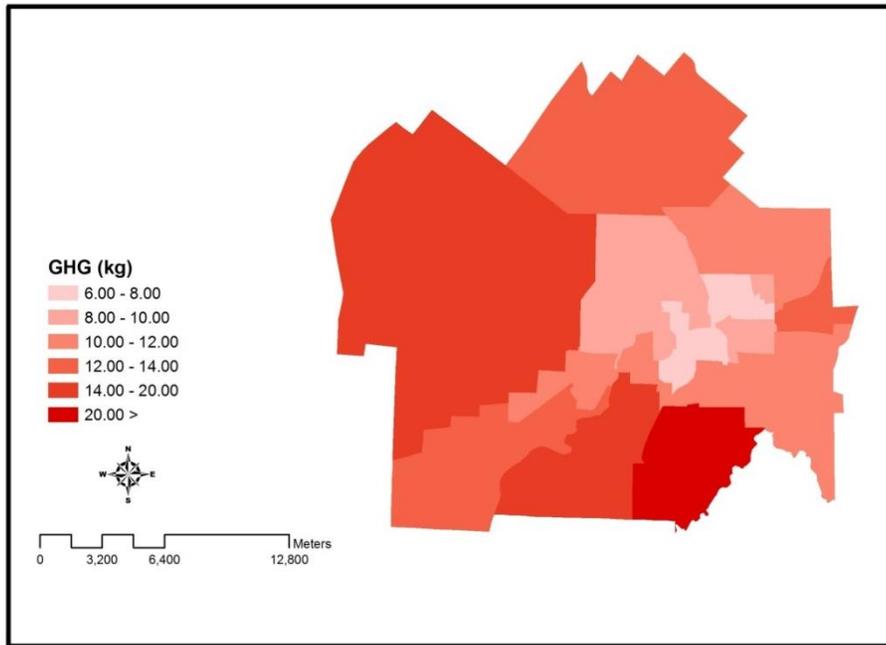
INVENTAIRE ET PROSPECTIVES DES ÉMISSIONS DE GES DANS LE SECTEUR DU TRANSPORT DES PERSONNES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE ET MUNICIPALE

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE



a) Québec

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE



b) Sherbrooke

Figure 10 Émissions quotidiennes de GES (kg de CO₂) par secteur de recensement au Québec et Sherbrooke

7.2 Les résultats des régressions

Les résultats de l'estimation des deux modèles sont présentés en deux parties. Premièrement, les résultats pour Montréal utilisant les trois enquêtes O-D sont introduits et analysés. Ensuite, les résultats pour les deux autres régions sont présentés et comparés avec la région de Montréal en utilisant l'enquête O-D de 2003.

7.2.1 Une analyse en trois vagues pour la région de Montréal

Pour la région de Montréal, des modèles de régression log-linéaires (MCO) sont estimés au niveau des ménages et des individus. Les caractéristiques de l'EB (densité de population, accessibilité au transport en commun et utilisations du sol représentées par l'indice d'entropie) entrent directement dans le modèle des émissions en tant que variables explicatives. Le logarithme naturel des émissions de GES est la variable dépendante.

Les **Tableaux 6 et 7** présentent les résultats des modèles log-linéaires pour Montréal. Les modèles estimés tiennent compte des poids d'expansion correspondant à chaque ménage ou individu. Les tableaux montrent que les variables liées à l'EB ont des coefficients estimés négatifs et statistiquement significatifs dans le cas des ménages et des individus. En calculant les élasticités, on voit que l'augmentation de la densité de population ou de l'accessibilité au transport en commun de 10%, une seule des variables à la fois, mènerait à des réductions d'émissions de la part des ménages de 2,08% et 1,56%, respectivement. Au niveau des individus, ces réductions sont de 1,38% et 0,86%, respectivement. Pour les utilisations du sol, les élasticités sont légèrement supérieures. Elles sont de -2,97% et -3,64% pour les ménages et les individus, respectivement.

Les résultats sont cohérents dans chacun des cas avec ce qui est rapporté dans la littérature existante en termes d'impact positif ou négatif et de signification. Toutefois, l'ampleur des résultats semble légèrement supérieure à ce qu'on trouve dans la plupart des études antérieures concernant des villes nord-américaines. Cette différence pourrait être due au fait que la région de Montréal se caractérise par une densité de population supérieure et une meilleure offre de transports en commun que beaucoup de villes américaines. Par exemple, une revue de littérature récente menée par le Transportation Research Board (TRB) (2009) rapportait des élasticités entre -0,1 et -0,24 pour la distance parcourue en voiture par rapport à la densité résidentielle (c'est-à-dire une augmentation de 10% de la densité résidentielle est associée à une baisse de 1 à 2,4% de la distance parcourue en voiture). L'étude du TRB établissait également une élasticité relative aux utilisations du sol de -0,5% (pour une augmentation de 10%). La même étude rapportait une élasticité de -2% des distances parcourues pour un changement de 10% dans l'accessibilité au transport en commun. Dans une étude plus récente, Ewing et Cervero (2010) ont fait une méta-analyse de la littérature portant sur le lien entre l'EB et les déplacements selon différents choix modaux, tels que la distance moyenne parcourue en VL (MVP), la marche et l'utilisation du transport en commun. Leurs résultats suggéraient qu'une augmentation de

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

10% de la densité de population entraîne une réduction de 0,4% de la MVP. En augmentant les utilisations du sol ou indices d'entropie de 10%, la MVP diminue de 0,9%. Pour l'accessibilité au transport en commun, l'étude rapportait une élasticité pondérée moyenne de -0,05. Plus récemment, Barla et al. (2010) rapportaient qu'une densité résidentielle 10% plus élevée entraîne une réduction de 2% des émissions de GES individuelles. Dans la plupart des cas, les élasticités rapportées sont légèrement plus faibles que celles estimées dans notre étude.

Pour ce qui est des caractéristiques sociodémographiques, les variables liées au statut d'emploi ont un effet statistiquement significatif. En particulier, l'augmentation d'une unité du nombre de travailleurs à temps plein augmenterait les émissions des ménages de 51% alors qu'une unité supplémentaire de travailleurs à temps partiel est liée à une augmentation de 31%. Cela démontrerait le lien important entre le taux de participation au marché du travail et les émissions liées au transport et la distance moyenne parcourue au niveau des ménages. La présence de retraités semble aussi réduire légèrement les émissions de GES d'un ménage. Pour ce qui est des caractéristiques individuelles tel que le sexe, l'âge, la profession et le revenu, ceux-ci ont des impacts statistiquement significatifs. Ces résultats sont cohérents avec la littérature internationale.

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

Tableau 6 Résultats du modèle log-linéaire pour des émissions des ménages

Variabes (indicateurs)	Coef.	P> t 	Elast %
Densité résidentielle *	-0.004	0.00	-2.08
Accessibilité au T.C. *	-0.001	0.00	-1.56
Entropie *	-0.882	0.00	-2.97
Année 1998 ***	0.140	0.00	15.03
Année 2003 ***	0.096	0.00	10.18
Année 2008 ***	Cas de référence		
Nombre de retraités **	-0.025	0.00	-2.52
Nombre d'étudiants **	0.078	0.00	7.88
Nb. de travailleurs à temps partiel **	0.311	0.00	31.13
Nb. de travailleurs à temps plein **	0.510	0.00	51.07
Nombre d'enfants **	0.012	0.00	1.27
Famille avec un seul adulte ***	-0.385	0.00	-31.98
Revenu faible (moins de 40k) ***	-0.557	0.00	-42.72
Revenu médian (40k à 80k) ***	-0.219	0.00	-19.70
Revenu élevé (plus de 80k) ***	Cas de référence		
Constante	2.008	0.00	-
AIC ⁸	11,006,759		
*(aug.de 10 % pour élasticité), **(aug. d'une unité pour élasticité), *** var. dichotomique			

⁸ Le critère d'information d'Akaike (AIC) est une mesure de qualité relative d'un modèle de régression pour un ensemble de données. La formule s'écrit ainsi : $AIC = 2k - \ln(L)$ où L est la valeur maximale de la fonction de vraisemblance du modèle et k est le nombre de paramètres du modèle.

INVENTAIRE ET PROSPECTIVES DES ÉMISSIONS DE GES DANS LE SECTEUR DU TRANSPORT DES
PERSONNES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE ET MUNICIPALE

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

Tableau 7 Résultats du modèle log-linéaire pour émissions individuelles

Variabes (indicateurs)	Coef.	Elast %
Densité résidentielle (milliers) *	-0.003	-1.38
Accessibilité au T.C. (milliers) *	-0.001	-0.87
Entropie *	-0.616	-1.91
Année 1998	0.107	11.29
Année 2003	0.050	5.18
Année 2008	Cas de référence	
Sexe (1=homme,0=femme)	0.154	16.61
Âge ² *	0.000	0.75
Travailleur à temps plein	0.933	154.09
Travailleur à temps partiel	0.582	78.97
Étudiant	-0.201	-18.18
Retraité	0.036	3.69
Autre	Cas de référence	
Revenu faible (moins de 40k)	-0.319	-27.34
Revenu médian (40k à 80k)	-0.146	-13.59
Revenu élevé (plus de 80k)	Cas de référence	
Constante		
* Aug. de 10% pour élasticité		

7.2.2 Analyse de trois régions: Montréal, Québec et Sherbrooke

Pour l'analyse comparative des trois villes, l'approche de régression log-linéaire est d'abord employée. Dans ce cas, les trois indicateurs (densité de population, utilisations du sol et accessibilité au transport en commun) entrent directement dans le modèle. Pour Montréal, l'enquête O-D de 2003 est utilisée pour la comparaison avec l'enquête O-D de 2006 pour Québec et de 2003 pour Sherbrooke. Une deuxième approche, un modèle d'équations simultanées (MES), est aussi mise en application. Dans ce modèle, les attributs de l'EB sont représentés par quartier. Dans ce cas, les émissions de GES et le choix quartier-propriété de véhicule sont modélisés simultanément. Notons que les choix quartier-propriété de véhicule sont générés en combinant le type de quartier et le nombre de VL par ménage, comme décrit par Miranda-Moreno et al. (2011). D'après les 5 typologies de quartier définies précédemment (4 dans le cas de Sherbrooke) et le fait qu'un ménage possède ou non un véhicule, 10 (8 dans le cas de Sherbrooke) différents choix sont définis. En d'autres termes, 10 catégories individuelles sont utilisées.

De manière similaire à l'analyse au niveau des ménages, les résultats des modèles individuels pour les trois régions sont rapportés dans le **Tableau 8**. Les indicateurs de l'EB, soit la densité résidentielle, l'accessibilité au transport en commun et l'index d'entropie, servent de variables explicatives. Un modèle de régression est évalué pour chaque ville. Les estimations de paramètres et les élasticités sont rapportées séparément. Conformément aux résultats précédents et à la littérature, les caractéristiques de l'EB sont statistiquement significatives et négativement associées aux émissions GES des ménages après ajustement d'autres facteurs. On note, cependant, que l'ampleur des résultats et des élasticités varie entre les villes. Les répercussions du BE semblent être plus importantes à Montréal que dans les régions de Québec et de Sherbrooke. Par exemple, concernant la densité résidentielle à Montréal, une augmentation de 10% entraîne une réduction des émissions de GES de 3,5%, tandis que dans les villes de Québec et de Sherbrooke, la réduction n'est que de 1,5%. Nous observons également une plus grande élasticité pour le transport en commun et les utilisations du sol à Montréal. Dans cette ville, une augmentation de 10% de l'index d'utilisation du sol représente une réduction de 2,5% des émissions de GES, tandis que pour Québec et Sherbrooke, les réductions sont de 1,7% et 0,8% respectivement. Pour ces deux villes, les répercussions de l'EB correspondent à ce que l'on trouve dans la littérature. Cependant, les élasticités pour Montréal sont plus élevées. On peut penser qu'une population plus importante, un meilleur réseau de transport en commun et un taux plus élevé de congestion que dans les deux autres régions métropolitaines en sont la cause. Par ailleurs, nous rappelons que les

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

études précédemment mentionnées étaient principalement conduites dans des villes aux États-Unis où les VL sont davantage prédominants qu'au Québec.

En ce qui concerne les caractéristiques sociodémographiques, une variabilité importante est observée entre villes. Par exemple, une augmentation du nombre de travailleurs à temps plein d'une unité amènerait des augmentations de 102%, 61% et 33% des émissions de GES par ménage à Montréal, à Québec et à Sherbrooke respectivement. D'autres caractéristiques semblent jouer un rôle important, telles que le nombre de personnes retraitées (-), travaillant à temps partiel (+), étudiants (+), le nombre d'enfants (-) et le nombre d'individus à faibles et moyens revenus (-). Par exemple, une augmentation d'un retraité par ménage réduirait de 51%, 28% et 6% les émissions des ménages, à Montréal, Québec et Sherbrooke respectivement. Enfin, il est pertinent de mentionner que les modèles log-linéaires parviennent à expliquer environ 39% des variations des émissions pour Montréal ($R^2 = 0,39$), 45% pour Québec et 27% pour Sherbrooke. Ces statistiques sont comparables aux résultats d'études utilisant les mêmes modèles linéaires logarithmiques (voir Barla et al. (2010)).

INVENTAIRE ET PROSPECTIVES DES ÉMISSIONS DE GES DANS LE SECTEUR DU TRANSPORT DES
PERSONNES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE ET MUNICIPALE

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

Tableau 8 Résultats du modèle log-linéaire (MCO) pour GES totaux des ménages

Variables (indicateurs)	Modèle 1 – Montréal			Modèle 2 – Québec			Modèle 3 – Sherbrooke		
	Coef.	P> t	Élast.	Coef.	P> t	Élast.	Coef.	P> t	Élast.
Densité résidentielle *	-0.007	0.00	-0.035	-0.005	0.00	-0.015	-0.008	0.00	-0.014
Accessibilité au T.C. *	-0.004	0.00	-0.058	-0.0007	0.00	-0.004	-0.002	0.00	-0.011
Util. de sol (Entropie) *	-0.739	0.00	-0.025	-1.238	0.00	-0.017	-0.343	0.00	-0.007
Nombre de retraités **	-0.518	0.00	-0.518	-0.286	0.00	-0.286	-0.061	0.00	-0.060
Nombre d'étudiants **	0.219	0.00	0.219	0.394	0.00	0.394	0.136	0.00	0.135
Nb. de trav. à temps partiel **	0.775	0.00	0.775	0.509	0.00	0.509	0.178	0.00	0.178
Nb. de trav. à temps plein **	1.021	0.00	1.021	0.612	0.00	0.612	0.332	0.00	0.331
Nombre d'enfants **	-0.041	0.13	-0.041	-0.241	0.00	-0.241	-0.053	0.00	-0.0528
Famille à un seul adulte	-1.720	0.00	-0.821	-0.259	0.00	-0.228	-0.233	0.00	-0.207
Revenu faible (moins de 40k)	-1.425	0.00	-0.759	-0.280	0.00	-0.244	-0.080	0.00	-0.076
Revenu médian (40k à 80k)	-0.127	0.01	-0.120	-0.191	0.00	-0.174	-0.087	0.00	-0.090
Revenu élevé (plus de 80k)	Cas de référence			Cas de référence			Cas de référence		
Constante	1.411	0.00	-	1.837	0.00	-	1.915	0.00	-
R ² (adj.)	0.39			0.45			0.27		
<i>*(Aug. de 10% pour élasticité), **(Aug. d'une unité pour élasticité)</i>									

Pour compléter cette analyse, des modèles MES composés d'équations pour le choix type de quartier-propriété de VL et les émissions de GES sont

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

également estimés. Les résultats sont ensuite comparés aux modèles log-linéaires classiques correspondants. Les résultats des modèles MES sont présentés dans le **Tableau 9**. La signification statistique d'un test du rapport de vraisemblance (RV) entre les deux modèles indique que le modèle MES est plus performant que le modèle estimé par MCO. Cela signifie que l'hypothèse nulle d'exogénéité est rejetée pour les trois régions métropolitaines (RV=58 et $p=0.000$ pour Montréal, RV=404 et $p=0.000$ pour Québec et RV=17 et $p=0.000$ pour Sherbrooke).

En examinant les résultats au **Tableau 9**, il est important de se rappeler qu'il y a 10 catégories (variables dichotomiques) représentant les combinaisons de 5 types de quartier et de propriété de VL (ménages avec ou sans véhicule) pour Montréal et Québec et 8 catégories pour Sherbrooke. Le cas de référence est le groupe 3 avec un ou plusieurs VL. Les résultats montrent que les variables dichotomiques groupe-VL ont des effets statistiquement significatifs sur les émissions de GES des ménages dans les trois régions métropolitaines. En contrôlant l'effet d'autres variables, on constate que les ménages possédant un ou des VL dans les deux types de quartiers les plus éloignés (groupes 1 et 2) émettent beaucoup plus de GES que les ménages situés dans les banlieues plus centrales. Plus précisément, par rapport au cas de référence, les ménages en périphérie et dans les banlieues avec au moins un VL émettent en moyenne 30% et 36% (69% et 11% à Québec et 83% et 23% à Sherbrooke) plus de GES. À l'opposé, les résidents appartenant au groupe 4 (quartiers centraux) avec au moins un VL à Montréal émettent en moyenne 60% moins de GES que la classe de référence. Cela démontre comment des politiques ciblant le choix du quartier de résidence, telles que le choix des lieux des nouveaux développements, peuvent affecter les émissions de GES de manière significative.

Comme dans le modèle log-linéaire classique, les résultats du modèle MES illustrent les effets importants des caractéristiques sociodémographiques sur les émissions de GES. Les variables significativement associées aux émissions incluent le nombre de travailleurs à temps plein et temps partiel, d'étudiants, de retraités, d'enfants, la composition de la structure familiale et le revenu. Encore une fois, la propriété d'un VL contribue de manière importante aux émissions. Cela est facilement observable en comparant les élasticités du groupe 3, sans véhicule et le cas de référence soit le même groupe, mais avec au moins un VL. On voit ainsi que le fait de résider dans un quartier semblable, mais sans posséder de véhicule, amène une réduction des émissions de 98% à Montréal, 62% à Québec et 21% à Sherbrooke. Il est fort probable que ce résultat soit attribuable à l'utilisation du transport en commun, des moyens de transport actifs, tels que le vélo et la marche, et une activité moins importante

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

des personnes sans véhicule. Par exemple, la contribution des ménages avec retraités au bilan des émissions de GES reste très inférieure à celle des autres groupes.

Comme attendu, les ménages avec des revenus faibles et médians ont une empreinte GES moins importante que celle des ménages à revenus élevés. Les ménages à revenus faibles (moins de 40 000 \$ par an) ont généré 51% (Montréal), 27% (Québec) et 7,6% (Sherbrooke) moins de GES par leurs déplacements que les ménages à hauts revenus (plus de 80 000 \$ par an). La classe de revenu médiane (entre 40 000 \$ et 80 000 \$ par an) a aussi moins contribué aux émissions de GES que les ménages les mieux nantis, mais seulement d'environ 9% (Montréal), 21% (Québec) et 9% (Sherbrooke).

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

Tableau 9 Résultats des modèles MCO et MES pour des GES totaux des ménages avec variables de choix groupe-véhicule léger

Variables	MCO									MES								
	Montréal			Québec			Sherbrooke			Montréal			Québec			Sherbrooke		
	Coef.	P>t	Élast.	Coef.	P>t	Élast.	Coef.	P>t	Élast.	Coef.	P>t	Élast.	Coef.	P>t	Élast.	Coef.	P>t	Élast.
Groupe 1 & véhicule=0	-4.60	0.00	-0.99	-0.46	0.00	-0.366	-0.18	0.00	-0.168	-4.33	0.00	-0.987	-0.54	0.00	-0.416	-0.09	0.00	-0.091
Groupe 1 & véhicule>=1	0.46	0.00	0.590	0.34	0.00	0.406	0.47	0.00	0.602	0.27	0.00	0.310	0.526	0.00	0.691	0.60	0.00	0.829
Groupe 2 & véhicule=0	-4.96	0.00	-0.993	-0.82	0.00	-0.561	-0.26	0.01	-0.230	-4.77	0.00	-0.992	-0.84	0.00	-0.566	-0.47	0.00	-0.379
Groupe 2 & véhicule>=1	0.34	0.00	0.399	0.07	0.00	0.0753	0.20	0.00	0.226	0.31	0.00	0.362	0.13	0.00	0.117	0.20	0.00	0.232
Groupe 3 & véhicule=0	-4.29	0.00	-0.986	-1.03	0.00	-0.639	-0.38	0.00	-0.315	-4.04	0.00	-0.983	-0.98	0.00	-0.626	-0.23	0.02	-0.213
Groupe 3 & véhicule>=1	Cas de référence			Cas de référence			Cas de référence			Cas de référence			Cas de référence			Cas de référence		
Groupe 4 & véhicule=0	-4.84	0.00	-0.992	-0.98	0.00	-0.625	-0.42	0.00	-0.347	-4.54	0.00	-0.989	-0.97	0.00	-0.622	-0.36	0.00	-0.306
Groupe 4 & véhicule>=1	-1.02	0.00	-0.638	-0.03	0.00	-0.031	-0.03	0.00	-0.031	-0.91	0.00	-0.599	-0.02	0.00	-0.019	-0.05	0.02	-0.060
Groupe 5 & véhicule=0	-4.15	0.00	-0.984	-1.07	0.00	-0.657	-			-3.87	0.00	-97.9	-1.03	-0.979	-65.9	-		
Groupe 5 & véhicule>=1	-0.38	0.00	-0.314	-0.08	0.00	-0.0787	-			0.02	0.80	1.8	-0.02	0.018	-2.32	-		
Nombre de retraités	-0.71	0.00	-0.706	-0.28	0.00	-0.283	-0.07	0.00	-0.075	-0.73	0.00	-0.731	-0.28	0.00	-0.284	-0.08	0.00	-0.086
Nombre d'étudiants	0.30	0.00	0.301	0.41	0.00	0.413	0.13	0.00	0.130	0.29	0.00	0.285	0.41	0.00	0.410	0.12	0.00	0.126
Nb. de trav. à temps partiel	0.69	0.00	0.693	0.50	0.00	0.502	0.17	0.00	0.178	0.69	0.00	0.687	0.49	0.00	0.495	0.16	0.00	0.160
Nb. de trav. à temps plein	0.99	0.00	0.992	0.59	0.00	0.593	0.31	0.00	0.315	0.95	0.00	0.946	0.57	0.00	0.573	0.29	0.00	0.299
Nombre d'enfants	-0.07	0.00	-0.072	-0.26	0.00	-0.255	-0.04	0.00	-0.044	-0.06	0.00	-0.068	-0.24	0.00	-0.241	-0.04	0.00	-0.044
Famille à un seul adulte	-1.24	0.00	-0.71	-0.16	0.00	-0.147	-0.19	0.00	-0.176	-1.17	0.00	-0.689	-0.15	0.00	-0.141	-0.19	0.00	-0.177
Revenu faible (moins de 40k)	-0.73	0.00	-0.516	-0.42	0.00	-0.329	-0.08	0.00	-0.078	-0.71	0.00	-0.512	-0.31	0.00	-0.268	-0.08	0.00	-0.076
Revenu médian (40k à 80k)	-0.08	0.10	-0.080	-0.29	0.00	-0.251	-0.08	0.00	-0.089	-0.09	0.1	-0.088	-0.24	0.00	-0.214	-0.09	0.00	-0.09
Revenu élevé (plus de 80k)	Cas de référence			Cas de référence			Cas de référence			Cas de référence			Cas de référence			Cas de référence		
Constante	0.06	0.40	-	1.41	0.00	-	1.41	0.00	-	-0.35	0.00	-	1.34	0.00	-	1.39	0.00	-

8. LA FORMULATION DES SCÉNARIOS

Cette section présente l'évaluation de scénarios sociodémographiques, technologiques et de scénarios liés à l'EB. À cet effet, les inventaires, tendances et élasticités estimés dans les sections précédentes sont utilisés.

a) Les conditions de base

Le scénario de base pour les émissions de GES est déterminé d'après les inventaires présentés précédemment. Pour la région de Montréal, les conditions de base sont posées d'après l'enquête O-D de 2008 alors que pour Québec et Sherbrooke, les enquêtes de 2006 et 2003 sont utilisées, respectivement.

b) Le scénario de référence

Ce scénario considère deux facteurs affectant directement l'efficacité énergétique du parc de véhicules : le remplacement constant des VL par de nouveaux modèles plus efficaces et la pénétration progressive des véhicules hybrides électriques (VHE). Ces deux facteurs sont associés à une amélioration constante de l'efficacité énergétique du parc de VL québécois. Plus spécifiquement, nous supposons que :

- Le marché des véhicules légers au Québec satisfera les exigences du Règlement québécois sur les émissions de gaz à effet de serre des véhicules automobiles (Décret 1269-2009). Celui-ci prévoit une réduction progressive des émissions de GES des nouveaux VL pour les années modèles 2010 à 2016. Précisons qu'en novembre 2011, les normes québécoises ont été alignées sur les normes adoptées en octobre 2010 par le gouvernement fédéral canadien pour années modèles 2012 à 2016. Ces dernières sont elles-mêmes calquées sur les normes fédérales américaines.⁹ Nous évaluons que ces changements engendreront une réduction de 15% du taux de

⁹ En septembre 2014, le gouvernement canadien a adopté de nouvelles normes pour les années modèles 2017 à 2020. Notre scénario de base ne tient pas compte de ces derniers développements. Par contre, le scénario technologique décrit ci-dessous impose un resserrement des normes à partir de 2017 qui est cohérent avec la nouvelle réglementation fédérale.

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

consommation d'essence du parc automobile en 2021. Les détails de cette évaluation sont décrits dans la partie agrégée de ce rapport.

- Le taux de pénétration des VHE dans le parc de VL immatriculés atteint 300 000 nouveaux VHE d'ici 2020. Nous supposons que l'effet de cette mesure s'additionne à l'effet des normes. Il est probable que cette hypothèse soit trop optimiste puisque l'ajout de VHE peut être un moyen pour les manufacturiers d'atteindre les normes.

Pour l'application du scénario, les taux de consommation de carburant (TCC) pour chaque unité spatiale (code de RTA) sont générés. Le TCC pour chaque unité spatiale en 2021 est déterminé par :

$$TCC_{2021_m} = TCC_{2008_m} \times f \times (1 - se_m) + TCCE \times se_m \quad (6)$$

où

- TCC_{2021_m} est la consommation de carburant moyenne pour le parc de VL de l'unité spatiale m en 2021.
- TCC_{2008_m} est la consommation de carburant moyenne pour le parc de VL de l'unité spatiale m en 2008.
- f est le facteur de réduction associé à la politique sur les émissions de GES, tel que $f = (1 - 0,15)$ dans le scénario 1.
- se_m est la proportion (taux de pénétration du marché) de véhicules électriques dans la même unité spatiale. Pour plus d'informations, le lecteur peut consulter le calcul décrit à la section 6.2 de ce rapport, dans la méthode agrégée.
- $TCCE$ est le TCC moyen pour les véhicules électriques dans m . Dans le cas présent, le TCCE est de 1,6 l/100 km, ce qui correspond au taux utilisé dans le « plan d'action 2011-2020 sur les véhicules électriques »¹⁰.

¹⁰ Ce plan inclut les véhicules hybrides rechargeables et tout électriques. L'estimation du taux à 1,6 litres/100 km est déduite des estimations d'économies de carburant rapportées à la page 8 du plan d'action 2011-2020 sur les véhicules électriques. Le plan prévoit une économie de 384 millions de litres d'essence grâce à ces véhicules. En supposant une consommation moyenne de 10 litres/100 km pour les véhicules traditionnels et un kilométrage de 15200 km par an, le taux implicite de consommation de carburant des véhicules électriques serait de 1,6 litres/100 km.

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

c) Le scénario technologique

Dans ce scénario, comme dans l'approche agrégée, le parc de VHE doit doubler, ce qui signifie qu'il atteindrait 600 000 sur les routes du Québec. De plus, nous supposons aussi que les normes d'émissions de GES sont resserrées de 2017 à 2021 de 5% par an pour les VL de catégorie 1 et de 3,5% pour la catégorie 2.^[11]

Nous nous basons sur les normes adoptées aux États-Unis et reprises, depuis septembre 2014, par le gouvernement canadien soit une réduction de 5% par an pour les véhicules de catégorie 1 et de 3,5% pour la catégorie 2. Dans ce scénario, la moyenne pondérée par la population du taux de consommation du parc en 2021 est évaluée à 6,11 litres/100 km, soit une réduction de 14% par rapport au scénario de référence ou de 30% par rapport à 2009. Les autres hypothèses sont similaires à celles du scénario de référence.

Pour les deux scénarios, la moyenne pondérée par région de la consommation d'essence est rapportée dans le **Tableau 10**.

Tableau 10 Taux de consommation de carburant pour les trois régions métropolitaines

Région	Conditions de base	Scénario de référence	Scénario technologique
Montréal	9.19	7.26	6.42
Québec	9.41	7.15	6.11
Sherbrooke	9.23	7.07	6.28

d) Le scénario de densification de la population

Dans ce scénario, les élasticités estimées à la section précédente pour chaque région métropolitaine sont utilisées. Les élasticités varient d'une région à l'autre, mais sont en général relativement faibles. Pour ce scénario, nous

¹¹ Ces ajustements sont cohérents avec les normes imposées aux États-Unis et avec celles annoncées récemment par le gouvernement Canadien.

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

faisons premièrement l'hypothèse que la densité de population augmentera d'après les scénarios générés et fournis par le ministère des Transports du Québec. Dans ce cas, ce changement (%) est calculé directement en utilisant les projections pour chaque unité spatiale définie comme « zone de planification » ou ZP qui est le système géographique utilisé pour préparer les projections sur toute la province. D'après ces projections, les changements de densité moyenne sont de 12%, 10% et 16% pour les régions de Montréal, Québec et Sherbrooke, respectivement. Une fois le changement calculé pour chaque unité spatiale, l'augmentation (%) est multipliée par l'élasticité correspondante. Cette valeur est ensuite multipliée par les émissions dérivées dans les deux scénarios précédents.

e) Les tendances temporelles de la distance parcourue

Dans ce cas, l'effet de tendances temporelles sur la réduction de la distance parcourue par VL est introduit. Cet effet n'est considéré que pour Montréal puisqu'il s'agit de la seule région pour laquelle trois enquêtes O-D sont utilisées. On note que, comme présenté et discuté dans la section 7.1, les résultats pour la région de Montréal montrent que la réduction importante de la distance parcourue est l'un des déterminants principaux concernant l'émission de GES. Pour cette région, on estime que les distances moyennes en VL par personne diminuent à un taux de 12% sur la période de 10 ans couvrant les enquêtes (1,2% par année). Cette réduction de la distance pourrait être attribuable à différents facteurs comme des changements dans le partage modal correspondant à une augmentation de la part des déplacements en transport en commun et des moyens de transport non motorisés, à la diminution du nombre de déplacements per capita et au rapprochement entre les lieux de domicile et de travail. Dans ce scénario, en restant conservateur, une réduction de la distance parcourue en VL de 1,0% par année est fixée. Notons que la réduction des distances parcourues dans ce scénario devrait se dérouler simultanément à une amélioration de l'efficacité énergétique des VL comme définie dans les scénarios technologiques.

f) Le scénario transport en commun

Dans ce scénario, les émissions de GES provenant du transport en commun sont recalculées à partir des conditions de base en faisant l'hypothèse que tous les autobus actuels sont remplacés par des modèles hybrides. Les émissions des VL demeurent constantes et le pourcentage de réduction est

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

calculé. Comme mentionné précédemment, les courbes de consommation de carburant en fonction de la vitesse pour les véhicules hybrides sont obtenues d'une étude récente de la Société de transport de Montréal (STM, 2009). Dans le cas de la région de Montréal, les émissions sont recalculées en considérant que tous les trains de banlieue sont remplacés par des trains électriques. Puisque 99% de l'énergie électrique du Québec provient de l'hydroélectricité, les émissions de GES des trains de banlieue électriques sont fixées à zéro. Les émissions des autres types de trains sont les mêmes que dans le scénario de base.

9. LES RÉSULTATS DES SCÉNARIOS

Scenarios de référence et technologique. Les résultats de ces scénarios pour 2021 sont présentés dans le **Tableau 11**. Les observations suivantes sont faites :

- Il est clair que des réductions relativement importantes des émissions de GES sont attendues, autant à l'échelle individuelle que régionale. Les réductions individuelles sont présumées plus importantes que les réductions régionales. Cela est dû au fait que la population dans les régions continuera à s'accroître. Par conséquent, cette croissance viendra atténuer les bénéfices attribuables au progrès technologique.
- Comme attendu, les réductions dans le scénario de référence sont plus modestes que dans le scénario technologique, avec des améliorations plus ambitieuses de l'efficacité énergétique du parc de VL québécois. Par exemple, dans le cas de Montréal, une réduction régionale d'environ 4,9% surviendrait selon les conditions établies dans le scénario de référence. D'après les conditions stipulées dans le scénario technologique, la réduction à l'échelle régionale serait de 14,6%.
- La population des régions devrait s'accroître d'après les prévisions du MTQ. Alors, en combinant les deux scénarios précédents avec une augmentation de la densité, une légère diminution supplémentaire est observée. Par exemple, à Montréal, la combinaison des scénarios technologique et de densité entraînerait une réduction d'environ 18% dans les émissions de GES régionales.

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

- En examinant les trois régions, un aspect important à souligner est celui des ressemblances entre Montréal et Sherbrooke. En effet, les réductions des émissions dans les différents scénarios sont similaires entre ces régions. Pour Québec, les réductions sont moins prononcées. Cela pourrait être dû à une croissance plus forte de la population en banlieue dans cette région jumelée à une amélioration plus modérée de l'efficacité énergétique du parc de VL et à un accroissement plus faible de la densité de population.
- À l'échelle individuelle, il n'est pas surprenant de constater que la région de Montréal montre les niveaux d'émissions les plus bas. Cela s'applique à tous les scénarios considérés dans cette étude. Les régions de Québec et de Sherbrooke montrent des dynamiques très similaires en ce qui concerne les émissions à l'échelle individuelle, avec un taux d'amélioration légèrement supérieur à Sherbrooke.

Scénarios avec tendances temporelles de la distance parcourue. En considérant l'effet de la réduction de la distance parcourue en VL dans la région de Montréal, le bilan des émissions de GES pourrait être plus optimiste pour cette région. Ainsi que discuté précédemment, les tendances temporelles sont disponibles seulement pour Montréal avec l'approche désagrégée. En considérant l'effet de la réduction de la distance, la région de Montréal pourrait s'attendre à voir une réduction supplémentaire de la distance de 1,0%, d'après les tendances estimées à la section précédente. Donc, en recalculant les émissions de GES associées à la réduction du kilométrage en VL par personne de 1% par année, on anticipe une diminution additionnelle de 11,2% pour l'année 2020. Ce qui signifie que, par exemple, avec une combinaison du scénario technologique & de celui de la densification avec la tendance temporelle de réduction de la distance parcourue, les émissions de GES à Montréal pour l'année 2021 seraient 30 % inférieures à celle de 2008, l'année de base. Pour les deux autres régions, les tendances sur l'utilisation des VL ne sont pas disponibles.

INVENTAIRE ET PROSPECTIVES DES ÉMISSIONS DE GES DANS LE SECTEUR DU TRANSPORT DES
PERSONNES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE ET MUNICIPALE

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

Tableau 11 Scénarios de référence, technologique et de densification de la population pour 2021

	Scénario	Émissions de GES moyennes par individu (kg par jour)	Émissions totales de GES régionales (tonnes/jour)	Réduction régionale
MONTRÉAL	<i>Année de base 2008</i>	3.37	13,032	-
	Référence	2.71	12,389	-4.9%
	Référence + densification	2.65	11,915	-8.6%
	Technologique	2.42	11,128	-14.6%
	Technologique + densification	2.37	10,699	-17.9%
	Technologique + densification + réduction de distance	2.06	9,370	28.1%
	<i>Année de base 2006</i>	3.98	2923.1	-
QUÉBEC	Référence	3.20	2900.2	-0.8%
	Référence + densification	3.14	2849.7	-2.5%
	Technologique	2.90	2615.3	-10.5%
	Technologique + densification	2.84	2569.3	-12.1%
	<i>Année de base 2003</i>	4.04	494.7	-
SHERBROOKE	Référence	3.13	474.2	-4.1%

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

	Référence + densification	3.11	469.1	-5.2%
	Technologique	2.79	425.4	-14.0%
	Technologique + densification	2.77	420.7	-15.0%

Scenarios avec des améliorations dans le transport en commun Les facteurs dont l'impact est estimé incluent : i) l'introduction d'autobus hybrides et ii) de trains de banlieue électriques dans le cas de Montréal. Pour chaque scénario, les émissions sont recalculées en utilisant la procédure définie plus haut, dans laquelle les TCC sont modifiés d'après le scénario technologique. Les résultats des scénarios liés au transport en commun font l'objet de ces observations :

- En remplaçant les autobus actuels fonctionnant au diesel par des modèles hybrides, la consommation de carburant moyenne par déplacement diminuerait de 0,43, 0,91 et 0,48 kg pour Montréal, Québec et Sherbrooke, respectivement. Cela représenterait des réductions de 11%, 20% et 25% dans les émissions de GES liées au transport en commun, par rapport au scénario de base. Toutefois, ces réductions auraient un impact marginal sur les émissions totales aux échelles individuelle et régionale étant donné que le pourcentage des émissions liées au transport en commun est déjà très bas, soit environ 2% à Montréal en 2003. Ainsi, lorsque ces réductions sont exprimées en termes de baisses globales des émissions, elles ne sont que de 0,36%, 0,65% et 0,82%, respectivement. Les baisses sont plus importantes à Québec et Sherbrooke puisque l'autobus est l'unique mode de transport en commun dans ces villes alors qu'à Montréal, le métro et les trains de banlieue, incluant une ligne électrique, s'approprient une grande part des déplacements. De plus, les déplacements en métro ne causent pratiquement aucune émission de GES.
- En considérant le remplacement de tous les trains de banlieue de Montréal par des trains électriques, les émissions de GES pour ce mode se rapprochent de zéro. Cela tient compte du fait que 99% de l'électricité de la province provient de barrages hydroélectriques. Dans ce cas, les émissions des déplacements en transport en commun tomberaient à 0,39 kg, ce qui représente une baisse de 20% par

rapport au scénario de base. Qui plus est, si les autobus urbains sont aussi remplacés, on s'attendrait à voir une diminution de 32% dans les émissions du transport en commun.¹² Néanmoins, cette réduction ne représenterait que 1% des émissions de GES globales. Cela signifie également que la réduction relative est marginale lorsqu'on examine les émissions totales.

10. CONCLUSIONS

Ce rapport montre les résultats d'une approche désagrégée pour évaluer les retombées de stratégies liées à l'EB, de caractéristiques sociodémographiques et d'améliorations technologiques sur les émissions de GES liées au transport dans trois régions urbaines du Québec. Les résultats empiriques et les scénarios évalués concernent les régions de Montréal, Québec et Sherbrooke.

Dans les étapes initiales, les inventaires des émissions de GES sont calculés aux échelles des individus, des ménages et des régions. À la deuxième étape, des indicateurs de l'EB sont établis pour chaque région, comme la densité, les utilisations du sol et l'accessibilité au transport en commun. Pour combiner les effets de ces indicateurs, une typologie de quartiers est générée. Ensuite, pour définir les liens entre les caractéristiques de l'EB et les émissions de GES, nous effectuons une analyse par régression afin de quantifier ces relations. En accord avec la littérature internationale et notre recherche antérieure sur le sujet, nous montrons que l'EB a des effets statistiquement significatifs et contribue à réduire les émissions de GES, en atténuant les impacts de la croissance sociodémographique à l'échelle des ménages. Toutefois, les élasticités sont relativement faibles, particulièrement pour les régions de Québec et de Sherbrooke. Par exemple, une augmentation de 10% de la densité de population est associée à des diminutions des émissions de seulement 3,53%, 1,5% et 1,4% pour Montréal, Québec et Sherbrooke, respectivement. Les résultats ne sont pas surprenants puisque des effets marginaux similaires pour l'EB sont rapportés dans la littérature récente pour d'autres villes nord-américaines. Néanmoins, les élasticités pour Montréal sont légèrement supérieures à celles obtenues dans les deux autres régions et dans la littérature. Il est à noter que les résultats indiquent une certaine cohérence dans les tendances observées entre les régions métropolitaines.

¹² On suppose un remplacement immédiat de l'ensemble des autobus, ce qui est évidemment un cas extrême puisque la durée de vie d'un autobus est d'environ 16 ans.

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

Cela signifie que des modèles génériques de bilan des émissions de GES associées au transport routier des personnes pourraient être envisagés pour différentes régions du Québec en se basant sur des données O-D. Cependant, ces modèles devraient être calibrés pour chaque région à partir des données spécifiques à chacune.

Il est aussi important de souligner les variations significatives des émissions de GES au niveau des individus et des ménages entre quartiers d'une même ville. Ces variations sont beaucoup plus fortes que celles observées entre les régions métropolitaines concernées. Par exemple, à Montréal, les ménages situés dans des quartiers centraux (groupe 4) ont émis en moyenne trois à quatre fois moins de carbone que les ménages dans les banlieues éloignées. Ce résultat est confirmé par l'analyse de régression dans laquelle les élasticités montrent les répercussions importantes des typologies des quartiers, après contrôle des effets sociodémographiques.

Les émissions des ménages sont également associées significativement aux caractéristiques sociodémographiques, incluant le nombre de travailleurs à temps plein comme à temps partiel et d'étudiants qui montrent une relation positive. À l'opposé, la présence de retraités et d'enfants de moins de 15 ans est associée négativement aux émissions. D'autres variables à considérer sont le revenu et la propriété d'un ou plusieurs véhicules. Étant donné ces liens importants, les évolutions des facteurs sociodémographiques jouent un rôle significatif quant aux émissions de GES aux niveaux individuel et régional. Ces résultats montrent aussi l'influence de l'économie régionale qui entraîne des répercussions considérables en termes de demande de carburant et de VL.

Une fois la relation entre les émissions de GES et ses déterminants, tels que l'efficacité énergétique du parc de VL, l'EB, les caractéristiques sociodémographiques et le transport en commun et actif établie, nous avons formulé plusieurs scénarios en suivant les mêmes principes qu'avec l'approche agrégée. Parmi les résultats, nous dégagons certaines observations qui méritent d'être soulignées.

Nous nous attendons à ce que les émissions de GES dans le transport routier des personnes diminuent d'ici 2021 autant à l'échelle individuelle que régionale. Toutefois, la réduction devrait être plus importante au niveau des individus et des ménages qu'à l'échelle régionale. L'effet régional des améliorations technologiques devrait être atténué par l'accroissement de la population dans les trois régions métropolitaines. Par exemple, à Montréal, en considérant que l'amélioration de l'efficacité énergétique du parc de VL reste constante, comme en 2008, et que la population continue de croître selon les projections du MTQ, le bilan des émissions de GES dans la région serait de

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

15 000 tonnes par jour, ce qui représenterait une augmentation majeure comparativement au scénario de base de 13 000 tonnes. Des considérations similaires peuvent être émises dans les deux autres régions de Québec et Sherbrooke. Par ailleurs, à Montréal, une réduction de près de 18% est attendue d'après le scénario technologique en considérant l'augmentation de la densification.

Cette étude met en évidence le rôle fondamental de l'amélioration de l'efficacité énergétique du parc des VL par l'introduction croissante des technologies. Des réductions significatives des émissions de GES sont attendues si les normes gouvernementales et les réglementations sont mises en application et atteignent leur plein potentiel d'ici 2021. Les retombées des politiques et/ou des projets liés à la densification et à la diversification des utilisations du sol resteraient marginales sur le court terme (8 ans) tout en offrant un potentiel significatif à moyen et long terme. D'importants changements dans l'EB seraient nécessaires afin de parvenir à des réductions significatives, ce qui représente toujours un défi à court terme.

Concernant les politiques liées au transport en commun, l'électrification des systèmes n'amènerait qu'une réduction mineure des émissions de GES. Cela n'est pas surprenant étant donné la faible contribution de ces modes de transport au bilan des émissions de GES globales et régionales. Par exemple, le remplacement d'autobus par des modèles hybrides entraînerait des réductions seulement marginales dans les émissions moyennes des ménages et des régions, soit des diminutions de 0,36%, 0,65% et 0,82% pour Montréal, Québec et Sherbrooke respectivement. Cet effet était prévisible car les émissions de GES liées au transport en commun ne représentent qu'une petite partie des émissions totales, soit moins de 4% à Montréal. Concernant l'accessibilité, l'effet d'une augmentation de l'offre de transport en commun resterait faible, d'après les élasticités estimées avec les modèles pour chaque région métropolitaine. Une augmentation de 10% de l'accessibilité actuelle au transport en commun à Montréal n'amènerait qu'une réduction de 5% des émissions. Pour les régions de Québec et de Sherbrooke, les élasticités sont encore plus faibles. Par ailleurs, la combinaison d'actions visant à améliorer simultanément différents facteurs, tels que des changements dans l'EB et de l'accessibilité au transport en commun, pourrait se traduire en d'importantes réductions. Toutefois, la transformation de banlieues et d'environnements ruraux, caractérisés par une faible offre de transport en commun, en quartiers plus urbains, caractérisés par une accessibilité élevée aux services de transport en commun, représente un grand défi.

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

Il est finalement intéressant de noter la tendance temporelle négative de la distance parcourue en VL observée dans l'analyse en trois vagues pour la région de Montréal à l'échelle individuelle. Cette tendance pourrait s'expliquer par des facteurs associés à des changements dans la demande et les destinations des déplacements en VL, ainsi que dans la partition modale. L'importance du kilométrage des VL est constatée dans les résultats. Une réduction de la distance parcourue de 1,0% par année pourrait entraîner une réduction majeure de 11,2% des GES pour l'année 2020. Malgré l'importance que peuvent jouer les tendances dans les projections, l'évolution de la distance parcourue dans les deux autres régions métropolitaines n'est pas disponible. Donc, ce résultat n'est pas généralisable.

Finalement, les facteurs sociodémographiques semblent jouer un rôle fondamental. D'après les élasticités obtenues, le lien fort entre les émissions de GES et le revenu ainsi que l'âge devraient jouer un rôle significatif dans le court et moyen terme. L'économie régionale et le vieillissement de la population sont deux facteurs qui vont significativement faire varier l'issue des scénarios aux échelles individuelle et régionale.

Références bibliographiques

ALLY, J. et T. PRYOR. « Life-cycle Assessment of Diesel, Natural Gas and Hydrogen Fuel Cell Bus Transportation Systems », *Journal of Power Sources*, vol. 170, 2007, p. 401-411.

ALVAREZ, R. et R. WEILENMANN. « Effect of Low Ambient Temperature on Fuel Consumption and Pollutant and CO2 Emissions of Hybrid Electric Vehicles In Real-World Conditions », *Fuel*, Vol. 97, 2012, p. 119-124.

BABIN, A., P. FOURNIER et L. GOURVIL. « Modèle d'émission des polluants et des GES et modèle de consommation des carburants », pour *MOTREM*, Service de la modélisation des systèmes de transport, Ministère des Transports du Québec, 2004.

BADDOE, D. et E. MILLER. «Transportation—Land Use Interaction: Empirical Findings in North America, and their Implications for Modeling », *Transportation Research Part D*, Vol. 5, No. 4, 2000, p. 235-263.

BARLA, P., L. F. MIRANDA-MORENO et M. LEE-GOSSELIN. « Urban Travel CO2 Emissions and Land Use: a Case Study for Quebec City », *Transportation Research, Part D*, Vol.16, No. 6, 2010a, p. 423-428.

BARLA, P., L. F. MIRANDA-MORENO et N. SAVARD-DUQUET. «Mobilité et Changements Climatiques, Formes Urbaines et Mobilité: Que dit la recherche? », Volume 1, 2010b, Ministère des Transports du Québec, QC.

BENTO, A. M., M. L. CROPPER, A. M. MOBARAK et K. VINHA. « The Impact of Urban Spatial Structure on Travel Demand in The United States », World Bank policy research, Working Paper No. 3007, 2003.

BEER, T., T. GRANT, D. WILLIAMS et H. WATSON. « Fuel-cycle Greenhouse Gas Emissions from Alternative Fuels in Australian Heavy Vehicles », *Atmospheric Environment*, Vol. 36, 2002, p. 753-763.

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

CHAN, S., L. F. MIRANDA-MORENO, A. ALAM et M. HATZOPOULOU. «Assessing the Impact of Bus Technology on Greenhouse Gas Emissions Along a Major Corridor: A Lifecycle Analysis », *Transportation Research, Part D*, Vol. 20, 2013, p. 7–11.

CHAPLEAU, R. «La Modélisation de la Demande de Transport Urbain Avec une Approche Totalemment Désagrégée ». In *Proceedings of the 6th World Conference on Transportation Research*, Lyon, France, 1992.

CHESTER, M. et A. HORVATH. « Environmental Life-cycle Assessment of Passenger Transportation: A Detailed Methodology for Energy, Greenhouse Gas and Criteria Pollutant Inventories of Automobiles, Buses, Light Rail, Heavy Rail and Air v.2 »; UC Berkeley Center for Future Urban Transport: A Volvo Center of Excellence, Institute of Transportation Studies, UC Berkeley: Berkeley, CA, 2008.

CLARK, N. N., E. R. BORRELL, D. L. MCKAIN, V. H. PARAMO, W. S. WAYNE, W. VERGARA, R. A. BARNETT, M. GAUTAM, G. THOMPSON, D. W. LYONS et L. SCHIPPER. « Evaluation of Emissions from New and In-Use Transit Buses in Mexico City, Mexico », *Transport Research Record*, No. 1987, 2006, p. 42-53.

CLARK, N. N., F. ZHEN et W. S. WAYNE. « Assessment of Hybrid-Electric Transit Bus Technology »; TCRP Report 132, *Transportation Research Board*, Washington, D.C., 2009.

DEB, P. et P. K. TRIVEDI. « Specification and Simulated Likelihood Estimation of a Non-Normal Treatment-Outcome Model With Selection: Application to Health Care Utilization », *The Econometrics Journal*, Vol. 9, 2006, p.307–331.

EPA - U.S. Environmental Protection Agency, «Fuel Economy in cold weather », <http://www.fueleconomy.gov/feg/coldweather.shtml>

EWING, R. et R. CERVERO. « Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis », *Journal of the American Planning Association*, Vol. 76, No. 3, 2010, p. 265–294.

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

FONTARAS, G., P. PISTIKOPOULOS et Z. SAMARAS. « Experimental Evaluation of Hybrid Vehicle Fuel Economy and Pollutant Emissions Over Real-World Simulation Driving Cycles », *Atmospheric Environment*, Vol. 42, No. 18, 2008, p. 4023-4035.

FRANK, L. D., T. L. SCHMID, J. F. SALLIS, J. CHAPMAN et B. E. SAELENS. « Linking Objectively Measured Physical Activity With Objectively Measured Urban Form: Findings From SMARTRAQ », *American Journal of Preventive Medicine*, Vol. 28, No. 2, 2005, p.117-125.

FREY, H. C., N. M. ROUPHAIL, H. ZHAI, T. L. FARIAS et G. A. GONCALVES. « Comparing Real-world Fuel Consumption for Diesel- and Hydrogen-fueled Transit Buses and Implication for Emissions », *Transportation Research, Part D*, Vol. 12, 2007, p. 281-291.

IEA - International Energy Agency. « CO2 Emissions from Fuel Combustion », Highlights document, 2009.

KARMAN, D. « Life-Cycle Analysis of GHG Emissions for CNG and Diesel Buses in Beijing », *EIC Climate Change Technology*, Vol. 1, 2006, p. 248-253.

HONG, J. et A. GOODCHILD. « Land use policies and transport emissions: Modeling the impact of trip speed, vehicle characteristics and residential location », *Transportation Research, Part D*, Vol. 26, 2014, p. 47-51.

LIAO, C. H., C. L. CHANG, C. Y. SU et P. T. CHIUEH. « Correlation between land-use change and greenhouse gas emissions in urban areas », *International Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 10, No. 6, 2013, p. 1275-1286.

LIN, J. et L. LONG. « What Neighborhood Are You in? Empirical Findings of Relationships Between Household Travel and Neighborhood Characteristics », *Transportation*, Vol. 35, No. 6, 2008, p. 739-758.

MIRANDA-MORENO, L. F., L. BETTEX, A. ZAHABI, T. KREIDER et P. BARLA. « A Simultaneous Modeling Approach to Evaluate the Endogenous Influence of Urban Form and Public Transit Accessibility on Distance Traveled », *Journal of Transportation Research Record*, No. 2255, 2011, p. 100-109.

RABL, A. «Environmental Benefits of Natural Gas for Buses », *Transportation Research, Part D*, Vol. 7, 2002, p. 391-405.

RYAN, F. et B. CAULFIELD. « Examining the Benefits of Using Bio-CNG in Urban Bus Operations », *Transportation Research, Part D*, Vol. 5, 2010, p. 362-365.

RIVA, M., P. APPARICIO, L. GAUVIN et J.-M. BRODEUR. «Establishing the Soundness of Administrative Spatial Units for Operationalising the Active Living Potential of Residential Environments: An Exemplar for Designing Optimal Zones », *International Journal of Health Geographics*, Vol. 7, No. 1, 2008, p. 43.

RUTTY, M., L. MATTHEWS, J. ANDREY et T. DEL MATTO. « Eco-driver Training within the City of Calgary's Municipal Fleet: Monitoring the Impact », *Transportation Research, Part D*, Vol. 24, 2013, p. 44-51.

SCHAFER, A., J. B. HEYWOOD, M. A. WEISS. « Future Fuel Cell and Internal Combustion Engine Automobile Technologies: A 25-year Life Cycle and Fleet Impact Assessment », *Energy*, Vol. 31, 2006, p. 2064-2087.

STM - Société de transport de Montréal. « Technical Report-Hybrid Technology », http://www.mouvementcollectif.org/wpcontent/uploads/2009/06/rapport_technique_technologie_hybride.pdf, 2009.

TRB - Transportation Research Board. «Driving and the Built Environment: The Effects of Compact Development on Motorized Travel, Energy Use, and CO2 Emissions », *Special Report 298*, Washington DC, National Research Council, 2009.

PARTIE 1: ANALYSE DÉSAGRÉGÉE

WEE, B. V.; P. JANSE et R. VAN DEN BRINK. « Comparing Energy Use and Environmental Performance of Land Transport Modes », *Transport Reviews*, Vol. 25, No. 1, 2005, p. 3-34.

YAN, X. et R. J. CROOKES. « Life Cycle Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions for Road Transportation Fuels in China », *Renewable Sustainable Energy Review*, Vol. 13, 2009, p. 2505-2514.

ZAHABI, S. A. H., L. F. MIRANDA-MORENO, Z. PATTERSON et P. BARLA. « Urban Transportation Greenhouse Gas Emissions and its Link with Urban Form, Transit Accessibility and Emerging Green Technologies: A Montreal case study », *Journal of Transportation Research Record*, No. 2375, 2013, p. 45-54.

ZAHABI, S. A. H., L. F. MIRANDA-MORENO, P. BARLA et B. VINCENT. « Fuel Economy of Hybrid-electric Versus Conventional Gasoline Vehicles in Real-world Conditions: A Case Study of Cold Cities in Quebec, Canada », *Transportation Research, Part D*, Vol. 32, 2014, p. 184-192.

ZAMEL, N. et X. LI. « Life Cycle Analysis of Vehicles Powered by a Fuel Cell and by Internal Combustion Engine for Canada », *Journal of Power Sources*, Vol. 155, 2006, p. 297-310.

Partie 2 : Analyse agrégée

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	6
2. REVUE DE LA LITTÉRATURE	7
3. LES DONNÉES.....	11
4. BILAN EN TERMES DE GES ET DE VENTE DE CARBURANT PAR MARCHÉ	14
5. ANALYSE ÉCONOMÉTRIQUE	27
6. PROFILS RÉGIONAUX D'ÉVOLUTION À L'HORIZON 2021.....	38
6.1 Méthodologie.....	38
6.2 Les scénarios	42
6.2.1 <i>Le scénario de référence</i>	42
6.2.2 <i>Le scénario technologique</i>	46
6.2.3 <i>Le scénario prix élevé du carbone</i>	47
6.3 Les résultats	47
6.3.1 <i>Résultats du scénario de référence</i>	47
6.3.2 <i>Résultats du scénario technologique et de tarification élevée du carbone</i>	49
6.3.3 <i>Spécifications alternatives</i>	49
6.4 La tendance à la baisse dans les marchés urbains.....	51
6.4.1 <i>La crise financière et économique de 2008</i>	52
6.4.2 <i>L'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules</i>	52
6.4.3 <i>Le développement du transport en commun</i>	52
6.4.4 <i>Le vieillissement de la population</i>	53
6.4.5 <i>Déplacement de la demande</i>	54
7. CONCLUSIONS.....	56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Fourchette des valeurs de l'élasticité-prix et revenu.....	9
Tableau 2: Liste des marchés couverts dans la base de données de Kent	12
Tableau 3: Ventes totales d'essence par marché et par année en millions de litres, taux de variation annuel moyen en % et ventes annuelles moyennes per capita en litres.....	16
Tableau 4: Émissions de GES en Mt par marché et par année, variation annuelle moyenne en % et émissions annuelles moyennes per capita en tonnes ..	17
Tableau 5: Résultats du modèle à effets fixes	28
Tableau 6: Résultats du modèle non contraint (estimation marché par marché)	29
Tableau 7: Composition des groupes de marchés et population	33
Tableau 8: Statistiques descriptives par groupe de marchés	34
Tableau 9: Résultats par groupe de marchés	35
Tableau 10: Tendances annuelles estimées (%) à prix et revenu constants par marché urbain	37
Tableau 11: Usage annuel moyen per capita en km par groupe de marchés, pour l'ensemble des marchés et distance annuelle parcourue selon l'enquête sur les véhicules.....	40
Tableau 12: Résultats pour l'usage par groupe de marchés.....	41
Tableau 13: % de variation de la population par groupe de marchés 2009-2021.....	43
Tableau 14: Moyenne pondérée par la population du TCC en 2008, du TCC simulé en 2021 et variation en % par groupe de marchés et pour l'ensemble des marchés	45
Tableau 15: Variation en % de 2009 à 2021 dans les ventes totales d'essence (V) et des émissions de GES et décomposition de l'effet par facteur explicatif	48
Tableau 16: Variation en % de 2009 à 2021 dans les ventes totales d'essence (V) et l'usage (U) par scénario et par groupe de marchés	49
Tableau 17: Variation en % de 2009 à 2021 des ventes totales d'essence par groupe de marchés suivant différentes spécifications alternatives	50

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

Tableau 18: Simulations de la réduction dans les ventes per capita de 2004 à 2009 suite à l'élimination de l'impact de différents facteurs qui peuvent expliquer la tendance	55
Tableau A2- 1: Description et sources des variables	61
Tableau A2- 2: Comparaison d'indicateurs clefs au niveau agrégé	63
Tableau A2- 3: Comparaison du nombre de stations et du volume des ventes (millions de litres) selon Kent (2009) et la régie (2010).....	64
Tableau A2- 4: Statistiques descriptives des ventes trimestrielles per capita par série	67
Tableau A2- 5: Ventes annuelles d'essence per capita dans la région de Montréal selon les données de Kent et de l'AMT (en litres)	68
Tableau A3-1: Variation en % de 2009 à 2021 de la population et du taux de consommation moyen des véhicules scénario de référence et technologique	70
Tableau A3-2: Résultats des simulations scénario de référence. Variation en % de 2009 à 2021	71
Tableau A3-3: Résultats des simulations scénario technologique et tarification élevée du carbone par marché. Variation en % de 2009 à 2021	72

LISTE DES GRAPHIQUES

Graphique 1: Indice des ventes d'essence per capita de 2004 à 2009 (indice=100 au trimestre 1 de 2004) et tendance correspondante.....	19
Graphique 2: Distributions des élasticités-prix et revenu.....	30
Graphique 3: Évolution de U et de la distance parcourue per capita selon l'enquête sur les véhicules et tendances correspondantes	40
Graphique A2-1: Évolution des ventes totales d'essence de 2004 à 2009 selon Kent et Statcan avec les tendances correspondantes.....	66
Graphique A2-2: Évolution des ventes trimestrielles d'essence per capita dans les marchés Hors Kent et les marchés ruraux de Kent (en litres)	67
Graphique A2-3: Comparaison des tendances dans les ventes annuelles d'essence per capita dans la région de Montréal selon les données de Kent et de l'AMT.....	69

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Délimitations territoriales	60
Annexe 2: Description des données et analyse de fiabilité.....	61
Annexe 3: Résultats des simulations par marché.....	70

1. INTRODUCTION

Cette partie présente les résultats obtenus de l'analyse agrégée du projet de recherche « Inventaire et perspectives des émissions de GES dans le secteur du transport des personnes à l'échelle régionale et municipale (R707.1) » financé par le MTQ. Pour rappel, le projet de recherche consiste à établir des bilans régionaux de la consommation de carburant et des émissions de gaz à effet de serre associées au transport urbain des personnes. Il s'agit également d'analyser les principaux déterminants de ce bilan en vue d'établir des profils contrastés d'évolution des émissions à l'horizon 2020, selon différents scénarios qui seront déterminés à partir des résultats de la première étape. Le projet se divise en deux parties l'une basé sur des données désagrégées au niveau des ménages pour les grands centres urbains du Québec et l'autre sur des données agrégées au niveau des municipalités.

Les objectifs spécifiques de la partie analyse agrégée du projet sont :

- 1) d'établir des bilans régionalisés de la consommation d'essence et des GES qui en découlent au Québec;
- 2) d'effectuer une analyse économétrique afin de tester l'impact de différents facteurs sur la demande d'essence et particulièrement de tester si la réactivité de la demande au prix et au revenu (élasticité-prix et revenu de la demande) varie suivant les caractéristiques du marché;
- 3) d'établir des profils régionaux d'évolution des ventes d'essence et des émissions à l'horizon 2021 suivant différents scénarios.

La suite de cette partie s'organise comme suit : la section 2 présente le cadre de l'analyse et une brève revue de la littérature pertinente. La section 3 décrit les données et analyse leur fiabilité. La section 4 expose le bilan régionalisé des ventes d'essence et des émissions de GES qui y sont associées.¹³ L'analyse économétrique des déterminants des ventes et de la sensibilité au prix et au revenu est décrite à la section 5. La section 6 présente les simulations à l'horizon 2021 suivant différents scénarios. Les conclusions de ce volet du projet sont détaillées à la section 7.

¹³ Il est important de noter que, dans ce rapport, le terme « ventes d'essence » fait référence aux quantités d'essence vendue en litres plutôt qu'aux montants des ventes exprimés en dollars.

2. REVUE DE LA LITTÉRATURE

Il existe une très vaste littérature sur la demande d'essence et ses déterminants. Au cours des dernières années, ce sujet a connu un regain d'intérêt avec la flambée des prix du pétrole en 2008 et les préoccupations environnementales de plus en plus pressantes. L'objectif de cette section n'est pas de faire une revue exhaustive de la littérature sur la demande d'essence mais plutôt de i) présenter les grandes approches méthodologiques afin d'y positionner notre analyse et ii) revoir les études qui visent à mettre en évidence et à comprendre les variations dans les élasticité-prix et revenu de la demande d'essence.¹⁴

Sur le plan méthodologique, il est utile de distinguer les études qui se basent sur des données agrégées au niveau des pays (Baltagi and Griffin, 1983, 1997; Hughes et coll., 2008) ou des États ou provinces (Small et Van Dender, 2007; Barla et coll., 2009) et celles qui utilisent des données désagrégées au niveau des ménages (Hausman and Newey, 1995; Yatchew et No, 2001). Le premier type d'analyse utilise généralement des données temporelles ou des données de type panel (plusieurs pays ou états à travers le temps). Le deuxième type d'étude a souvent recours à des coupes transversales (plusieurs ménages observés durant une seule période). Notre analyse s'inscrit dans l'approche agrégée avec des données de type panel. Toutefois, l'unité d'observation territoriale est plus fine puisque nos données concernent des municipalités et des régions métropolitaines. Ceci permet d'examiner s'il existe des différences significatives dans la demande d'essence suivant les caractéristiques des marchés. L'utilisation de données régionales plutôt que nationales pose cependant certains défis comme nous le verrons dans la suite.

Pour mieux comprendre les grands déterminants de la demande d'essence (Q), plusieurs types de factorisation peuvent être utilisés (Baltagi et Griffin, 1983; Mayo et Mathis, 1988; Johansson et Schipper, 1997). La demande d'essence peut se décomposer comme le produit i) de la population (POP), ii) du taux de consommation de carburant moyen du parc automobile exprimé en litres par km (soit TCC/100 avec TCC le taux de consommation moyen en litres par 100 km) et iii) de la distance moyenne parcourue en automobile per capita (D). Soit

$$Q = POPx \left(\frac{TCC}{100} \right) x D \quad (1)$$

¹⁴ Pour des revues de la littérature sur la demande d'essence, voir notamment Basso et Oum (2007), Goodwin et coll. (2004) ou Graham et Glaister (2004).

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

D'autres factorisations sont possibles notamment pour faire ressortir le rôle du nombre d'automobiles per capita. Par exemple :

$$Q = POPx \left(\frac{TCC}{100} \right) x V x D_v \quad (2)$$

avec V le nombre de véhicules per capita et D_v la distance moyenne parcourue par véhicule.

Cette décomposition permet de mettre en évidence les principaux déterminants de la demande d'essence, à savoir la population, l'efficacité énergétique des véhicules, le nombre de véhicules et la distance parcourue.¹⁵ Certaines études estiment un système d'équation où chacun des déterminants est expliqué en fonction de variables explicatives (par exemple Small et Van Dender, 2007; Barla et coll. 2009). Toutefois, la plupart des recherches adoptent une approche de type « forme réduite » où la demande d'essence est directement mise en relation avec des variables explicatives qui sont susceptibles d'affecter l'un ou l'autre des déterminants. Généralement, le modèle estimé prend donc la forme suivante :

$$q = f(P_e, R, X)$$

avec :

q : la quantité demandée d'essence per capita (soit $\frac{Q}{POP}$);

P_e : le prix de l'essence

R : le revenu disponible

X : les autres déterminants de la demande d'essence

Le modèle estimé peut être statique ou dynamique. Dans ce dernier cas, il est possible de distinguer la réponse de la demande à court et à long terme suite par exemple à une augmentation du prix de l'essence. Sur base des études agrégées, le tableau 1 tiré de Basso et Oum (2007) illustre la fenêtre la plus probable des valeurs d'élasticité-prix et revenu de la demande d'essence. Notons cependant que les études les plus récentes effectuées dans le contexte Nord-Américain obtiennent des élasticités-prix plus faibles que celles mentionnées dans le tableau 1. Par exemple, Hughes et coll. (2008) rapporte une élasticité-prix de la demande d'essence à court terme aux États-Unis de

¹⁵ D'autres factorisations peuvent être pertinentes particulièrement lorsque des données plus désagrégées sont utilisées. Ainsi par exemple, la vitesse des déplacements est un facteur qui modifie le taux de consommation réel. Voir par exemple Barla, Miranda-Moreno et Lee-Gosselin (2011).

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

2001 à 2006 comprise entre -0.034 et -0.077. Small et Van Dender (2007) trouve une élasticité-prix de court terme de -0.08 et de -0.4 à long terme pour les États-Unis avec des données de 1997 à 2001. Pour le Canada, Barla et coll. (2009) obtient des élasticités prix de court terme et de long terme à environ -0,1 et -0,3 respectivement.

Tableau 1: Fourchette des valeurs de l'élasticité-prix et revenu

	Élasticité-prix	Élasticité-revenu
Court terme	-0,2 à -0,3	0,3 à 0,5
Long terme	-0,6 à -0,8	0,9 à 1,3

Source : traduction du tableau 1 de Basso et Oum (2007), p. 458.

Un nombre plus limité d'études examinent s'il existe des facteurs qui expliquent des variations dans les valeurs des élasticités. Parmi celles-ci, Baltagi et Griffen (1997) teste formellement si les élasticités sont identiques dans 18 pays de l'OCDE (incluant le Canada) au cours la période 1960-1990. Ils comparent les résultats obtenus en estimant un modèle qui combine toutes les données imposant ainsi l'homogénéité des élasticités entre les pays avec les résultats provenant d'estimations effectuées pays par pays (ce qui permet d'avoir des élasticités différentes). Sur base de tests statistiques standards, les auteurs rejettent l'hypothèse d'homogénéité des élasticités. Toutefois, Baltagi et Griffen montrent qu'un modèle qui impose l'homogénéité fournit des valeurs des paramètres plus plausibles sur le plan économique et surtout performe mieux lorsqu'il s'agit d'effectuer des prévisions. Ces auteurs concluent donc que les gains d'efficacité associés à combiner les données excèdent les biais associés à imposer l'homogénéité des paramètres.

Sur le plan théorique, l'élasticité-prix de la demande d'un bien s'accroît avec la part du revenu qui y est consacrée. Cela implique donc que l'élasticité-prix devrait s'accroître avec le niveau absolu du prix du produit et décroître avec le revenu. Dalh (1982) teste cette prédiction pour la demande d'essence en comparant l'élasticité-prix estimée par groupe de pays en fonction du niveau du prix de l'essence et du revenu. Selon ses résultats, il n'y a pas de différence importante dans la valeur de l'élasticité-prix entre les groupes de pays, et cela malgré une très grande hétérogénéité dans le niveau moyen des prix et du revenu. Plus récemment, Small et Van Dender (2007) montre que la sensibilité de la demande d'essence par rapport au prix a baissé aux États-Unis au cours de la période 1966-2001. Cette baisse s'expliquerait en partie par la croissance du revenu et la baisse du coût réel de l'essence. Les résultats de Hughes et coll. (2008) vont dans le même sens. Par contre, Kayser (2000) montre que l'élasticité-prix des ménages à faible revenu aux

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

États-Unis serait plus faible que celle des ménages à revenu plus élevé. Il explique ce résultat par le fait que les ménages les moins nantis auraient peu de marge d'ajustement dans leur demande d'essence puisque celle-ci couvrirait surtout des besoins essentiels. Plus récemment, West (2004) obtient des résultats opposés à ceux de Kayser. Les ménages à plus faibles revenus auraient une sensibilité au prix de l'essence 50% plus importante. West et Williams (2004) confirme cette analyse : l'élasticité-prix des ménages les moins nantis serait de -0,7 alors que celle des mieux nantis serait de seulement -0.2. Wadud et coll. (2009) trouve une relation en U inversé entre l'élasticité-prix et le revenu : ce paramètre serait donc plus faible pour les ménages les moins et les mieux nantis. Wadud et coll. (2010a) obtient cependant une relation décroissante avec le revenu avec les mêmes données mais une méthodologie différente.

La structure du ménage pourrait aussi avoir un impact sur la sensibilité au prix. Ainsi Archibald et Gillingham (1980) montre que l'élasticité-prix est plus forte pour les ménages possédant deux véhicules. Ce résultat s'explique probablement par les possibilités d'accroître l'usage du véhicule le moins énergivore lorsque le prix de l'essence est important (voir aussi Knittle et Sandler, 2013). Nicol (2003) montre pour sa part que les ménages canadiens et américains avec un enfant auraient une demande d'essence moins sensible au prix. Par contre, Bento et coll. (2009) obtient des résultats opposés.

L'un des objectifs de notre étude est de déterminer si l'élasticité-prix de la demande d'essence varie en fonction de la présence ou non d'un système de transport en commun. Étonnamment, nous n'avons trouvé aucune étude qui examine directement cette question. À priori, on pourrait penser que la présence d'un substitut accroît nécessairement l'élasticité de la demande ou, en d'autres termes, que la demande d'essence est moins élastique dans les marchés où il n'y a pas de service de transport en commun. Toutefois, il est important de tenir compte des deux aspects suivants :

- 1) Nous observons la demande agrégée d'essence dans un marché. Celle-ci correspond à la sommation des demandes des individus qui se déplacent en VL. Ainsi l'élasticité-prix de la demande du marché va être déterminée par l'élasticité-prix des personnes qui consomment effectivement de l'essence;

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

- 2) Le transport en commun est parfois considéré comme un bien inférieur, c'est-à-dire un bien dont la demande diminue avec le niveau du revenu.¹⁶

Étant donné ces deux éléments, il est possible que la demande d'essence dans un marché rural sans transport en commun soit finalement plus sensible au prix que celle dans un milieu urbain où il existe une alternative au transport individuel. Ce paradoxe s'explique comme suit : en milieu rural, même les ménages à faible revenu sont obligés d'avoir un véhicule privé pour se déplacer. Si la sensibilité au prix de la demande individuelle d'essence est plus forte pour les ménages à faible revenu, il est possible que la demande agrégée dans les marchés sans transport en commun soit plus importante que dans les marchés urbains. Dans les marchés urbains, une part importante des moins fortunés ne possèdent pas de véhicules privés (demande d'essence nulle) et sont captifs du transport en commun.

Évidemment, les choses peuvent être plus complexes puisque, comme décrit plus haut, certaines études (Kayser, 2000) obtiennent une relation en U inversé entre l'élasticité-prix et le revenu. Dans ce cas, l'élasticité-prix de la demande individuelle augmenterait initialement avec le revenu pour ensuite diminuer. La présence du transport en commun aurait donc aussi un effet incertain sur l'élasticité-prix de la demande du marché.

3. LES DONNÉES

Les données sur les quantités d'essence vendue proviennent de relevés effectués par la compagnie *The Kent Group* (référé dans la suite de ce document comme Kent).¹⁷ Nous disposons plus spécifiquement des quantités totales vendues par bannière, type d'essence et trimestre pour 43 marchés québécois au cours de la période 2004 à 2009.¹⁸ Le tableau 2 énumère les marchés. Kent fournit aussi pour chaque trimestre le nombre de stations par bannière ainsi qu'un prix moyen par marché et par type d'essence. Nous disposons également des coordonnées de géolocalisation des stations

¹⁶ Notons cependant que les résultats des recherches empiriques qui testent si le transport collectif est effectivement un bien inférieur sont très partagés (voir Holmgren, 2007).

¹⁷ Voir <http://www.kentmarketingservices.com/dnn/PetroleumVolumeData/DataReports.aspx>.

¹⁸ Les ventes de diesel ne sont pas incluses dans les données. Précisions cependant qu'en 2008, moins de 1% des véhicules légers immatriculés au Québec dans la catégorie d'usage de type « promenade » sont des véhicules diesel.

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

d'essence.¹⁹ Malheureusement, pour le prix, il s'agit du prix moyen en vigueur durant une seule journée dans le trimestre. De plus, il ne s'agit pas nécessairement du même jour d'observation pour tous les marchés. Nous avons donc utilisé une autre source pour obtenir une indication plus fiable du prix comme il est expliqué ci-dessous.

Tableau 2: Liste des marchés couverts dans la base de données de Kent

Alma	Joliette	Montréal Rive Sud	Saint-Jérôme
Amos	L'Assomption*	Québec	Salaberry-de-Valleyfield
Baie-Comeau	Lachute	Rimouski	Sept-Îles
Berthierville	Laval	Rivière-du-Loup	Shawinigan
Chandler	Magog*	Roberval	Sherbrooke
Dolbeau-Mistassini	Mascouche	Rouyn-Noranda	Sorel-Tracy
Drummondville	Montmagny	Saguenay	Thetford Mines
Forestville	Montréal Centre	Saint-Félicien	Trois-Rivières
Gaspé	Montréal-Est	Saint-Georges	Val d'Or
Gatineau	Montréal-Ouest	Saint-Hyacinthe	Victoriaville
Granby	Montréal Rive Nord	Saint-Jean-Sur-Richelieu	

* Marchés pour lesquels les données ne sont pas disponibles pour l'ensemble de la période.

Selon Kent, l'unité territoriale serait, généralement et de manière approximative, les limites des municipalités.²⁰ Pour le marché de Québec, l'unité territoriale se rapproche de la région métropolitaine de Québec sans cependant y correspondre exactement puisque plusieurs municipalités de la RMR ne sont pas incluses dans le marché de Québec par Kent (par exemple, Château-Richer ou Sainte-Catherine-de-la-Jacques-Cartier). Pour ce marché, il faut aussi signaler que 6 municipalités ont été ajoutées à partir du deuxième trimestre de 2009 (p.ex. Beaumont et Shannon). La région de Montréal a été découpée par Kent en cinq marchés (voir la carte 1 à l'annexe 1).²¹

¹⁹ Ce fichier de géolocalisation ne semble pas cependant inclure toutes les stations puisque le nombre de stations ne concorde pas toujours avec le nombre de stations rapporté dans le fichier des ventes de carburant.

²⁰ Information transmise par échange de courriels avec la Vice-Présidente.

²¹ Ce découpage ne semble cependant pas basé sur des limites territoriales habituelles.

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

D'autres sources de données ont été utilisées pour effectuer l'analyse économétrique. L'annexe 2 détaille les différentes sources utilisées et la manière dont sont construites les variables utilisées dans ce rapport. Notons simplement ici que pour remédier à l'absence de données fiables sur les prix dans la base de données de Kent, nous avons eu recours aux données hebdomadaires sur les prix de l'essence régulière par région administrative produites par la Régie de l'énergie. Les autres sources de données sont l'Institut de la Statistique du Québec, Statistique Canada et la base de données sur la caractérisation énergétique et des émissions de GES du parc de véhicules légers du Québec produite par le CDAT (voir Barla 2011). L'appariement des différentes sources de données a posé de nombreuses difficultés notamment parce que les unités territoriales ne concordent pas toujours. Il faut aussi noter que plusieurs variables comme par exemple la population, ne sont disponibles que sur une base annuelle.

Trois limitations importantes des données doivent être soulignées:

- 1) La période de temps couverte de 6 années est courte relativement au temps qui est nécessaire pour renouveler le parc de VL. Nos estimations ne permettent pas de cerner entièrement le processus d'ajustement de long terme de la demande à des variations du prix,²²
- 2) Nous disposons des quantités vendues par marché; ces quantités ne reflètent pas nécessairement les quantités consommées par les VL des résidents du marché. En effet, certains résidents peuvent acheter de l'essence dans d'autres marchés (cela peut être vu comme 'des importations' dans le marché) ou encore une partie de l'essence vendue peut l'être à des résidents d'autres régions (ce qui correspond conceptuellement à des 'exportations'). Nous revenons sur ce problème dans la suite de ce rapport. De plus, une partie de l'essence vendue est destinée à d'autres usages que celui des VL. Certains camions moyens et lourds, les motocyclettes et les véhicules hors-route (p.ex. motoneiges, véhicules tout-terrain) consomment de l'essence. Selon l'Inventaire canadien des émissions de GES 1990-2012, ces autres types de véhicules produiraient jusqu'à 12% des émissions de GES liées à la consommation d'essence dans le secteur routier (Environnement Canada, 2014). Il n'existe pas d'information sur la part de l'essence consommée par ces véhicules qui provient du réseau de stations d'essence.

²²Malheureusement l'aspect panel de nos données n'aide pas particulièrement à limiter ce problème puisque les prix de l'essence ne sont pas très différents d'une région à l'autre au Québec.

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

- 3) La fiabilité des données de Kent, particulièrement en ce qui a trait aux limites territoriales des marchés et au taux de couverture de ceux-ci, est questionnable.

Afin de mieux évaluer ce dernier point, nous avons procédé à une série de comparaisons avec d'autres sources disponibles. Les détails de cette analyse sont aussi présentés dans l'annexe 2. Il ressort de cette évaluation que :

- 1) Les unités territoriales utilisées par Kent sont très imprécises et ne semblent pas systématiquement être mises à jour;
- 2) Il est clair que pour certains marchés, les données de Kent ne recensent pas toutes les stations, ce qui risque de biaiser à la baisse les statistiques de vente per capita;
- 3) La tendance dans les ventes d'essence agrégées observée à partir des données de Kent est compatible avec la tendance observée dans les ventes totales d'essence en litre dans l'ensemble de la province, tel que documenté par Statistique Canada. De même, la tendance dans la région de Montréal dégagée à partir des données de Kent est relativement comparable avec celle obtenue à partir des données de l'Agence Métropolitaine de Transport (voir l'annexe 2).

En conclusion, il est important d'être prudent dans l'analyse des résultats, particulièrement lors de la comparaison des bilans régionaux. Ces lacunes soulignent aussi le besoin et l'intérêt de collecter des données régionalisées sur la consommation de carburant et l'usage des véhicules.

4. BILAN EN TERMES DE GES ET DE VENTE DE CARBURANT PAR MARCHÉ

Les tableaux 3 et 4 montrent respectivement le bilan en termes de vente d'essence en litres et d'émissions de GES.²³ Le graphique 1 illustre l'évolution dans le temps des ventes per capita sous forme d'indice avec la valeur égale à 100 au début de la période d'observation. À partir de ces informations, les constatations suivantes apparaissent:

²³Voir l'annexe 2 pour des détails sur l'estimation des GES à partir des quantités vendues d'essence. Il est important de mentionner que les GES sont des émissions équivalentes incluant le CO₂, CH₄ et N₂O.

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

- Pour l'ensemble des marchés, les tendances dans les ventes totales et les émissions de GES sont négatives avec une réduction annuelle moyenne sur la période de -0,23% pour les ventes d'essence et -0,48% pour les GES.²⁴ La réduction plus importante des GES s'explique par la réduction des facteurs d'émissions associées à l'élimination progressive des plus anciens véhicules. Ajoutons que les tendances calculées sur base des ventes et des GES per capita sont plus marquées avec une réduction annuelle moyenne de -1,16% et -1,46% pour l'ensemble des marchés.
- La tendance varie considérablement suivant les marchés. Alors que, certains marchés connaissent une croissance importante (ex. Saint-Hyacinthe, Saint-Jérôme, ou Magog), d'autres éprouvent des baisses marquées (ex. Gatineau, Montréal Centre, Est, Ouest, Rive Sud). Il est cependant difficile d'être certain si ces différences reflètent de véritables changements dans la demande d'essence ou des particularités liées aux données (ex. des déplacements de la demande dans des zones non couvertes par les données de Kent).²⁵
- La consommation per capita varie considérablement entre les marchés. Dans certains cas, cela peut s'expliquer facilement par la demande externe comme par exemple à Berthierville où les essenceries agissent comme des escales le long de l'autoroute. Dans d'autres cas, il est moins évident de comprendre la source de l'écart par rapport à la moyenne. Rappelons que les limites dans les données exigent une grande prudence dans les comparaisons entre les marchés.
- Plusieurs marchés sont caractérisés par des effets saisonniers. Dans les marchés affectés par le tourisme, les ventes sont nettement plus importantes durant l'été (ex. Gaspé, Berthierville, Magog). Par contre, dans les marchés de la région de Montréal, l'été est associé à une baisse des ventes. Pour certains marchés, les effets saisonniers sont très faibles (ex : Joliette).

²⁴Pour obtenir ces tendances, nous effectuons une régression linéaire d'un indice (des ventes ou des émissions) sur une tendance. Nous comparons ensuite la valeur prédite de l'indice au début et à la fin de la période.

²⁵Par exemple, la réduction des ventes dans le marché de Gatineau pourrait être due à un déplacement de la demande vers Ottawa où les prix de l'essence sont généralement moins importants.

INVENTAIRE ET PROSPECTIVES DES ÉMISSIONS DE GES DANS LE SECTEUR DU TRANSPORT DES
PERSONNES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE ET MUNICIPALE

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

Tableau 3: Ventés totales d'essence par marché et par année en millions de litres, taux de variation annuel moyen en % et ventes annuelles moyennes per capita en litres

Marché	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Variation annuelle moyenne (%)*	Per capita moyen (litres)
Alma	30,1	29,8	29,3	29,9	29	29,6	-0,41	984
Amos	14,4	14,9	14,5	14,8	15,6	16,1	2,05	1188
Baie-Comeau	31,5	31,1	30,2	30,3	28,9	29,7	-1,46	1346
Berthierville	19,4	19,4	20,6	21,1	21,6	23,7	3,85	5224
Chandler	5	4,9	5,3	4,5	4,5	5,2	-0,64	621
Dolbeau-Mistassini	13,5	13,3	13,9	14,3	14,7	15,6	3	980
Drummondville	74,3	69,4	70,4	73,6	71,8	75,7	0,69	1062
Forestville	9,7	9,4	9,3	9,5	9,1	9,6	-0,37	2713
Gaspé	8,6	9,5	9,6	9,9	9,5	10,6	3,07	647
Gatineau	255,2	238,6	214,8	233,4	208,4	223,7	-2,8	927
Granby	63,5	61,1	61,2	61,7	60,3	62,1	-0,41	1028
Joliette	42,9	44,2	45,2	45,6	45,7	47,7	1,83	2359
L'Assomption	n/d	18,1	18	19,5	20,6	21,4	4,7	1108
Lachute	21,7	24,7	19,5	22	22,7	24,2	1,18	1888
Laval	348,8	332,7	341,8	353,4	332	335,9	-0,46	906
Magog	n/d	n/d	28,9	28,4	31,2	35,1	6,77	1262
Mascouche	48,3	47,8	45,9	46,6	46,4	46,3	-0,82	1341
Montmagny	18,5	18,5	18,3	18,2	18,4	19,3	0,54	1637
Montréal Centre	870,3	834,6	829,5	830,7	779,2	783,2	-2,09	634
Montréal Est	385,4	379,9	384,5	392,3	370,7	354	-1,37	863
Montréal Ouest	318,1	320,7	319,6	320	302,4	294,4	-1,61	894
Montréal Rive Nord	323,6	335,5	328,9	357	350,7	350,4	1,75	1145
Montréal Rive Sud	729,2	724,1	706,4	725,9	702,1	674,4	-1,3	952
Québec	657,3	653,1	636,2	648	640,1	670,3	0,16	984
Rimouski	33,1	33,2	33,1	33	33,7	35,6	1,16	735
Rivière-du-Loup	28,2	28,1	27,8	28,2	27,4	28,4	-0,07	1496
Roberval	11,1	11	10,8	11	11	11,3	0,31	1048
Rouyn-Noranda	26,9	30,7	31,2	31,8	32,3	33,2	3,5	772
Saguenay	121,5	121,2	122,3	127,3	123,5	126,6	0,86	859
Saint-Félicien	13,3	13,1	12,6	12,8	12,9	13,2	-0,19	1232
Saint-Georges	32,6	33,6	32,4	32,7	30,8	30,4	-1,72	1073
Saint-Hyacinthe	47,9	47,3	51,8	57,8	57,7	67,9	7	1056

INVENTAIRE ET PROSPECTIVES DES ÉMISSIONS DE GES DANS LE SECTEUR DU TRANSPORT DES
PERSONNES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE ET MUNICIPALE

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

Saint-Jean-sur-Richelieu	55,6	57,1	54,8	53,4	55,1	56	-0,28	624
Saint-Jérôme	83,4	97,4	113,8	111,7	115,6	107,4	5,03	1612
Salaberry-de-Valleyfield	39,1	38,8	40,2	39,6	38,5	43,9	1,54	1003
Sept-Îles	29,6	27,4	26,9	27,2	26,3	27,3	-1,48	1067
Shawinigan	28,4	35,1	36,1	36,3	35,6	36,7	3,8	672
Sherbrooke	153,3	152,2	152	153,7	148,5	149,7	-0,52	1012
Sorel-Tracy	42,1	41,2	42,4	44,2	41,1	41,9	0,03	1232
Thetford Mines	19,2	18,4	18,8	19,4	19,7	18,8	0,37	742
Trois-Rivières	132,8	134	132,9	136,8	134	138,5	0,68	1058
Val-d'Or	30,5	31,4	31,1	32,2	32,8	33,2	1,68	1010
Victoriaville	53,5	53,4	51,2	49,2	50,4	52	-1,02	1255
Ensemble des marchés	5271,4	5239,9	5224	5348,9	5162,5	5210,2	-0,23	905

* Les tendances correspondent au coefficient de la régression marché par marché du logarithme des ventes sur une tendance.

Tableau 4: Émissions de GES en Mt par marché et par année, variation annuelle moyenne en % et émissions annuelles moyennes per capita en tonnes

Marché	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Variation annuelle moyenne (%)*	Per capita moyenne (tonnes)
Alma	0,072	0,071	0,07	0,071	0,069	0,07	-0,61	2,3
Amos	0,035	0,036	0,035	0,035	0,037	0,038	1,41	2,8
Baie-Comeau	0,075	0,074	0,072	0,072	0,068	0,07	-1,71	3,2
Berthierville	0,047	0,046	0,049	0,05	0,051	0,056	3,45	12,4
Chandler	0,012	0,012	0,013	0,011	0,011	0,012	-1,22	1,5
Dolbeau-Mistassini	0,033	0,032	0,033	0,034	0,035	0,037	2,49	2,3
Drummondville	0,178	0,165	0,167	0,175	0,17	0,178	0,39	2,5
Forestville	0,023	0,022	0,022	0,023	0,022	0,023	0,13	6,5
Gaspé	0,021	0,023	0,023	0,024	0,022	0,025	2,23	1,5
Gatineau	0,609	0,568	0,509	0,552	0,492	0,526	-3,09	2,2
Granby	0,152	0,146	0,146	0,146	0,142	0,146	-0,81	2,4
Joliette	0,103	0,106	0,108	0,108	0,108	0,112	1,36	5,6
L'Assomption		0,043	0,043	0,046	0,049	0,05	4,32	2,6
Lachute	0,052	0,059	0,046	0,052	0,054	0,057	0,9	4,5
Laval	0,832	0,791	0,81	0,835	0,783	0,789	-0,76	2,1
Magog			0,069	0,067	0,074	0,083	6,54	3
Mascouche	0,115	0,114	0,109	0,11	0,11	0,109	-1,05	3,2
Montmagny	0,045	0,044	0,044	0,043	0,044	0,045	-0,07	3,9

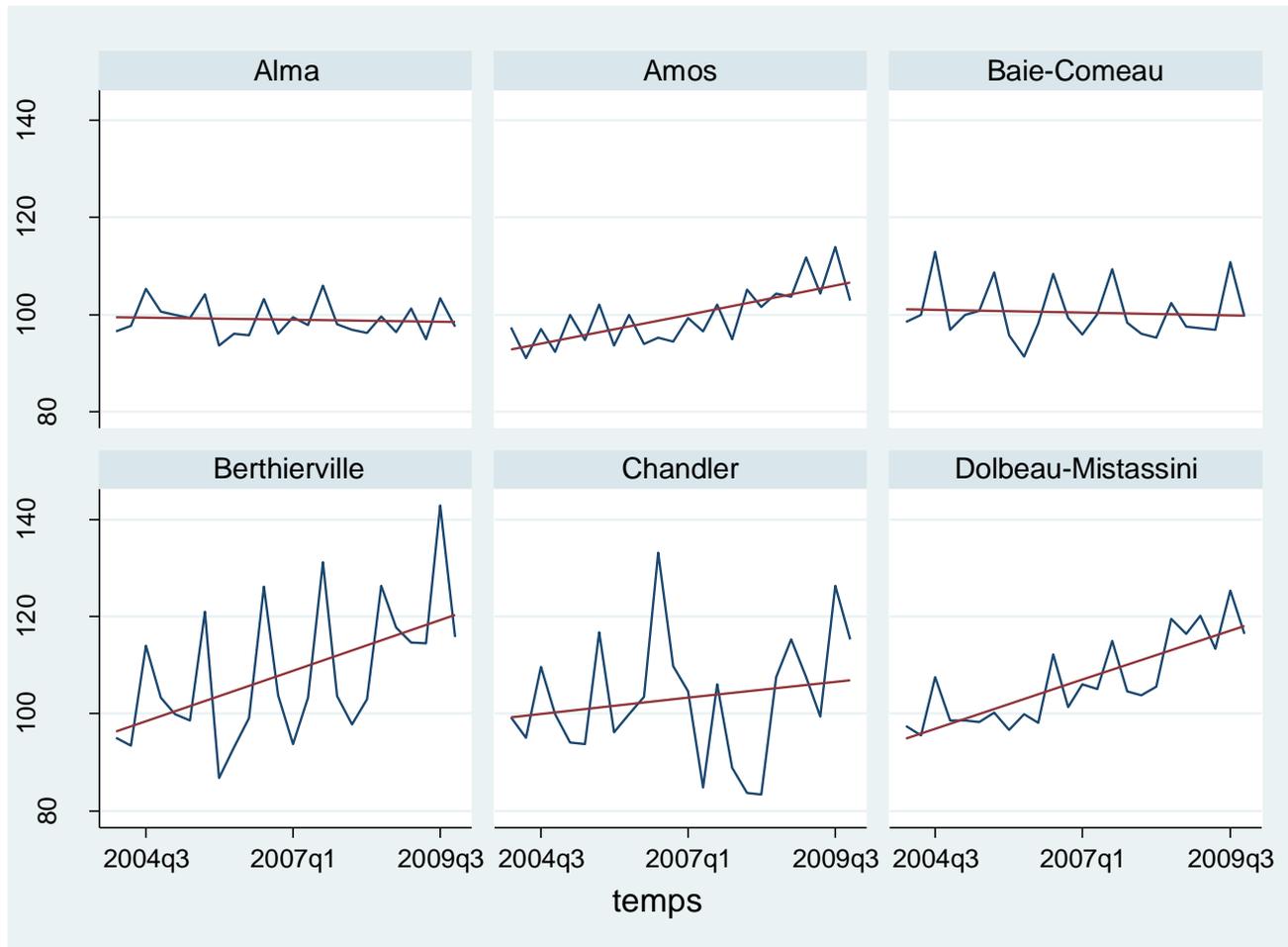
INVENTAIRE ET PROSPECTIVES DES ÉMISSIONS DE GES DANS LE SECTEUR DU TRANSPORT DES
PERSONNES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE ET MUNICIPALE

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

Montréal Centre	2,078	1,986	1,968	1,965	1,839	1,841	-2,39	1,5
Montréal Est	0,921	0,905	0,913	0,929	0,876	0,834	-1,65	2
Montréal Ouest	0,758	0,762	0,757	0,757	0,714	0,693	-1,84	2,1
Montréal Rive Nord	0,772	0,797	0,779	0,843	0,827	0,823	1,46	2,7
Montréal Rive Sud	1,742	1,723	1,676	1,718	1,657	1,587	-1,6	2,3
Québec	1,569	1,553	1,508	1,532	1,51	1,576	-0,13	2,3
Rimouski	0,079	0,079	0,079	0,078	0,08	0,084	0,95	1,7
Rivière-du-Loup	0,068	0,067	0,066	0,067	0,065	0,067	-0,43	3,6
Roberval	0,027	0,026	0,026	0,026	0,026	0,027	0	2,5
Rouyn-Noranda	0,065	0,074	0,074	0,076	0,076	0,078	2,91	1,8
Saguenay	0,291	0,289	0,291	0,302	0,292	0,298	0,53	2
Saint-Félicien	0,032	0,031	0,03	0,03	0,031	0,031	-0,45	2,9
Saint-Georges	0,078	0,08	0,077	0,077	0,073	0,072	-1,93	2,5
Saint-Hyacinthe	0,115	0,113	0,123	0,137	0,136	0,16	6,61	2,5
Saint-Jean-sur-Richelieu	0,133	0,136	0,13	0,127	0,13	0,132	-0,56	1,5
Saint-Jérôme	0,2	0,232	0,27	0,264	0,273	0,253	4,69	3,8
Salaberry-de-Valleyfield	0,094	0,093	0,096	0,094	0,091	0,103	1,06	2,4
Sept-Îles	0,071	0,066	0,064	0,065	0,062	0,064	-1,97	2,5
Shawinigan	0,068	0,084	0,086	0,086	0,084	0,086	3,35	1,6
Sherbrooke	0,366	0,362	0,361	0,364	0,35	0,352	-0,82	2,4
Sorel-Tracy	0,101	0,098	0,101	0,105	0,097	0,099	-0,26	2,9
Thetford Mines	0,046	0,044	0,045	0,046	0,046	0,044	-0,19	1,8
Trois-Rivières	0,318	0,32	0,316	0,324	0,316	0,326	0,32	2,5
Val-d'Or	0,073	0,075	0,074	0,077	0,078	0,078	1,4	2,4
Victoriaville	0,128	0,127	0,122	0,117	0,119	0,122	-1,36	3
Ensemble des marchés	12,6	12,5	12,4	12,7	12,2	12,3	-0,48	2,1

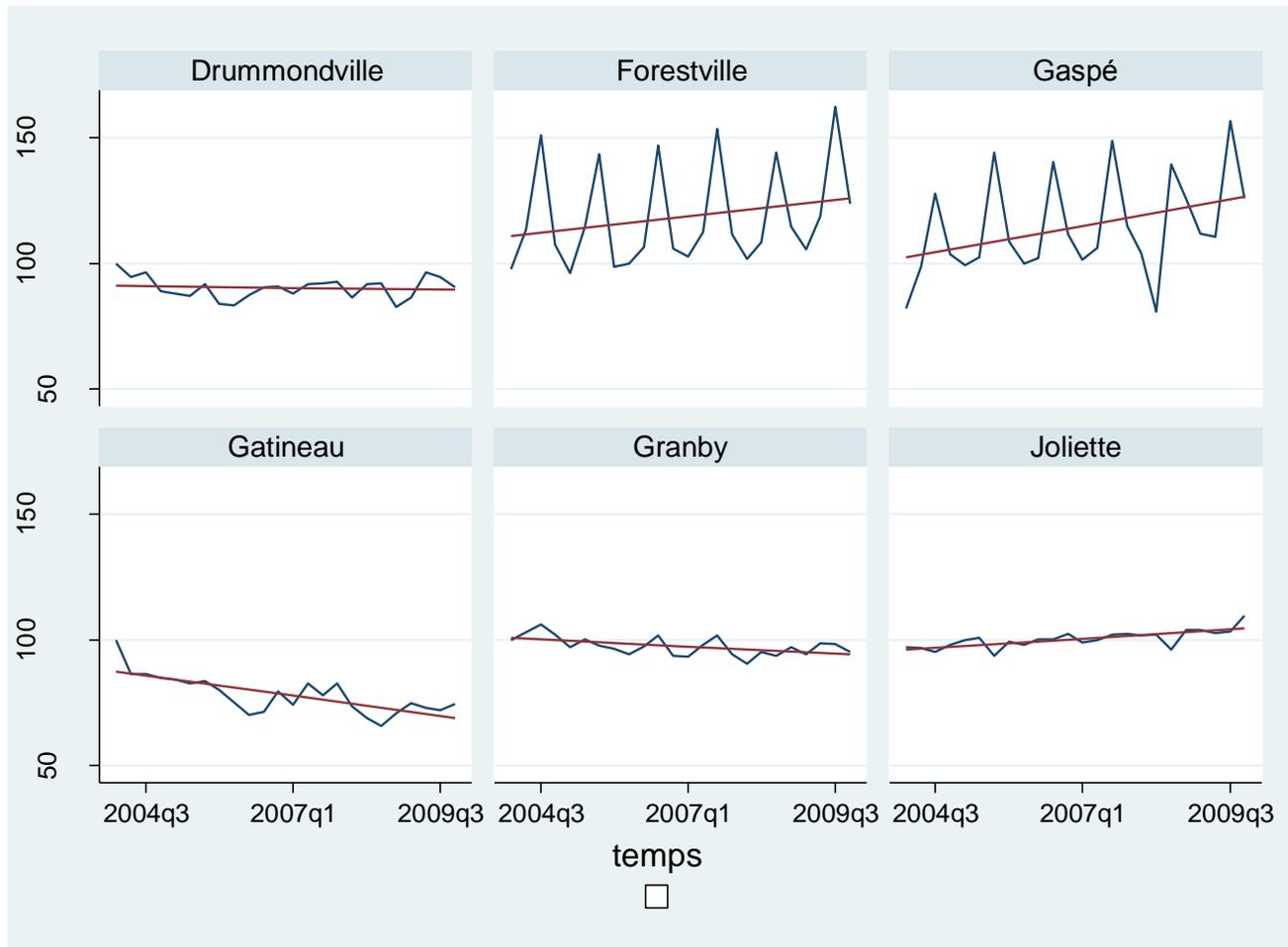
* Les tendances correspondent au coefficient de la régression marché par marché du logarithme des GES sur une tendance.

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE



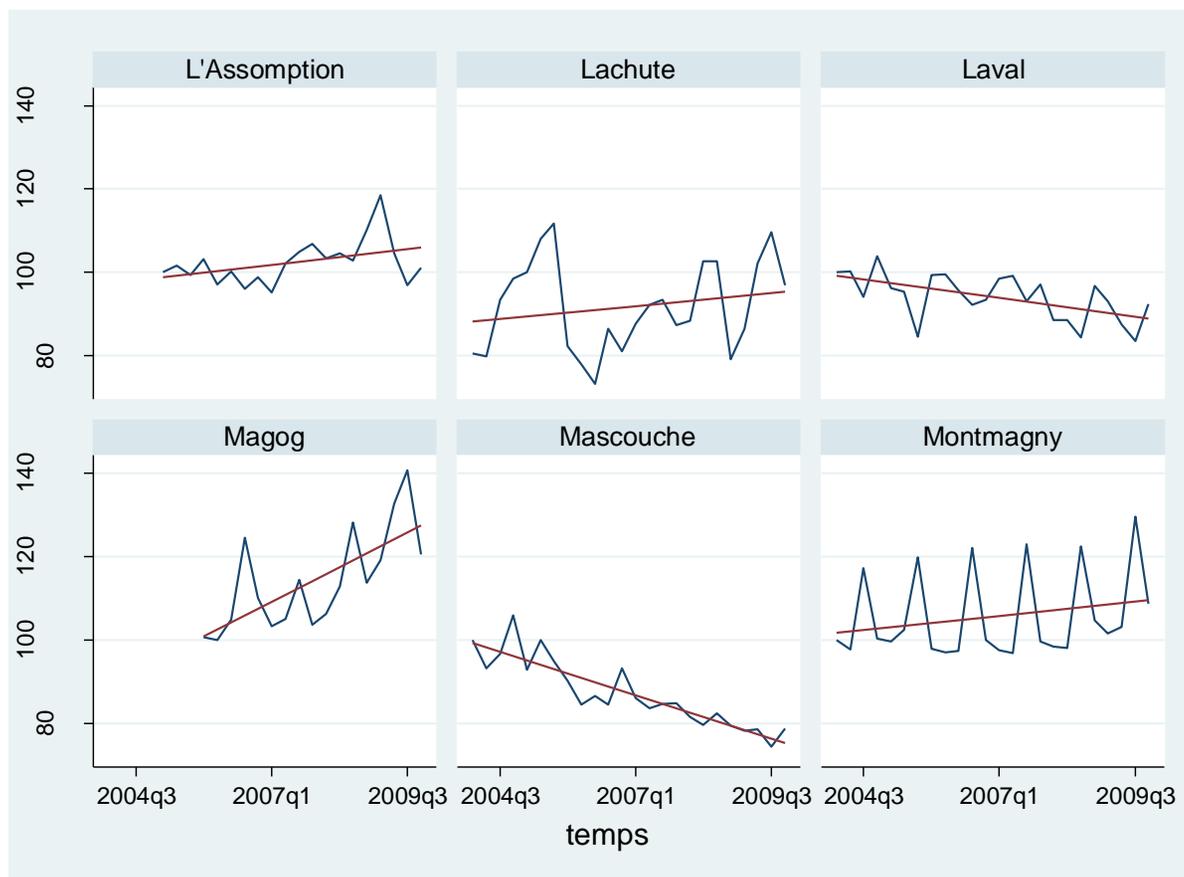
Graphique 1: Indice des ventes d'essence per capita de 2004 à 2009 (indice=100 au trimestre 1 de 2004) et tendance correspondante

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE



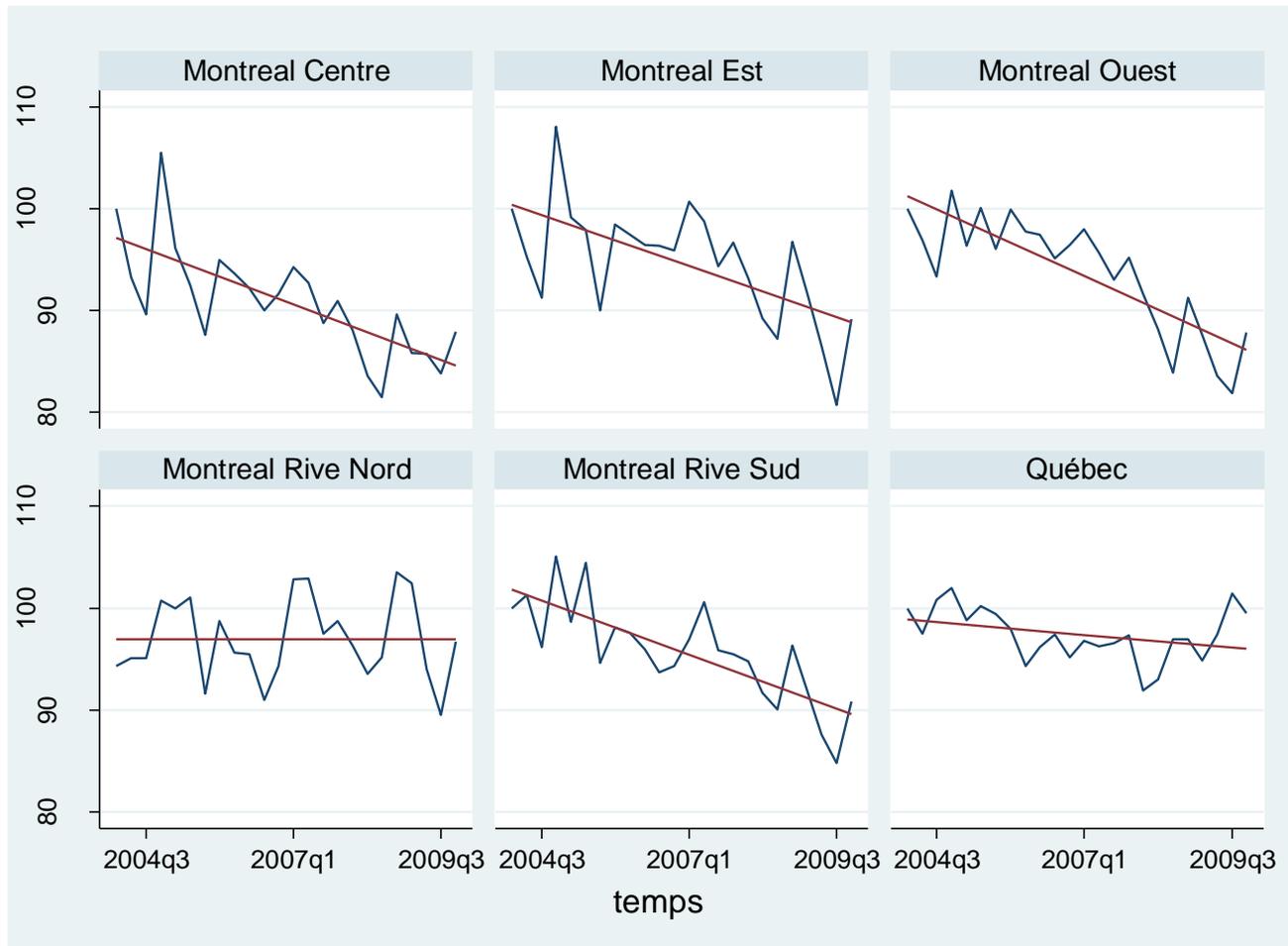
Graphique 1 (suite). Indice des ventes d'essence per capita de 2004 à 2009 (indice=100 au trimestre 1 de 2004) et tendance correspondante

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE



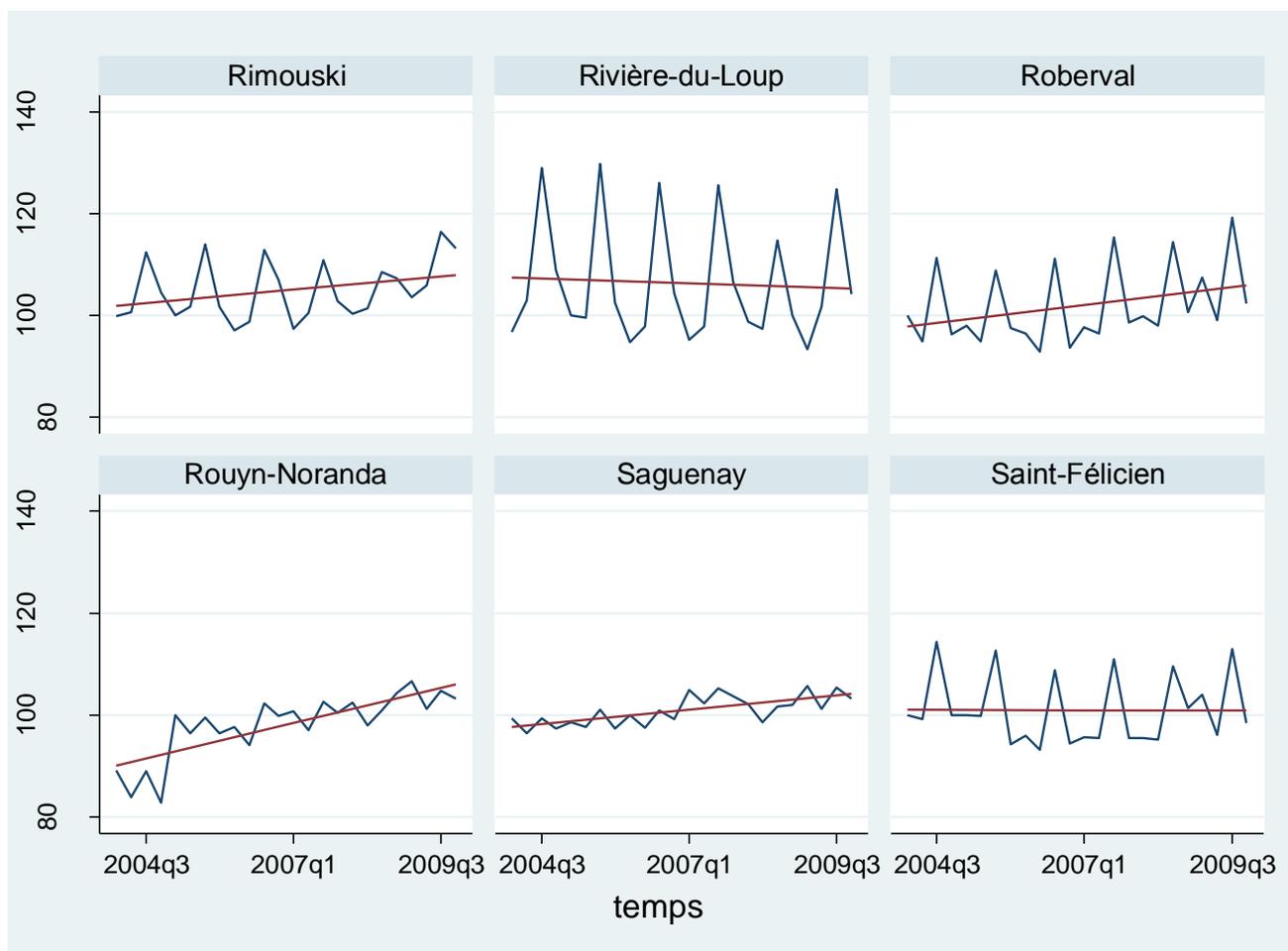
Graphique 1 (suite). Indice des ventes d'essence per capita de 2004 à 2009 (indice=100 au trimestre 1 de 2004) et tendance correspondante

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE



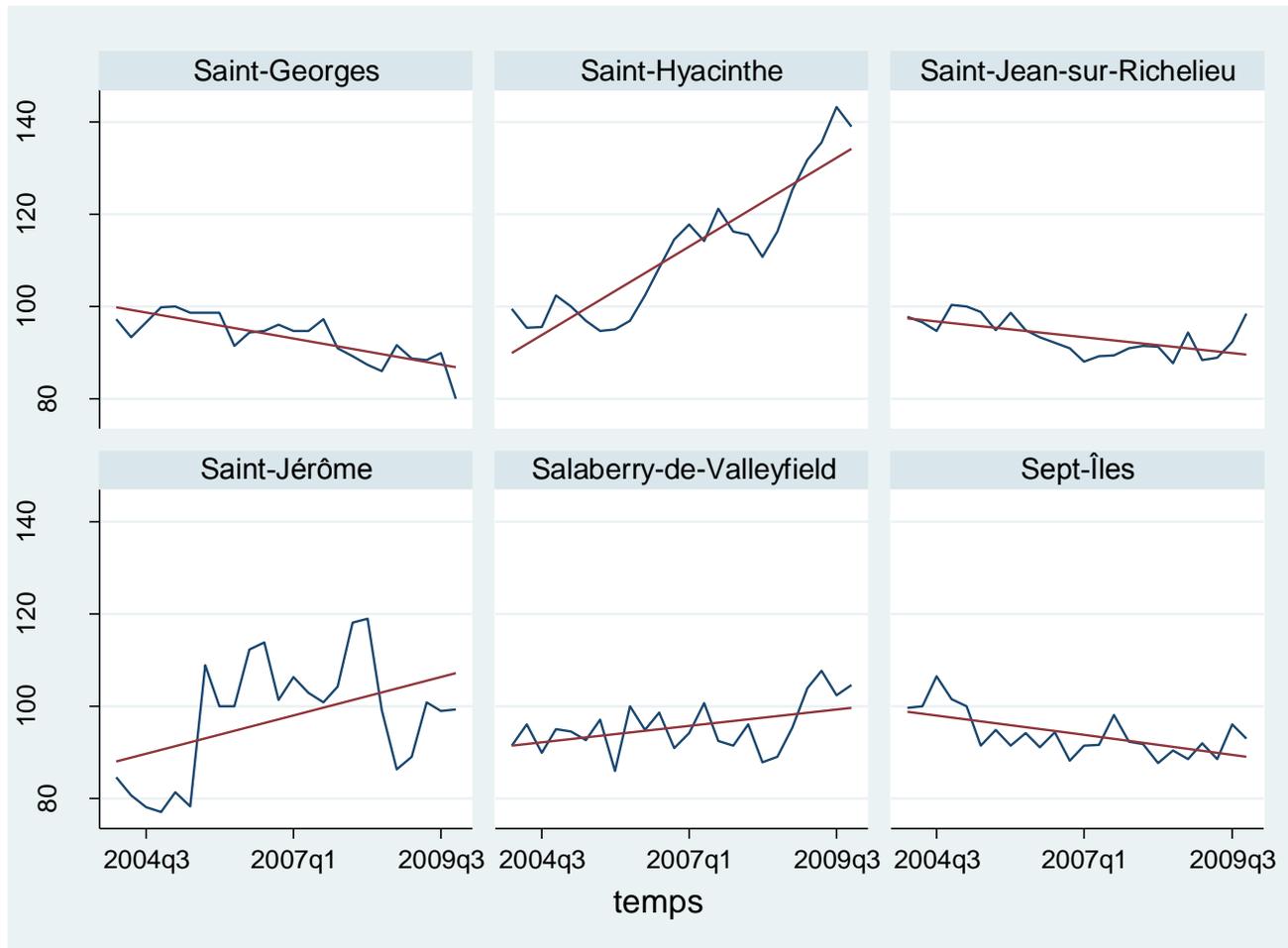
Graphique 1 (suite). Indice des ventes d'essence per capita de 2004 à 2009 (indice=100 au trimestre 1 de 2004) et tendance correspondante

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE



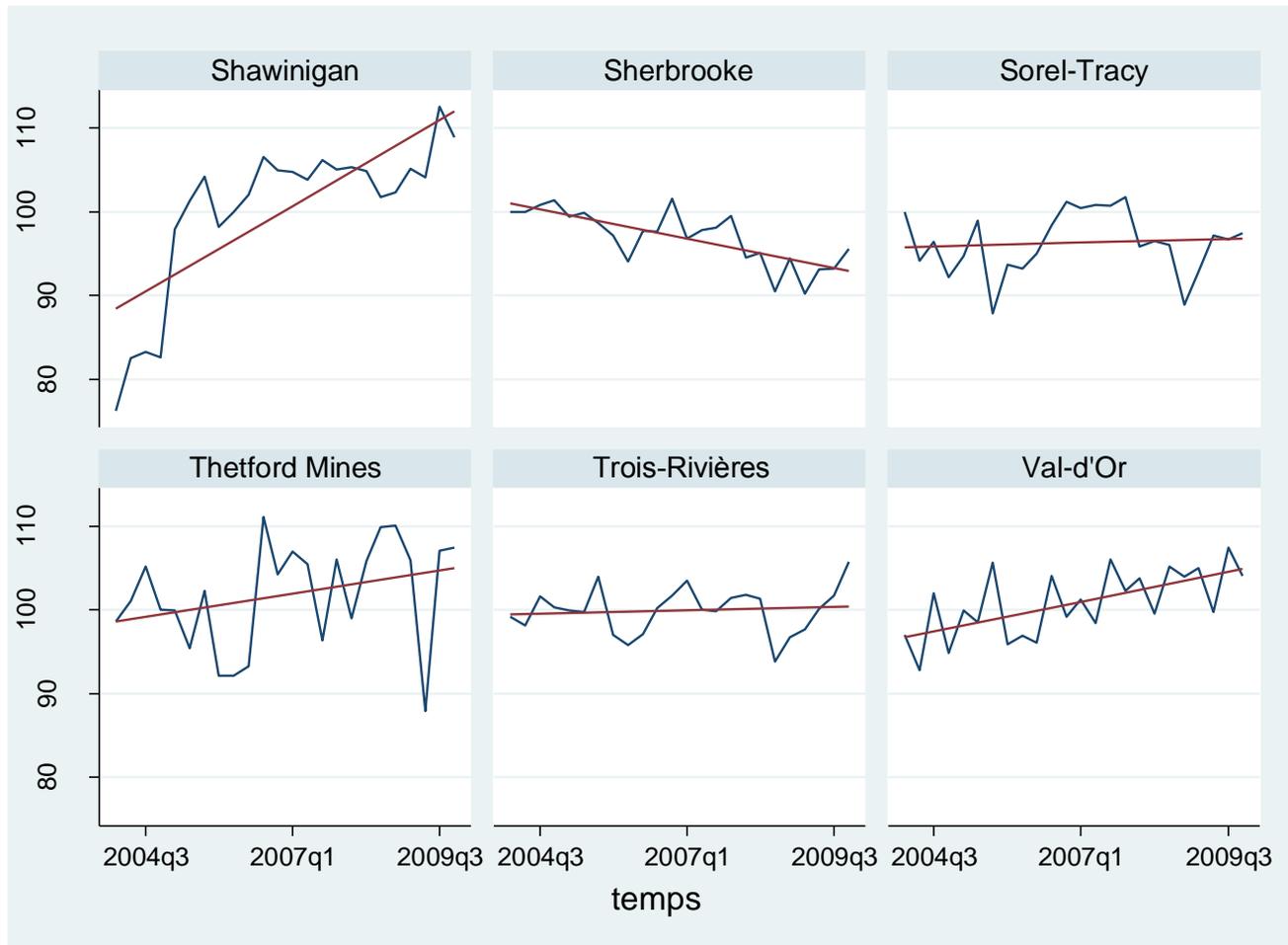
Graphique 1 (suite). Indice des ventes d'essence per capita de 2004 à 2009 (indice=100 au trimestre 1 de 2004) et tendance correspondante

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE



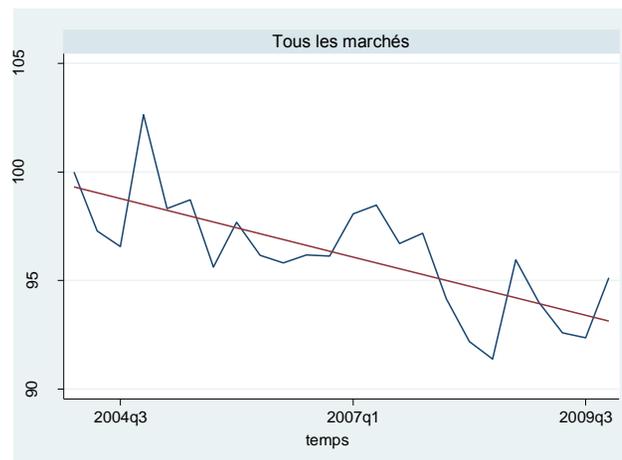
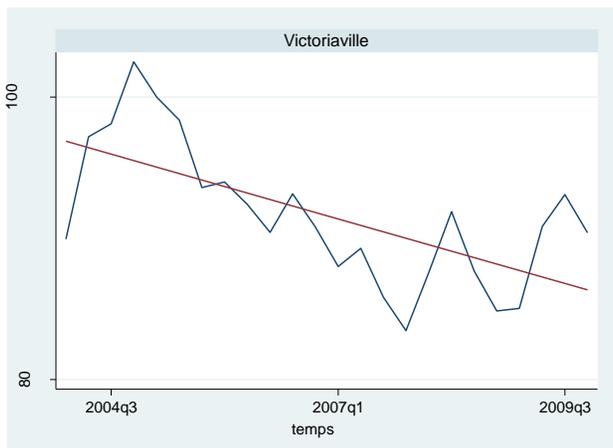
Graphique 1 (suite). Indice des ventes d'essence per capita de 2004 à 2009 (indice=100 au trimestre 1 de 2004) et tendance correspondante

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE



Graphique 1 (suite). Indice des ventes d'essence per capita de 2004 à 2009 (indice=100 au trimestre 1 de 2004) et tendance correspondante

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE



Graphique 1 (suite). Indice des ventes d'essence per capita de 2004 à 2009 (indice=100 au trimestre 1 de 2004) et tendance correspondante

5. ANALYSE ÉCONOMÉTRIQUE

Nous adoptons deux approches distinctes pour effectuer l'analyse économétrique. La première consiste à estimer la demande d'essence en fonction de variables explicatives (approche de type forme réduite). Nous allons donc pouvoir directement tester si les élasticités varient suivant les marchés. La deuxième approche, présentée à la section 6, se base sur la factorisation (1) de la demande présentée à la section 2.²⁶ Cette approche est utile afin d'établir les profils d'évolution à l'horizon 2021 suivant différents scénarios.

La première spécification de la demande d'essence estimée a la forme suivante :²⁷

$$LVenteCap_{i,t} = \alpha_i + \beta_1 LP_{e_{i,t}} + \beta_2 LRev_{i,t} + \beta_3 Trim1 + \beta_4 Trim2 \\ + \beta_5 Trim3 + \beta_6 Tendance + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

avec :

i : indice du marché;

t : indice du trimestre-année;

$VenteCap$: les ventes d'essence per capita en litres;

P_e : le prix de l'essence en cents

Rev : le revenu disponible moyen

$Trim1$, $Trim2$ et $Trim3$: variable binaire égale à 1 pour le trimestre correspondant. Le trimestre 4 sert de référence, les résultats s'interprètent donc relativement à celui-ci.²⁸

$Tendance$: Prends en compte les variations dans le temps qui ne s'expliquent pas par les autres variables incluses dans le modèle;

L : devant le nom d'une variable indique que celle-ci est exprimée en logarithme.

²⁶ $Q = POP \times (TCC/100) \times D$

²⁷ Voir l'annexe 2 pour des détails sur la construction des variables.

²⁸ Pour rappel, le trimestre 1 correspond aux mois de janvier, février, mars, le trimestre 2, avril, mai, juin, le trimestre 3, juillet, août, septembre et le trimestre 4, octobre, novembre, décembre.

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

Ce modèle à effets fixes impose que l'effet de chaque variable explicative est le même dans tous les marchés. L'hétérogénéité dans le niveau des ventes per capita est capturée par l'intercepte α_i qui varie par marché (approche par effets fixes). Les principales variables sont exprimées en log de sorte que les coefficients peuvent s'interpréter directement comme des élasticité. Les résultats de ce modèle sont présentés dans le tableau 5. Les élasticité-prix et revenu estimées, -0.097 et 0.29 respectivement, sont faibles comparativement au consensus dans la littérature. De plus l'élasticité-revenu n'est pas statistiquement significative. Relativement au quatrième trimestre, les ventes d'essence sont plus faibles au premier trimestre (-1,6%) et plus importantes au troisième trimestre (+5,3%). Si le modèle permet d'expliquer 98% de la variabilité totale, seulement 11% de la variabilité intra-marché s'explique par les variables explicatives (excluant les effets fixes α_i).

Tableau 5: Résultats du modèle à effets fixes

	Lvente per capita
LP _e	-0,097 (0,028)**
LRev	0,293 (0,194)
Trim1	-0,016 (0,006)**
Trim2	-0,006 (0,006)
Trim3	0,053 (0,015)**
Tendance	-0,000 (0,002)
Constante	3,137 (1,959)
R^2 (intra) ^a	0,11
R^2 (total) ^b	0,98
N	1,021

* Statistiquement significatif au seuil de risque de 10%, ** au seuil de 5% et *** au seuil de 1%.²⁹

^a: R^2 (intra) mesure la corrélation au carré entre la valeur prédite par le modèle et la valeur réelle une fois les effets fixes enlevés. Mesure le pouvoir explicatif du modèle en excluant les effets fixes α_i .

^b: R^2 (total) mesure la corrélation au carré entre la valeur prédite par le modèle et la valeur réelle en tenant compte de l'apport des effets fixes.

²⁹Le seuil de risque correspond à la probabilité de l'erreur de type I c'est-à-dire rejeter l'hypothèse que le coefficient est nul alors que celle-ci est vraie.

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

La faible performance explicative de ce modèle peut être due à l'imposition de l'homogénéité des effets. En effet, l'analyse du bilan à la section 5 révèle des effets saisonniers et des tendances très différentes entre les marchés. De plus, les effets du prix de l'essence et du revenu peuvent aussi varier suivant les caractéristiques du marché. Nous estimons donc la spécification (3) mais en autorisant cette fois tous les coefficients à varier marché par marché. Cela revient à estimer le modèle séparément pour chacun des marchés. Le tableau 6 présente les résultats de ces régressions. De plus, le graphique 2 illustre la distribution des valeurs des élasticités-prix et revenu.

Tableau 6: Résultats du modèle non contraint (estimation marché par marché)

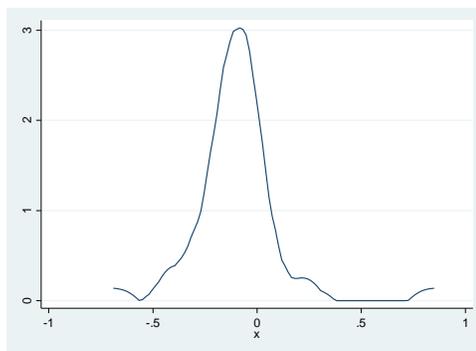
Marché	LP _e	LRev	Trim. 1	Trim. 2	Trim. 3	Tend.	R ²
Alma	-0,06	0,73 *	0	0	0,07 *	-0,01 *	0,77
Amos	-0,11 *	0,2	0,07 *	0,02	0,07 *	0,01 *	0,86
Baie-Comeau	-0,14 *	0,16	-0,02	0,02	0,12 *	0	0,88
Berthierville	-0,35 *	-0,01	-0,03	0,03	0,24 *	0,01 *	0,91
Chandler	-0,69 *	-1,47 *	-0,03	-0,02	0,2 *	0,01 *	0,78
Dolbeau-Mistassini	-0,23 *	1,2 *	0	0,01	0,1 *	0 *	0,95
Drummondville	-0,16	1,07	-0,02	0,04	0,07 *	-0,01	0,32
Forestville	-0,2 *	0,52	-0,08 *	0,05 *	0,34 *	0	0,97
Gaspé	-0,39 *	-0,89	-0,11 *	-0,07	0,27 *	0,01 *	0,89
Gatineau	-0,26 *	0,27	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	0,67
Granby	-0,21 *	0,76	-0,04 *	0,03 *	0,05 *	-0,01 *	0,86
Joliette	-0,08 *	-0,37	-0,01	0	-0,03 *	0,01 *	0,77
L'Assomption	-0,07	0,31	-0,01	0	-0,03	0	0,27
Lachute	0,25	-3,95 *	0,08	0,08	0,13 *	0,03 *	0,53
Laval	-0,2 *	1,79 *	-0,05 *	-0,03	-0,08 *	-0,01 *	0,76
Magog	-0,23 *	-0,02	-0,01	0,06 *	0,16 *	0,01 *	0,88
Mascouche	0	-0,87	-0,04	-0,03	-0,03	-0,01	0,88
Montmagny	-0,13 *	-0,42	-0,01	0	.2 *	0,01 *	0,97
Montréal Centre	-0,12 *	0,92	-0,03 *	-0,04 *	-0,07 *	-0,01 *	0,83
Montréal Est	-0,06	2,29 *	-0,04 *	-0,06 *	-0,09 *	-0,01 *	0,78
Montréal Ouest	0,04	0,77	-0,03	-0,04 *	-0,07 *	-0,01 *	0,83
Montréal Rive Nord	-0,14 *	2,03 *	-0,02	-0,02	-0,05 *	-0,01 *	0,51
Montréal Rive Sud	-0,06	1,68 *	-0,03 *	-0,02	-0,05 *	-0,01 *	0,82
Québec	-0,12 *	0,78	-0,04 *	-0,01	0,01	-0,01	0,65
Rimouski	-0,15 *	0,12	-0,06 *	-0,03 *	0,08 *	0	0,9
Rivière-du-Loup	-0,06	0,26	-0,09 *	-0,05 *	0,18 *	0	0,95
Roberval	-0,07 *	0,8 *	0,02	-0,02	0,15 *	0	0,97

INVENTAIRE ET PROSPECTIVES DES ÉMISSIONS DE GES DANS LE SECTEUR DU TRANSPORT DES
PERSONNES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE ET MUNICIPALE

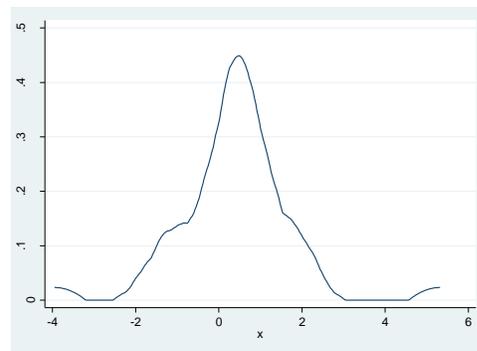
PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

Rouyn-Noranda	0,06	-0,77 *	0,06 *	0	0,03	0,01 *	0,8
Saguenay	-0,02	0,48 *	0,01	-0,01	0,02 *	0	0,79
Saint-Félicien	-0,15 *	0,62 *	0	0	0,15 *	0	0,93
Saint-Georges	-0,1	0,52	-0,02	-0,01	0,01	-0,01 *	0,68
Saint-Hyacinthe	-0,43 *	1,42	-0,01	0,02	0,04	0,01 *	0,94
Saint-Jean-sur-Richelieu	-0,01	-1,79 *	-0,01	-0,01	-0,03 *	0,01 *	0,75
Saint-Jérôme	0,85 *	-1,11	0,07	-0,02	-0,03	0,01	0,64
Salaberry-de-Valleyfield	-0,27 *	-1,37	0,06 *	0,08 *	0,05 *	0,01 *	0,55
Sept-Îles	-0,15 *	0,83 *	0	-0,01	0,05 *	-0,01 *	0,75
Shawinigan	0,18	5,32	-0,08	-0,06	-0,02	-0,02	0,66
Sherbrooke	-0,02	0,35	-0,04 *	-0,02	-0,02	0 *	0,74
Sorel-Tracy	0,03	1,92 *	-0,03	-0,01	-0,01	-0,01 *	0,2
Thetford Mines	0,03	1,29	-0,04	-0,06	0,01	0	0,32
Trois-Rivières	-0,05	0,57	-0,02	-0,01	0	0	0,08
Val-d'Or	-0,01	0,01	0,02	-0,02	0,05 *	0	0,86
Victoriaville	-0,08	-0,15	-0,02	0,02	0,02	0 *	0,51

* Coefficient statistiquement significatif au seuil de risque de 10% ou moins.



Élasticités-prix



Élasticités-revenu

Graphique 2: Distributions des élasticités-prix et revenu

Sauf quelques exceptions, les élasticités-prix sont négatives et pour 23 marchés, celles-ci sont statistiquement différentes de zéro. Il n'y a qu'une seule valeur positive et statistiquement significative pour le marché de Saint-

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

Jérôme.³⁰ La distribution des valeurs est assez peu dispersée avec des valeurs extrêmes à -0,69 et 0.85. La valeur moyenne est très proche de celle obtenue dans la spécification (3) à -0.096. Pour l'élasticité-revenu, la distribution est plus dispersée variant de -3.95 à +5.32 avec une moyenne à 0.39. Le coefficient est significatif pour seulement 15 marchés, ce qui n'est pas surprenant étant donné la faible variabilité de cette variable et la difficulté de séparer son effet de celui de la tendance.

Pour les effets saisonniers, les trimestres 1 et 2 ont des signes variables et significatifs pour seulement certains marchés. L'effet du trimestre 3 (l'été) est plus marqué avec 29 marchés où celui-ci est significatif. L'effet est positif dans 20 marchés (en moyenne +13%). Il est beaucoup plus prononcé pour les marchés affectés par des activités touristiques ou saisonnières (ex. +34% Forestville, +24% à Berthierville, +27% à Gaspé). Pour 8 marchés, surtout dans la région de Montréal, l'été provoque une baisse des ventes pouvant atteindre 9%.

La tendance est positive pour 12 marchés, négative pour 11 et statistiquement non significative pour 14 marchés. C'est principalement dans les marchés urbains que la tendance est à la baisse. Finalement, soulignons qu'avec cette approche d'estimation par marché, les déterminants permettent d'expliquer une large fraction de la variabilité (R^2 élevé).

Il est possible de tester les hypothèses selon lesquelles tous les coefficients, sauf l'intercepte, sont similaires dans tous les marchés. Sans surprise, ces hypothèses sont toutes rejetées au seuil de 1%. L'estimation par marché aboutit donc à une somme des carrés des résidus moindre que le modèle contraint et cela même en tenant compte de la perte de degrés de liberté associée à l'estimation d'un beaucoup plus grand nombre de coefficients dans le modèle non contraint.

Les résultats de l'estimation par marché sont cependant beaucoup plus sujets à de l'instabilité étant donné la taille très réduite des échantillons (24 observations). De même, les résultats dans certains marchés risquent d'être biaisés par des phénomènes très spécifiques qui ne sont pas contrôlés par le modèle (ex. fermeture d'une station à l'extérieur de la municipalité). En combinant plusieurs marchés, ce problème devrait diminuer en vertu de la loi des grands nombres.

³⁰Ce marché connaît une forte demande externe liée au tourisme et à la villégiature. De plus, Costco a établi une essencerie et y pratique des prix plus bas, ce qui attire une clientèle externe importante.

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

Nous visons donc dans la suite à trouver un compromis entre une modélisation trop restrictive qui mesure mal l'hétérogénéité et une modélisation trop pointue pour être estimée adéquatement avec les données dont on dispose. L'idée est de regrouper les marchés en quelques classes et d'estimer un modèle par classe. Nous avons tenté d'utiliser des techniques statistiques afin d'établir les classes. Plus spécifiquement, nous avons utilisé des techniques de régression avec classes latentes (« latent class regression »). Malheureusement, les résultats se sont révélés extrêmement instables suite à des problèmes de convergences. Nous procédons dès lors, en regroupant les marchés, à *priori*, sur base de caractéristiques observables. Cette recherche nous a menés à distinguer trois groupes de marchés :

- 1) **Les marchés ruraux (MR)** : regroupent les municipalités classées par Statistique Canada comme des entités rurales c'est-à-dire des municipalités qui ne font ni partie d'une agglomération de recensement (AR), ni d'une région métropolitaine (RM). Nous avons ajouté à ces marchés, deux AR dont la population est relativement faible (moins de 25 000) et qui sont géographiquement isolées à savoir Dolbeau-Mistassini et Baie-Comeau;
- 2) **Les marchés intermédiaires (MI)** : inclut les AR et des municipalités qui font partie d'une RM mais qui sont à la périphérie de celle-ci (par exemple L'Assomption, Magog et Mascouche);
- 3) **Les marchés urbains (MU)** regroupent les marchés localisés dans les grands centres urbains de la province.

Le tableau 7 présente la liste détaillée des marchés par groupe. Les marchés ruraux représentent 1,6% de la population totale couverte mais 2,6% des ventes d'essence. Les marchés intermédiaires comptent pour 14,9% de la population et 18% des ventes alors que pour les marchés urbains ces pourcentages sont respectivement de 83,4% et 78,7%. Le tableau 8 illustre clairement les différences entre ces trois groupes. Les ventes et les émissions par capita sont nettement plus importantes dans les marchés ruraux et intermédiaires relativement aux marchés urbains (+52% et +23% respectivement). De plus, alors que les ventes baissent en moyenne de 1,7% par an dans les marchés urbains, les marchés ruraux et intermédiaires connaissent des hausses de 1,5% et 1%.

INVENTAIRE ET PROSPECTIVES DES ÉMISSIONS DE GES DANS LE SECTEUR DU TRANSPORT DES
PERSONNES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE ET MUNICIPALE

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

Tableau 7: Composition des groupes de marchés et population

Marchés ruraux (MR)	Pop (2009)	Marchés intermédiaires (MI)	Pop (2009)	Marchés urbains (MU)	Pop (2009)
Baie-Comeau	21955	Alma	29990	Gatineau	256110
Berthierville	4035	Amos	12475	Laval	391145
Chandler	7630	Drummondville	69960	Montréal Centre	1307364
Dolbeau-Mistassini	14290	Granby	61030	Montréal Est	446160
Forestville	3295	Joliette	19330	Montréal Ouest	361959
Gaspé	14890	L'Assomption	18750	Montréal Rive Nord	310182
Montmagny	11220	Lachute	11915	Montréal Rive Sud	763906
Roberval	10270	Magog	24925	Québec	675541
Saint-Félicien	10495	Mascouche	38865	Saguenay	143090
		Rimouski	46330	Sherbrooke	154140
		Rivière-du-Loup	19065	Trois-Rivières	129210
		Rouyn-Noranda	40590		
		Saint-Georges	30515		
		Saint-Hyacinthe	52390		
		Saint-Jean-sur-Richelieu	91145		
		Saint-Jérôme	66975		
		Salaberry-de-Valleyfield	39915		
		Sept-Îles	26060		
		Shawinigan	50850		
		Sorel-Tracy	34100		
		Thetford Mines	25320		
		Val-d'Or	31805		
		Victoriaville	42245		
Total	98080 (1,6%)		884545 (14,9%)		4938807 (83,4%)

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

Tableau 8 : Statistiques descriptives par groupe de marchés

	Marchés ruraux	Marchés intermédiaires	Marchés urbains
Ventes moyenne per capita (litres/an)	1324	1064	867
GES per capita (tonnes/an)	3.15	2.53	2.05
Tendance moyenne dans les ventes per capita (%)	+1.5	+1.0	-1.7

Pour le groupe des marchés ruraux et celui des marchés intermédiaires, nous estimons le modèle suivant :

$$LVenteCap_{i,t} = \alpha_i + \beta_1 LP_{e,i,t} + \beta_2 LRev_{i,t} + \beta_3 Trim1 + \beta_4 Trim2 + (\beta_5 + u_i) Trim3 + \varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

Deux aspects importants doivent être soulignés:

- 1) Ce modèle n'inclut pas de tendance. Pour ces deux groupes de marchés, il s'avère très difficile de séparer l'effet de la tendance et du revenu – ces deux variables sont corrélées positivement. Si la tendance est incluse dans le modèle, celle-ci est statistiquement significative et positive, par contre l'effet du revenu devient statistiquement non significatif et très faible. D'un point de vue économétrique, la spécification avec tendance est préférable. Malgré cela, nous privilégions la spécification sans tendance parce qu'elle fournit des résultats économiquement sensés. En effet, les valeurs des élasticités-revenu sont plus conformes aux attentes et aux valeurs obtenues par d'autres études;
- 2) Le coefficient de la variable *Trim3* (i.e. la saison d'été) a une composante aléatoire u_i . Ceci permet de tenir compte d'une hétérogénéité dans l'impact de cette variable.

Pour le groupe formé des marchés urbains, nous estimons le modèle suivant :

$$LVenteCap_{i,t} = \alpha_i + \beta_1 LP_{e,g,t} + \beta_2 LRev_{g,t} + \beta_3 Trim1 + \beta_4 Trim2 + (\beta_5 + u_i) Trim3 + (\beta_6 + v_i) Tendance + \varepsilon_{i,t} \quad (5)$$

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

Pour ces marchés, il s'avère possible et nécessaire de distinguer l'effet de la tendance et du revenu. Notons cependant, que le coefficient sur la tendance inclut une composante aléatoire (v_i) afin de tenir compte de l'hétérogénéité entre les marchés. Les résultats apparaissent dans le tableau 9.

Tableau 9: Résultats par groupe de marchés

	Marchés ruraux	Marchés intermédiaires	Marchés urbains
LP _e	-0,185 (0,037)***	-0,051 (0,030)*	-0,076 (0,020)***
LRev	0,719 (0,097)***	0,266 (0,070)***	1,067 (0,211)***
Trim1	-0,043 (0,011)***	-0,009 (0,008)	-0,030 (0,006)***
Trim2	-0,018 (0,011)	0,001 (0,009)	-0,027 (0,006)***
Trim3	0,185 (0,028)***	0,040 (0,013)***	-0,039 (0,010)***
Tendance			-0,008 (0,001)***
Constante	-0,571 (0,937)	3,344 (0,662)***	-4,577 (2,059)**
σ (Trim3)	0,076 (0,02)	0,043 (0,010)	0,028 (0,007)
σ (Tendance)	--	--	0,003 (0,0007)
N	216	541	264

* Statistiquement significatif au seuil de risque de 10%, ** au seuil de 5% et *** au seuil de 1% σ (.) écart-type du paramètre aléatoire

L'analyse des résultats révèle les aspects suivants:

- L'élasticité-prix est plus élevée dans les petits marchés ruraux à -0.185. L'effet du prix de l'essence est moins important mais malgré tout, statistiquement significatif dans les marchés urbains (-0.076) et les marchés intermédiaires (-0.051).³¹
- L'effet du revenu est nettement plus faible dans les marchés intermédiaires que dans les marchés ruraux ou urbains. Il est possible que dans les marchés intermédiaires, la demande d'essence réponde à

³¹La différence dans l'élasticité-prix dans les marchés ruraux est statistiquement significative. Il n'y a pas par contre de différence statistiquement significative entre l'élasticité-prix dans les marchés intermédiaires et urbains. Il est aussi important de souligner que ces différences entre les trois groupes de marchés sont assez sensibles à des changements de spécifications. Ils doivent donc être pris avec prudence. Par contre, le résultat général que le prix de l'essence a peu d'impact sur la demande est robuste.

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

un besoin essentiel qui est moins affecté par le revenu. Dans les marchés ruraux, la dépendance plus forte au revenu pourrait être liée au caractère plus conjoncturel de l'activité économique dans ces marchés. Enfin dans les marchés urbains, une partie de la sensibilité au revenu pourrait provenir d'un changement de mode de transport puisque, dans ces marchés, le transport en commun constitue un substitut au transport par véhicule privé.³²

- La demande d'essence est légèrement plus faible aux trimestres 1 et 2 par rapport au trimestre 4 dans les marchés urbains et au trimestre 1 uniquement pour les marchés ruraux. Les effets les plus marqués sont cependant au trimestre 3 (l'été) avec une hausse majeure (+18.5%) dans les marchés ruraux et une hausse moindre mais tout de même conséquente (+4%) dans les marchés intermédiaires. Par contre, les marchés urbains connaissent une baisse de 4% durant ce trimestre. Les estimés du coefficient de l'écart-type sur la composante aléatoire du paramètre de *Trim3* sont statistiquement différents de zéro, ce qui traduit de l'hétérogénéité entre les marchés.
- Dans les marchés urbains, la baisse tendancielle de la demande d'essence est en moyenne de 0.8% par trimestre ou 3.2% par année. Rappelons qu'il s'agit de la tendance à prix et revenus constants. L'impact varie cependant selon le marché puisque l'écart-type de la composante aléatoire est significatif. Le tableau 10 montre les tendances spécifiques à chaque marché urbain. Tous ces marchés connaissent une baisse tendancielle. Celle-ci est particulièrement marquée à Gatineau et dans la région de Montréal. La réduction à Gatineau est sans doute liée à un déplacement de la demande vers Ottawa. Pour Montréal, la baisse peut s'expliquer les investissements importants dans le transport en commun depuis 2008.

³²Il n'y a pas de différence statistiquement significative dans l'élasticité-revenu dans les MU et les MR.

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

Tableau 10: *Tendance annuelle estimée (%) à prix et revenu constants par marché urbain*

Marché	Tendance annuelle (%)
Gatineau	-6,39
Laval	-3,37
Montréal Centre	-3,67
Montréal Est	-3,46
Montréal Ouest	-4,12
Montréal Rive Nord	-1,48
Montréal Rive Sud	-3,56
Québec	-2,78
Saguenay	-1,68
Sherbrooke	-2,45
Trois-Rivières	-2,25

En conclusion, il existe effectivement des différences dans les déterminants de la demande d'essence suivant le type de marché. L'élasticité-prix semble un peu plus forte dans les marchés ruraux. Toutefois, l'ampleur de cette différence n'est pas très forte puisque même dans ces marchés, l'effet du prix reste très limité. Ainsi l'utilisation d'une élasticité commune (p.ex. -0.1) pour tous les marchés constitue probablement une approximation acceptable. La valeur de l'élasticité-revenu varie aussi suivant les caractéristiques du marché. Ces différences pourraient cependant aussi être liées à la difficulté de mesurer adéquatement l'effet du revenu avec une série temporelle aussi courte. Ainsi, l'utilisation d'une valeur commune (entre 0.4 et 1) ne semble pas déraisonnable. Les différences dans les effets saisonniers doivent par contre être prises en compte. Il semble également important de tenir compte d'une réduction tendancielle de la demande d'essence dans les marchés urbains.

6. PROFILS RÉGIONAUX D'ÉVOLUTION À L'HORIZON 2021

6.1 Méthodologie

L'analyse économétrique effectuée à la section précédente n'est pas particulièrement adaptée afin d'établir des profils d'évolution de la demande d'essence suivant différents scénarios. En effet, il n'est pas, par exemple, possible de tenir compte du resserrement des normes sur l'efficacité énergétique des VL tel que prévu par le règlement sur les émissions de gaz à effet de serre des véhicules automobiles en 2009. Pour pallier à cette limitation, nous revenons sur la factorisation (1) de la demande d'essence discutée à la section 2. Pour rappel, la demande d'essence peut se décomposer comme suit :

$$Q = POPx \left(\frac{TCC}{100} \right) x D$$

En connaissant Q , POP et $TCC/100$, il est possible de déduire D (c'est-à-dire la distance parcourue per capita) qui peut ensuite faire l'objet d'une analyse économétrique séparée. Dans ce contexte, il devient possible d'imposer un profil particulier sur l'évolution de TCC .

Malheureusement, les données dont nous disposons ne permettent pas une décomposition aussi précise que celle décrite ci-dessus. En effet :

- 1) nous n'observons pas Q , la quantité d'essence consommée par les résidents du marché, mais plutôt les ventes dans un marché. En fait, nous avons:

$$Ventes = Q + E - I = Q + VNE$$

Les ventes réalisées dans un marché (*Ventes*), en litres, correspondent à la quantité consommée par les résidents (Q) plus la consommation par des non-résidents (E pour exportation puisque cela s'apparente à de l'exportation hors marché) moins la consommation des résidents d'essence provenant de l'extérieur du marché (I pour importation). Nous définissons $E-I$ comme les ventes nettes externes (VNE);

- 2) nous n'observons pas le TCC moyen réel. Nous disposons en effet uniquement du TCC moyen « théorique » du parc automobile par

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

région c'est-à-dire basé sur des tests en laboratoire suivant un protocole de conduite normé.

Malgré ces difficultés, une décomposition de la variable *Vente* (*V*) est utile pour effectuer les projections. Spécifiquement, nous utilisons la factorisation suivante :

$$V = POP \times \left(\frac{TCC}{100}\right) \times U$$

Les ventes dépendent donc de la population, de l'efficacité théorique du parc de VL et de l'intensité de l'usage *U* per capita mesurée pour la population de la région géographique considérée. Puisque l'on observe *V*, *POP* et *TCC*, *U* peut se déduire facilement à partir de l'équation ci-dessus. La variable *U* se mesure en kilomètres mais il est important de l'interpréter non pas comme une mesure de la distance parcourue mais plutôt comme une mesure de l'usage. En effet, étant donné les deux limitations décrites ci-dessus, *U* doit être interprété avec circonspection. *U* est déterminé, non seulement par la distance parcourue par les résidents à partir de l'essence achetée dans la région (ce qui exclut la distance parcourue avec de l'essence achetée à l'extérieur) mais aussi par la distance des non-résidents qui achètent de l'essence de la région. De plus, si les conditions routières sont telles que le véritable *TCC* (ex. routes congestionnées) est supérieur au *TCC* théorique, cela se traduira par un *U* plus important même si la distance effectivement parcourue ne s'est pas accrue. *U* s'interprète donc comme une mesure de l'intensité de l'usage.

Le tableau 11 indique, sur une base annuelle, l'importance de *U* par groupe et pour l'ensemble des marchés. Malgré les mises en garde sur l'interprétation de *U*, il est tout même intéressant de comparer les statistiques agrégées sur cette variable avec celles concernant les distances parcourues par les VL provenant de l'enquête sur les véhicules de Statistique Canada. Sans surprise, l'usage est nettement plus important dans les marchés ruraux. De plus, l'écart avec les marchés urbains s'accroît dans le temps, passant de 33% en 2004 à près de 60% en 2009. Le kilométrage annuel per capita mesuré par Statistique Canada est de 10 à 20% plus faible. Cela s'explique probablement par la sous-estimation du *TCC* dans la factorisation que nous utilisons.³³

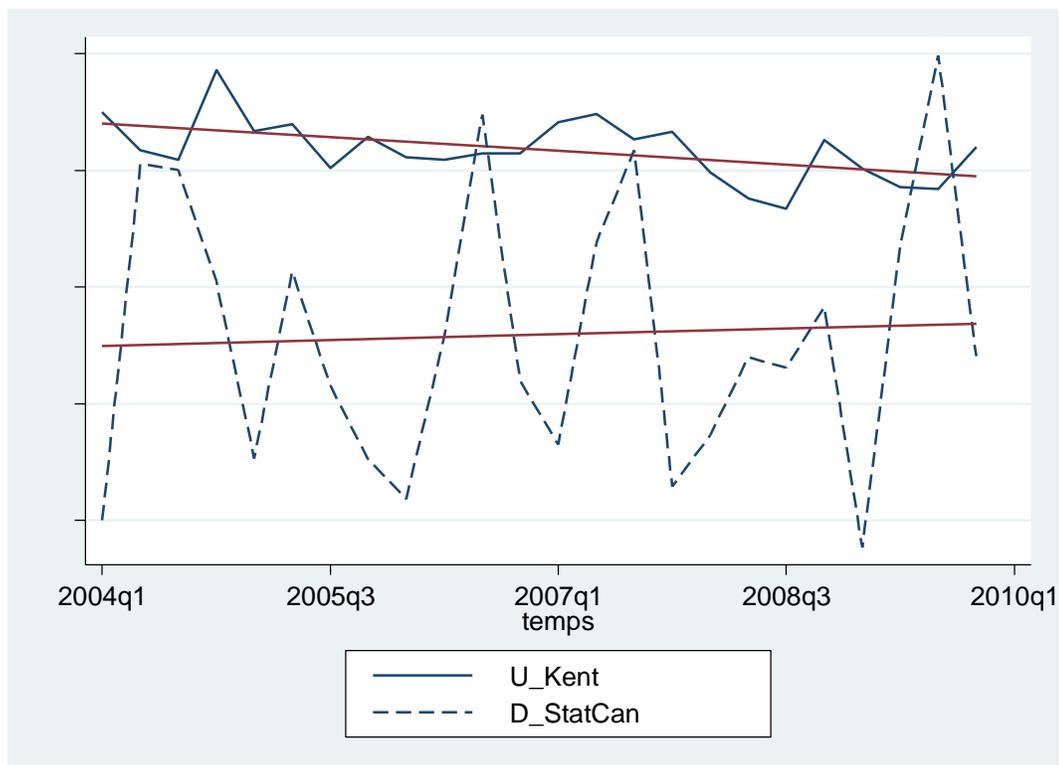
³³Les données de l'Enquête sur les véhicules de Statistique Canada présentent aussi plusieurs limitations dont particulièrement le faible nombre de véhicules enquêtés au Québec.

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

Tableau 11: Usage annuel moyen per capita en km par groupe de marchés, pour l'ensemble des marchés et distance annuelle parcourue selon l'Enquête sur les véhicules

Marchés	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Marchés ruraux	12882	12968	13124	13401	13498	14419
Marchés intermédiaires	10930	11101	11331	11470	11486	11832
Marchés urbains	9691	9504	9335	9545	9106	9085
Tous les marchés de Kent	9926	9800	9699	9899	9535	9584
Province (Enquête sur les véhicules)	8822	8070	8487	8499	8255	8705

Le graphique 3 illustre l'évolution de U et de la distance parcourue (D) selon Statistique Canada. La variabilité dans les données de Kent est beaucoup plus faible que dans les données de Statistique Canada. De plus, les tendances dans ces deux séries ont des signes différents.



Graphique 3: Évolution de U et de la distance parcourue per capita selon l'enquête sur les véhicules et tendances correspondantes

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

Pour l'analyse des scénarios, nous allons imposer des hypothèses particulières sur l'évolution de POP et TCC . Pour ce qui concerne U , nous estimons un modèle économétrique pour mettre en évidence ses principaux déterminants. Cette analyse s'inspire des résultats de la section 5. Nous effectuons l'analyse séparément pour les trois groupes de marchés. Il y a cependant une différence dans la spécification relativement à la section 5. Ainsi, plutôt que d'utiliser le prix de l'essence (P_e) comme variable explicative, nous utilisons le coût de l'essence (en cents) pour parcourir un km (P_{km}). Formellement, nous avons:

$$P_{km} = P_e \times (TCC/100)$$

L'usage dépend en effet de P_{km} plutôt que de P_e . Cette spécification tient compte qu'une amélioration du TCC provoque une réduction de P_{km} , ce qui peut stimuler l'usage.³⁴ Les résultats sont présentés au tableau 12.

Tableau 12: Résultats pour l'usage par groupe de marchés

	Marchés ruraux	Marchés intermédiaires	Marchés urbains
LP _{km}	-0,180 (0,038)***	-0,058 (0,030)*	-0,076 (0,020)***
LRev	0,859 (0,097)***	0,437 (0,069)***	1,072 (0,210)***
Trim1	-0,046 (0,011)***	-0,012 (0,008)	-0,029 (0,006)***
Trim2	-0,020 (0,012)*	-0,000 (0,009)	-0,027 (0,006)***
Trim3	0,184 (0,028)***	0,040 (0,013)***	-0,038 (0,010)***
Tendance			-0,007 (0,001)***
Constante	-0,105 (0,949)	3,920 (0,672)***	-2,442 (2,058)
σ(Trim3)	0,075 (0,020)	0,043 (0,010)	0,028 (0,007)
σ(Tendance)	--	--	0,003 (0,0007)
N	216	541	264

* Statistiquement significatif au seuil de risque de 10%, ** au seuil de 5% et *** au seuil de 1%

σ(.) écart-type du paramètre aléatoire

Effets fixes non reproduits

³⁴ Cette spécification permet donc de prendre en compte l'effet rebond i.e. une amélioration de l'efficacité énergétique accroît l'usage en réduisant le coût, ce qui limite en partie la réduction de la consommation d'énergie (voir Barla et coll., 2009).

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

La comparaison des tableaux 12 et 9 permet de constater que les effets sont très similaires, ce qui est surprenant. En effet, la consommation de carburant varie non seulement en fonction de l'usage mais aussi de l'efficacité du parc. Ainsi par exemple, une hausse du prix de l'essence provoque non seulement une réduction de l'usage mais favorise aussi le choix de véhicules plus efficaces particulièrement à long terme. L'impact du prix sur la consommation devrait donc être plus prononcé que sur l'usage particulièrement à long terme. L'absence de différences entre les deux tableaux traduit probablement le fait que nos données ne nous permettent pas bien de mesurer les effets de long terme.

6.2 Les scénarios

Nous présentons dans cette section les hypothèses associées aux trois scénarios que nous examinons à savoir 1) le scénario de référence, 2) le scénario technologique et 3) le scénario prix élevé du carbone.

6.2.1 Le scénario de référence

Ce scénario vise à représenter une situation où aucune nouvelle mesure particulière n'est prise en vue de réduire la consommation d'essence. Par contre, les mesures déjà décidées, comme par exemple le Règlement canadien sur les émissions de gaz à effet de serre des automobiles à passagers et des camions légers sont prises en compte. Les principales hypothèses utilisées sont décrites ci-dessous.

Population

L'évolution de la population en 2021 est établie sur base du document « Perspectives démographiques du Québec et des régions 2006-2056 » de l'Institut de la Statistique du Québec. Ce document fournit des perspectives démographiques par régions administratives et pour les régions métropolitaines. Nous utilisons les taux de variation prévus entre 2006 et 2021 pour déterminer la population dans chaque marché en 2021. Le tableau 13

présente les changements dans la population par groupe de marchés. Les prévisions par marché sont détaillées dans le tableau A3-1 de l'annexe 3.

Tableau 13: % de variation de la population par groupe de marchés 2009-2021

Groupe de marchés	% variation 2009-2021
Marchés ruraux	0,7
Marchés intermédiaires	8,1
Marchés urbains	10,4
Tous les marchés	9,9

TCC

Pour établir le *TCC* en 2021, nous prenons en compte les effets Règlement canadien sur les émissions de gaz à effet de serre des automobiles à passagers et des camions légers. Plus spécifiquement, nous nous basons sur les normes établies dans le règlement sur les émissions de gaz à effet de serre des véhicules automobiles adopté par le Québec en 2009 (Décret 1269-2009). En effet, en octobre 2010, les normes québécoises ont été harmonisées avec celles adoptées par le gouvernement canadien qui elles-mêmes sont calquées sur les normes américaines. Précisons que même si les normes sont maintenant définies au niveau des ventes de VL au Canada, nous faisons malgré tous l'hypothèse qu'elles seront aussi respectées au niveau des ventes québécoises. Nous tenons aussi compte de la volonté des pouvoirs publics de promouvoir la pénétration de véhicules électriques.

- Pour tenir compte des normes sur les nouveaux véhicules, nous simulons le *TCC* moyen du parc de VL en 2021 en tenant compte des exigences de la réglementation. Nous supposons que la structure en termes d'âge des véhicules et de composition véhicules/camions légers sera en 2021 la même qu'en 2008. De plus, nous supposons que les normes seront respectées au niveau de l'ensemble du parc par année-modèle même si dans les faits, la réglementation s'applique uniquement aux grands manufacturiers. Ainsi par exemple, nous imposons qu'en 2021, le *TCC* moyen de l'ensemble des véhicules de la catégorie 1 de l'année modèle 2016 au Québec est de 5,27 litres/100 km, soit l'objectif de la réglementation. La part de ces véhicules est

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

évaluée sur base de la part des véhicules de catégorie 1 âgés de 5 ans dans le parc québécois de 2008. Au-delà de 2016, nous supposons que les normes resteront les mêmes qu'en 2016.³⁵ Avec cette procédure, nous trouvons que le TCC moyen du parc serait de 7,88 litres/100km en 2021 contre 9,33 litres/100km en 2008, soit une réduction de 15%.³⁶

- Les objectifs gouvernementaux concernant la progression du nombre de véhicules électriques sont présentement en évolution. Dans notre analyse, nous nous basons sur l'objectif qui était contenu dans le plan d'action 2011-2020 sur les véhicules électriques même si celui-ci a été abandonné. Celui-ci visait un objectif, assez ambitieux, d'environ 300 000 véhicules en 2021. Nous répartissons ces 300 000 entre nos marchés en utilisant la part en 2008 des véhicules hybrides. Il est en effet probable que les véhicules électriques auront une répartition géographique similaire avec une plus forte présence dans les grands centres urbains de la province. Nous supposons également que l'ajout de ces véhicules ne sera pas utilisé pour respecter les normes d'émissions.³⁷

Le TCC en 2021 de chaque marché est finalement évalué comme suit :

$$TCC_{2021,m} = TCC_{2008,m} \times f \times (1 - se_m) + TCCE \times se_m$$

avec :

$TCC_{2021,m}$: le taux de consommation moyen du parc de VL dans le marché m en 2021

$TCC_{2008,m}$: le taux de consommation moyen du parc de VL dans le marché m en 2008

³⁵ Notons que le gouvernement canadien vient, très récemment (septembre 2014), d'adopter les normes américaines pour les années-modèles 2017-2025. Notre scénario de référence ne tient pas compte de ce dernier développement. Par contre, le scénario technologique ci-dessous prend en compte le resserrement des normes pour les modèles 2017 à 2021.

³⁶ Précisons que nous tenons également compte que les taux réglementés ne sont pas directement comparables avec les taux rapportés par Ressources naturelles Canada dans les Guides de consommation. En effet, Ressources naturelles Canada ajuste de 15% à la hausse les taux mesurés en laboratoire afin de mieux refléter les conditions de conduite actuelle (voir Barla et Boucher, 2010).

³⁷ Si ces VL sont comptabilisés dans l'atteinte des normes alors ces 300 000 VL n'auront aucun effet additionnel par rapport à la réduction de 15% provoquée par le respect des normes.

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

f : le facteur de réduction associé à la réglementation sur les émissions de gaz à effet de serre des VL automobiles. Comme détaillé précédemment, $f=(1-0,15)=0,85$.

se_m : la part des véhicules électriques du parc dans le marché m .

$TCCE$: le taux de consommation moyen d'essence des véhicules électriques. Nous utilisons la même valeur de 1,6 litres/100 km que celle utilisée dans le plan d'action 2011-2020 sur les véhicules électriques.³⁸

Les résultats par groupe de marchés sont présentés dans le tableau 14. Les résultats par marché sont détaillés à l'annexe 3. Selon la simulation, le TCC moyen en 2021 serait de 20% plus faible qu'en 2008 avec peu de variation entre les marchés.

Tableau 14: Moyenne pondérée par la population du TCC en 2008, du TCC simulé en 2021 et variation en % par groupe de marchés et pour l'ensemble des marchés

Groupe de marchés	2008	2021	% variation
Marchés ruraux	9,8	8,07	-17%
Marchés intermédiaires	9,3	7,6	-18%
Marchés urbains	9,2	7,3	-20%
Tous les marchés	9,2	7,3	-20%

Il est important de vérifier que les TCC simulés pour 2021 sont effectivement plus faibles que les TCC attendus sans réglementation. C'est-à-dire vérifier que les réglementations sont véritablement efficaces. Pour cela, nous estimons pour les trois types de marchés un modèle où le taux de consommation dépend du prix de l'essence, du revenu et d'une tendance quadratique.³⁹ À partir de ce modèle, nous extrapolons les taux de consommation en 2021. Pour tous les marchés, les TCC simulés en prenant

³⁸Inclut les véhicules hybrides rechargeables et tout électrique. L'estimation du taux à 1,6 litres/100 km est déduite des estimations d'économies de carburant rapportées à la page 8 du plan d'action 2011-2020 sur les véhicules électriques. Le plan prévoit une économie de 384 millions de litres d'essence grâce à ces véhicules. En supposant une consommation moyenne de 10 litres/100km pour les véhicules traditionnels et un kilométrage de 15200km par an, le taux implicite des véhicules électriques serait de 1,6 litres/100km.

³⁹Le modèle a une forme fonctionnelle de type log-log (sauf pour la tendance). Les coefficients sur la tendance ont une composante aléatoire spécifique à chaque marché.

en compte les réglementations sont effectivement plus bas que les *TCC* estimés en prolongeant les tendances de 2004 à 2009. Pour l'ensemble des marchés, la moyenne pondérée par la population des taux moyens simulés est de 7,12 litres/100 km contre 8,28 litres/100 km pour la prédiction tendancielle.

Usage

Pour simuler l'usage en 2021, nous devons établir des prévisions sur ces déterminants :

- Le prix de l'essence : nous utilisons l'hypothèse du modèle MÉDÉE développé par le Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec, soit un prix de 1,59\$ en \$ de 2021 ou de 1,12\$ en \$ de 2002. Nous y ajoutons 4 cents pour tenir compte du système de plafonnement et d'échange de droits d'émission de gaz à effet de serre du Québec (SPEDE).⁴⁰ Dans le scénario de référence, nous utilisons en effet l'hypothèse du ministère des finances dans le budget 2012-2013 d'un prix des droits d'émission à 17\$ la tonne en 2020. Relativement au prix moyen de 2009, le prix en 2021 serait 31% plus élevé. Rappelons cependant que notre modèle suppose que l'usage dépend du prix par kilomètre parcouru. Ainsi, dans la mesure où le *TCC* baisse de 20% à l'horizon 2021, le prix par kilomètre augmenterait de seulement 5% dans le scénario de référence;
- Pour le niveau du revenu en 2021, nous utilisons les hypothèses du MEDEE, soit une croissance annuelle du PIB réel de 1,8% associée à une croissance de la population de 0,8%. La croissance du PIB per capita est donc de 0,99% par année. Nous appliquons ce taux de croissance à tous les marchés. Le revenu disponible est ainsi supposé s'accroître de 12,5% d'ici 2021.

6.2.2 Le scénario technologique

Dans ce scénario, le parc de VHE doit doubler, ce qui signifie qu'il atteindrait 600 000 sur les routes du Québec. De plus, nous supposons aussi que les normes d'émissions de GES sont resserrées de 2017 à 2021 de 5% par an pour les VL de catégorie 1 et de 3,5% pour la catégorie 2⁴¹.

⁴⁰Le scénario du MEDEE n'inclut pas les effets du SPEDE.

⁴¹Voir le Federal Register, Vol. 77, No 199, 15 Octobre 2012, p. 62641.

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

Nous nous basons sur les normes adoptées aux États-Unis et reprises, depuis septembre 2014, par le gouvernement canadien soit une réduction de 5% par an pour les véhicules de catégorie 1 et de 3,5% pour la catégorie 2. Dans ce scénario, la moyenne pondérée par la population du taux de consommation du parc en 2021 est évaluée à 6,11 litres/100 km, soit une réduction de 14% par rapport au scénario de référence ou de 30% par rapport à 2009. Les autres hypothèses sont similaires à celles du scénario de référence.

6.2.3 Le scénario prix élevé du carbone

Ce scénario reprend les hypothèses du scénario de référence sauf pour le prix de l'essence. Nous supposons ici que le prix des permis d'émissions de GES reflète une évaluation élevée du coût social du carbone en 2021 à environ 75\$ la tonne en \$ de 2002.⁴² Cela se traduit par un prix de l'essence en 2021 à 1,77\$ le litre en \$ de 2002. En tenant compte de l'accroissement de l'efficacité énergétique des véhicules, le coût par kilomètre en essence s'accroît de 62% dans ce scénario par rapport à 2009.

6.3 Les résultats

6.3.1 Résultats du scénario de référence

Tous les résultats par marché sont disponibles à l'annexe 3. Le tableau 15 présente les résultats par groupe de marchés pour le scénario de référence. Ce tableau présente le pourcentage de variation dans les ventes totales d'essence (V) et les émissions de gaz à effet de serre (GES). Il présente aussi une décomposition de la variation de V qui permet de mettre en évidence la contribution de chaque facteur explicatif.⁴³ Ainsi par exemple, dans les

⁴²Voir Technical Support Document: Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866, février, 2010.

⁴³Pour calculer la contribution de chaque déterminant dans la variation totale, nous exploitons le fait que i) $E=POP \times TCC \times U$ et donc que $\text{Log}(E)=\text{Log}(POP)+\text{Log}(TCC)+\text{Log}(U)$ et ii) que $\Delta \text{Log}(X) \approx \Delta X/X$. Nous réajustons la contribution de chaque facteur afin que la somme des contributions soit égale à la variation de E . Ce réajustement est nécessaire car ii) constitue une approximation.

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

marchés ruraux, nous prévoyons que : i) la croissance de la population va engendrer une hausse de 0,56% des ventes totales d'essence, ii) l'amélioration de l'efficacité va les réduire de 14,1% et iii) la croissance estimée de l'usage dans ces marchés va accroître les ventes de 7,2%. Au total, nous prévoyons une réduction des ventes totales de 6,4% (soit 0,56%-14,1%+7,2%) entre 2009 et 2021. De même pour U, le tableau présente la décomposition de la variation suivant chacun des facteurs explicatifs (soit P_{km}, Rev et la tendance).

Tableau 15: Variation en % de 2009 à 2021 dans les ventes totales d'essence (V) et des émissions de GES et décomposition de l'effet par facteur explicatif

Groupe	V	GES	Contribution des facteurs explicatifs à la variation de V			Contribution des facteurs explicatifs à la variation de U		
			POP	TCC	U	P _{km}	REV	TENDANCE
MR	-6,4	-6,7	0,56	-14,1	7,2	-1,4	8,6	0
MI	-6,7	-6,9	9,8	-22,4	5,8	-0,6	6,4	0
MU	-29,6	-29,7	10,3	-20,3	-19,6	-0,24	10,5	-29,8
Tous	-24,8	-24,9	9,9	-20,2	-14,6	-0,3	8,9	-23,1

Ainsi, le scénario de référence prévoit une baisse modérée des ventes totales d'essence (et des GES) dans les marchés ruraux et intermédiaires. Cette baisse s'explique entièrement par l'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules. Cet effet est cependant en partie miné par la hausse de l'usage et de la population. La hausse de l'usage est-elle même liée à la croissance économique. L'effet de l'augmentation du prix de l'essence est négligeable.

Dans les marchés urbains, l'amélioration de l'efficacité des véhicules et la réduction de l'usage contribue à réduire de manière importante les ventes et les émissions. La réduction de l'usage s'explique principalement par la tendance.

Les résultats pour l'ensemble des marchés sont très similaires à ceux relatifs aux marchés urbains puisque ceux-ci dominent dans le total. Enfin, il est important de souligner que la réduction d'environ 25% des émissions à

l'horizon 2021 dépend de la poursuite des tendances observées de 2004 à 2009. Nous revenons sur ce point ci-dessous.

6.3.2 Résultats du scénario technologique et de tarification élevée du carbone

Le tableau 16 contraste les résultats des trois scénarios. Le scénario technologique aboutit à la réduction la plus marquée des ventes d'essence. Notons cependant que dans ce scénario, l'usage est un peu plus élevé puisque le coût par kilomètre baisse. Le scénario de tarification élevée du carbone ne réduit les ventes et l'usage qu'un peu plus par rapport au scénario de référence et cela malgré une hausse assez marquée du prix de l'essence. Ce résultat s'explique, bien entendu, par les valeurs très faibles des élasticité-prix que nous avons estimées. Il est important de rappeler que ces valeurs ne reflètent probablement pas bien les effets à long terme du prix sur la demande d'essence.

Tableau 16: Variation en % de 2009 à 2021 dans les ventes totales d'essence (V) et l'usage (U) par scénario et par groupe de marchés

Groupe	Référence		Technologique		Prix carbone élevé	
	V	U	V	U	V	U
MR	-6,4	8,9	-12,7	10,6	-13,5	0,7
MI	-6,7	4,8	-14,7	5,3	-9	2,2
MU	-29,6	-19,8	-37	-19	-31,9	-22,4
Tous	-24,8	-14,6	-32,2	-13,9	-27,2	-17,4

6.3.3 Spécifications alternatives

Afin d'analyser la sensibilité des résultats aux différentes hypothèses de modélisation, nous présentons dans cette sous-section les projections

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

obtenues avec d'autres spécifications. La colonne V1 du tableau 17 reproduit les résultats du scénario de référence concernant les ventes totales d'essence. Les autres colonnes correspondent aux projections alternatives suivantes:

- V2 : l'effet de la tendance dans les marchés urbains est réduit de 50% par rapport à V1;
- V3 : l'effet de la tendance dans les marchés urbains est complètement éliminé;
- V4 : inclusion de tendance dans la modélisation des marchés ruraux et intermédiaires;
- V5 : projections basées sur des évaluations « externes » des paramètres d'élasticité-prix et revenu de l'usage; sur base de la revue de la littérature de Goodwin et coll. (2004), nous utilisons la valeur de -0,3 pour l'élasticité-prix de l'usage à long terme et +0,5 pour l'élasticité-revenu de long terme. Seuls ces deux facteurs modifient l'usage dans cette spécification.

Tableau 17: Variation en % de 2009 à 2021 des ventes totales d'essence par groupe de marchés suivant différentes spécifications alternatives

Groupe	V1	V2	V3	V4	V5
Marchés ruraux	-6,4	-6,4	-6,4	17,1	-11,1
Marchés intermédiaires	-6,7	-6,7	-6,7	15,7	-7,9
Marchés urbains	-29,6	-16,6	-0,9	-29,6	-8,3
Tous les marchés	-24,8	-14,5	-2,1	-19,9	-8,3

Sans surprise, la comparaison de V2 et V3 avec V1 souligne le rôle déterminant de la tendance dans les marchés urbains. Lorsque cet effet est complètement éliminé (V3), l'amélioration de l'efficacité énergétique sert presque uniquement à compenser pour l'augmentation de l'usage associée à la croissance économique. L'inclusion de tendance dans les marchés ruraux et intermédiaires se traduit par une forte augmentation des ventes d'essence dans ces marchés. Toutefois, comme ces marchés représentent une part assez faible dans l'ensemble des marchés, la réduction totale prévue reste assez marquée à près de 20%. Enfin, en tenant compte uniquement des

facteurs économiques (revenu et prix) et en se basant sur des valeurs de paramètres dérivés de la littérature, une réduction de 8,3% est prévue.

6.4 La tendance à la baisse dans les marchés urbains

L'analyse de sensibilité des résultats souligne à nouveau le rôle primordial joué par la tendance à la baisse dans les ventes d'essence observée entre 2004 et 2009 dans les marchés urbains. Une question évidente se pose : est-il réaliste de supposer que cette tendance va effectivement se prolonger jusqu'en 2021?

À ce stade, il est important de préciser que plusieurs recherches récentes dans plusieurs pays développés ont également montré un déclin dans l'utilisation de l'automobile (voir par exemple Millard-Ball et Schipper, 2010; Schipper, 2011; Goodwin, 2011). Ce phénomène également appelé le *pic automobile* (« Peak car ») a été observé aux États-Unis et dans plusieurs pays Européens. Plusieurs facteurs pourraient contribuer à ce déclin comme par exemple le vieillissement de la population, le développement du transport en commun, la crise financière et économique de 2008 ou le développement du commerce électronique.

Idéalement, nous voudrions inclure des indicateurs de ces différentes forces dans l'analyse économétrique jusqu'au moment où éventuellement, toute la baisse tendancielle s'expliquent. Malheureusement, il n'est pas possible de procéder ainsi dans la mesure où les indicateurs de ces différentes forces sont très fortement corrélés avec la tendance, ce qui crée des problèmes de multicolinéarité. À la place, nous effectuons une analyse *ad hoc* simple où nous évaluons l'impact maximal probable de différents facteurs explicatifs. Spécifiquement, nous évaluons les facteurs suivants :

- La crise financière et économique de 2008
- L'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules
- Le développement du transport en commun
- Le vieillissement de la population
- Le déplacement de la demande

6.4.1 La crise financière et économique de 2008

La crise financière et économique à partir du troisième trimestre de 2008 pourrait avoir affecté les tendances. Pour évaluer ce facteur, nous estimons à nouveau le modèle visant à expliquer les ventes per capita dans les marchés urbains (voir l'équation 5). Nous incluons en plus une variable d'interaction de la tendance avec une variable CRISE (=1 à partir du trimestre 3 de l'année 2008 et zéro autrement). Cette spécification permet donc de distinguer les tendances avant et après la crise. Nous trouvons que cette variable d'interaction a un impact statistiquement significatif et négatif. La tendance annuelle moyenne dans les marchés urbains pour les ventes per capita avant la crise est de -2,1% et pendant la crise de -2,8%. Le tableau 18 montre la réduction dans les ventes per capita entre 2004 et 2009 liée à l'effet des tendances avec la modélisation initiale (-15%) et avec la modélisation qui neutralise l'effet de la crise (-10%). La crise de 2008 pourrait donc expliquer jusqu'à 30% de la tendance dans les marchés urbains.

6.4.2 L'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules

Au cours de la période 2004-2009, le taux moyen de consommation des VL dans les marchés urbains s'est amélioré de 9,36 à 9,15 litres/100 km. Si le taux de consommation était resté à 9,36 litres/100km, la réduction moyenne des ventes per capita aurait été de 13,25% au lieu de 15%. L'amélioration de l'efficacité pourrait donc expliquer 12% de la réduction tendancielle. Rappelons toutefois que contrairement aux autres facteurs évoqués dans cette section, nous tenons explicitement compte de l'évolution future de l'efficacité énergétique des véhicules dans les projections décrites précédemment.

6.4.3 Le développement du transport en commun

Depuis quelques années, les sociétés de transport en commun en milieu urbain connaissent des augmentations d'achalandage qui pourraient expliquer la réduction dans les ventes d'essence. À partir des données disponibles,

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

nous évaluons l'accroissement du nombre de personnes qui utilisent le transport en commun pour se rendre au travail à environ 45 000 de 2004 à 2009, soit une augmentation d'un peu moins de 10%.⁴⁴ Pour évaluer la réduction maximale dans les ventes d'essence per capita qui pourrait être causée par cette croissance, nous posons les hypothèses extrêmes suivantes : i) les nouveaux utilisateurs du transport en commun ont une consommation d'essence annuelle égale à zéro; ii) ces nouveaux utilisateurs auraient une consommation d'essence égale à la moyenne s'ils n'utilisaient pas le transport en commun.⁴⁵ Sur cette base, la réduction des ventes per capita aurait été de 14,3% au lieu de 15,2% en l'absence de la croissance de l'achalandage dans le transport en commun. Le développement du transport en commun serait donc au maximum responsable de 6% de la tendance baissière de 2004 à 2009.

6.4.4 Le vieillissement de la population

D'après Barla et coll. (2011), les personnes retraitées produiraient jusqu'à 50% moins d'émissions de GES liées au transport routier. De 2004 à 2009, la part des personnes âgées de 65 ans dans les marchés urbains observés est passée de 14,3% à 16%. Nous évaluons l'impact de ce changement en simulant les ventes per capita si la part des seniors était restée constante à son niveau de 2004.⁴⁶ Dans ce cas, la réduction des ventes per capita de 2004 à 2009 aurait été de 14,3%. Le vieillissement de la population compterait donc pour au maximum 6% de la tendance observée.

⁴⁴L'estimation s'effectue à partir de l'évolution de l'achalandage rapportée par les sociétés de transport en commun et des données de Statistique Canada de 2006 sur le nombre de personnes qui utilisent le transport en commun pour se rendre au travail.

⁴⁵La consommation moyenne est calculée sur une base d'un kilométrage annuel de 10 000 km avec un taux de consommation de carburant correspondant au taux moyen des résidents du marché.

⁴⁶On suppose que les personnes qui sont retirées du groupe des seniors ont la même consommation per capita que les personnes actives (soit 50% de plus que les personnes de 65 ans et plus).

6.4.5 Déplacement de la demande

Une partie de la réduction peut être due à un déplacement de la demande hors des zones couvertes par les données de Kent. Comme on l'a déjà mentionné, cela est probablement le cas dans le marché de Gatineau où le prix de l'essence plus élevé qu'en Ontario a probablement provoqué un déplacement de la demande.⁴⁷ La surtaxe sur l'essence de l'AMT dans la région à Montréal pourrait aussi provoquer un déplacement de la demande. Toutefois, il est peu probable que cet effet soit important. En effet, la surtaxe est assez faible, 1,5 cents par litre durant la période d'analyse et le territoire touché est assez large, ce qui rend le déplacement de la demande difficile et coûteux. De plus, la vive concurrence dans le marché de l'essence au détail dans la région de Montréal pousse souvent les prix à un niveau plus bas que dans le reste de la province.⁴⁸

Pour évaluer l'impact du déplacement de la demande dans le marché de Gatineau, nous remplaçons la tendance spécifique dans ce marché (-6,2% par an) par la tendance moyenne dans les marchés urbains (-3,2%). Dans ce cas, la réduction dans les ventes per capita dans l'ensemble des marchés urbains de 2004 à 2009 baisserait à 14,49%. Le déplacement des ventes dans la région de Gatineau expliquerait alors 4,8% de la tendance.

Le tableau 18 résume ces différents résultats. Ces différents facteurs pourraient donc expliquer jusqu'à 60% de la baisse tendancielle. D'autres facteurs, plus difficiles à quantifier, pourraient expliquer les 40% restants comme par exemple :

- L'accroissement de la congestion qui, en augmentant le coût généralisé des déplacements, réduirait la demande de transport;
- La décentralisation des pôles d'emploi, de magasinage et de loisirs que l'on observe dans les grands centres urbains;⁴⁹
- Le développement du commerce électronique;

⁴⁷Voir Séguin-Bertrand S. « La Guerre de l'essence favorise Gatineau », La Presse, 8 juillet 2010. Malheureusement, il n'a pas été possible de trouver des statistiques sur le différentiel de prix entre ces deux marchés de 2004 à 2009. À titre d'information, le 30 décembre 2013, il était possible de trouver de l'essence à 120,9 cents le litre à Ottawa alors qu'à Gatineau le meilleur prix était de 127,9 cents le litre.

⁴⁸Le prix moyen de 2004 à 2009 est inférieur de près d'un cent dans la région de Montréal par rapport au reste de la province.

⁴⁹Voir par exemple Pierre-André Normandin, « Les emplois migrent vers la banlieue », La Presse, 22 janvier 2014.

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

- L'existence d'une contrainte sur le temps total consacré aux déplacements;
- Des modifications dans les préférences (ex. optimisation et chaînage des déplacements du ménage, adoption de comportements de transport plus « durables », adhésion à l'auto partage, etc.).

Tableau 18: Simulations de la réduction dans les ventes per capita de 2004 à 2009 suite à l'élimination de l'impact de différents facteurs qui peuvent expliquer la tendance

Simulation	Réduction dans les ventes per capita de 2004 à 2009 (%)	% de réduction par rapport à la réduction tendancielle
Réduction tendancielle	-15,2	--
Réduction simulée en neutralisant :		
• La crise de 2008	-10	-30
• L'amélioration de l'efficacité	-13	-12
• La croissance du transport en commun	-14	-6
• Le vieillissement de la population	-14	-5,6
• Le déplacement de la demande (Gatineau)	-14	-4,8

Cette analyse des déterminants de la tendance dans les marchés urbains nous permet de dégager les conclusions suivantes :

- 1) La baisse tendancielle observée dans les ventes d'essence dans les marchés urbains s'explique par une combinaison de plusieurs facteurs;
- 2) Certains de ces facteurs devraient se poursuivre et même s'accroître d'ici 2021 comme le vieillissement de la population;
- 3) D'autres vont dépendre des politiques publiques qui seront effectivement menées (ex. développement du transport en commun ou réglementation de l'efficacité énergétique des véhicules);
- 4) Enfin, d'autres facteurs sont moins prévisibles, comme le déplacement de la demande ou encore la réapparition éventuelle d'une crise économique comme celle de 2008.

7. CONCLUSIONS

Le premier objectif de cette recherche était d'établir un bilan régionalisé des émissions de GES et des ventes d'essence au Québec. Ce bilan a été réalisé pour 43 marchés régionaux et régions métropolitaines sur la période 2004 à 2009. L'analyse du bilan révèle les résultats suivants:

- Les ventes annuelles moyennes per capita se situent à 905 litres et les émissions de GES per capita correspondent à 2,1 tonnes;
- Sur la période 2004 à 2009, les ventes per capita ont baissé en moyenne de 1,16% et les émissions de 1,46%;
- Il existe de très fortes variations dans le niveau des ventes et des émissions per capita entre les marchés. Il est cependant difficile, à partir des données disponibles, de déterminer précisément si ces variations reflètent des comportements de consommation différents ou des problèmes de mesures;
- Il ressort cependant clairement que les ventes et les émissions per capita sont nettement plus élevées dans les marchés ruraux (+52%) et les marchés intermédiaires (+23%) que dans les marchés urbains;
- Les marchés ruraux et intermédiaires ont connu des hausses dans les ventes per capita au cours de la période 2004 à 2009 (+1,5% et +1% par an respectivement). Par contre, le groupe des marchés urbains a connu une baisse annuelle moyenne de 1,7%.

Le deuxième objectif était d'effectuer une analyse économétrique pour tester s'il existe des variations marquées dans la sensibilité de la demande d'essence au prix et au revenu suivant les caractéristiques des marchés. Sur ce point, les résultats sont :

- La sensibilité des ventes per capita à des changements de prix est plus forte dans les marchés ruraux. Une hausse de 10% des prix engendre une réduction de 1,8% dans ces marchés alors que la réduction est de 0,5% et 0,7% dans les marchés intermédiaires et urbains respectivement. Dans tous les cas, il faut souligner la réactivité particulièrement faible de la demande par rapport au prix;
- La sensibilité des ventes per capita à des changements dans le revenu disponible est plus faible dans les marchés intermédiaires. Une

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

hausse de 10% du revenu moyen provoque une hausse des ventes per capita de 2,6% dans les marchés intermédiaires, de 7% dans les marchés ruraux et de 10% dans les marchés urbains. Il faut cependant souligner que ces différences pourraient être liées à des difficultés méthodologiques;

- S'il existe des différences dans la sensibilité au prix et au revenu de la demande suivant les marchés, l'utilisation de valeurs communes de ces paramètres pour tous les marchés peut malgré tout se justifier. En effet, la magnitude des différences reste assez limitée, surtout relativement à l'incertitude qui entoure l'estimation de ces paramètres et la qualité des données;
- Les variations saisonnières dépendent des caractéristiques des marchés. Il faut particulièrement noter la baisse des ventes per capita en été dans la région de Montréal. Par contre, les ventes augmentent considérablement en été dans les marchés ruraux;
- L'analyse économétrique confirme la baisse tendancielle des ventes per capita dans les marchés urbains. En supposant que le prix de l'essence et le revenu disponible restent constants, la baisse annuelle moyenne de 2004 à 2009 est évaluée à 3,2%.

Le troisième objectif était d'établir des profils régionaux d'évolution des ventes et des émissions à l'horizon 2021 suivant différents scénarios. Les principaux résultats de cet exercice sont :

- Le scénario de référence (ou « au fil de l'eau ») prévoit une baisse des émissions totales de GES associées à la consommation d'essence de 25% en 2021 relativement à 2009. Cette baisse s'explique en partie par l'amélioration prévue de l'efficacité énergétique des VL. Elle dépend cependant aussi beaucoup du maintien de la tendance à la baisse dans l'usage des VL observée dans les marchés urbains de 2004 à 2009. En fait, si cette tendance ne se poursuit pas, les émissions ne baisseront que de 2,1%;
- La baisse tendancielle dans les marchés urbains semble associée en ordre décroissant d'importance à i) la crise financière et économique de 2008, ii) la croissance du transport en commun et iii) le vieillissement de la population;

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

- Il serait possible de réduire les émissions totales de GES de plus de 30% à l'horizon 2021 avec un renforcement des politiques favorisant l'efficacité énergétique du parc de VL;
- Une augmentation même importante des prix de l'essence n'aurait pas d'impact marqué sur l'évolution future des émissions. Il convient cependant de souligner que notre analyse mesure probablement mal les effets à long terme des prix de l'essence sur la demande.

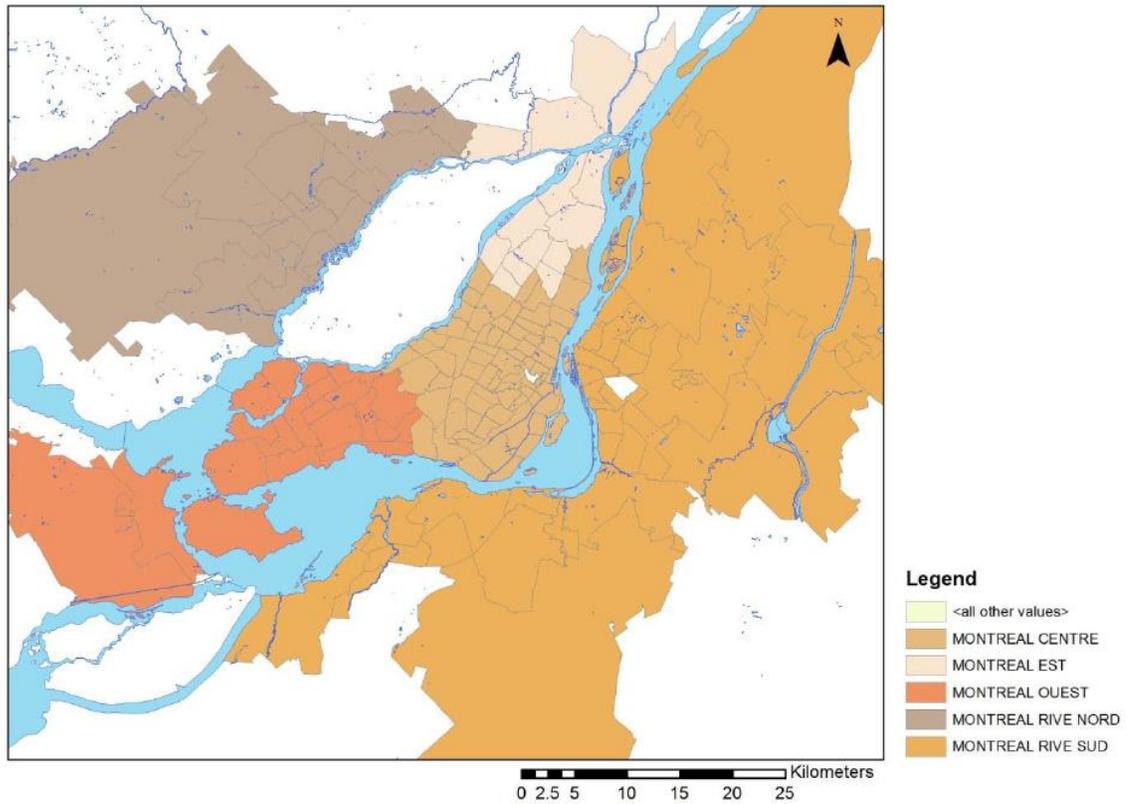
Pour terminer, il est important de rappeler que la portée de nos résultats doit être pondérée par la qualité des données que nous avons utilisées. Les données de Kent souffrent non seulement de plusieurs imperfections méthodologiques mais surtout elles ne mesurent pas véritablement ce qui serait nécessaire. En effet, les données de Kent rapportent les ventes d'essence et non la consommation. Cette distinction est importante dans le cadre d'analyse à un niveau régional. L'absence de données désagrégées précises et fiables sur les distances parcourues et la consommation de carburant des VL et des ménages québécois constitue une lacune indéniable qui nuit à la compréhension des comportements de transport.

De nombreux pays disposent d'enquêtes nationales sur les déplacements des ménages. Par exemple, aux États-Unis, le National Household Travel Survey (NHTS) collecte, sur une base périodique (environ aux 10 ans), des informations sur les déplacements des ménages au cours d'une journée via une entrevue téléphonique. Cette enquête comprend également des informations détaillées sur le nombre et le type de véhicules, sur le kilométrage annuel parcouru et les caractéristiques sociodémographiques des ménages. Les résultats de cette enquête servent à la planification des transports, à l'élaboration et à l'évaluation des politiques publiques et à mettre en évidence les tendances et les changements de comportement en matière de transport privé. Grâce à ces données, un très grand nombre de recherches sont menées. Le moteur de recherche « Google Scholar » rapporte au-delà de 400 000 documents de recherche qui font référence au NHTS. La Californie réalise sa propre enquête (California Household Travel Survey) qui combine entrevues téléphoniques, enquêtes postales, web et appareils de mesure connectés aux véhicules. La France, le Danemark, l'Allemagne, les Pays-Bas, la Nouvelle Zélande, l'Afrique du Sud, la Suède ou le Royaume Uni disposent aussi d'enquêtes nationales. Le Québec dispose déjà d'une base intéressante avec les enquêtes origine-destination qui sont menées dans les six principales régions métropolitaines de la province. Celles-ci ne couvrent cependant que fragmentairement les déplacements interurbains des personnes et les déplacements générés en dehors de ces grands centres

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

urbains demeurent non documentés. Or, notre analyse suggère que les tendances en matière de déplacement dans les petites villes et en milieu rural soient très différentes de celles observées dans les grands centres urbains. Le déploiement d'une enquête de portée provinciale permettrait donc de combler d'importantes lacunes et d'appuyer la planification des réseaux de transport au Québec à moyen et long terme sur des bases scientifiques plus solides.

Annexe 1: Délimitations territoriales



Carte 1 : Délimitations territoriales des marchés dans la région de Montréal

Annexe 2: Description des données et analyse de fiabilité

Le tableau A2-1 décrit les différentes variables utilisées dans l'analyse en précisant la méthode de construction et les sources utilisées.

Tableau A2- 1: Description et sources des variables

Nom de la variable	Acronyme	Description et sources
Ventes d'essence	V	Quantité totale d'essence vendue en litres par trimestre. Inclut tous les types d'essence (ordinaire, premium, premium plus) ⁽¹⁾ . Le diesel est exclu.
Population	POP	Population totale pour l'unité territoriale pertinente (municipalité, RMR, etc.). Annuel. ⁽²⁾
Ventes per capita	VenteCap	V/POP
Émissions de gaz à effet de serre	GES	Émissions de GES associées aux ventes d'essence par trimestre. Les ventes sont multipliées par des facteurs d'émission (grammes d'équivalent de CO ₂ par litre) moyens calculés au niveau territorial pertinent. ⁽³⁾
Prix de l'essence	P _e	Prix moyen de l'essence ordinaire en cents de 2002 par trimestre et par région administrative. ⁽⁴⁾ Déflaté à partir de l'ICP-excluant l'énergie. ⁽⁵⁾
Revenu	Rev	Revenu personnel disponible des ménages par habitant par MRC ou RMR suivant l'unité territoriale qui définit le marché exprimé en \$ de 2002. ⁽²⁾ Annuel. Déflaté à partir de l'ICP. ⁽⁵⁾
Taux de consommation de carburant	TCC	Taux moyen de consommation de carburant des véhicules légers immatriculés dans l'unité territoriale pertinente. Trimestrielle. ⁽³⁾
Indice des prix à la consommation	IPC	Indice des prix à la consommation, panier 2011, annuel (2002=100). Annuel. CANSIM 326-0021. ⁽⁵⁾
Indice des prix à la consommation hors essence	ICP-excluant l'énergie	Indice des prix à la consommation excluant l'énergie, panier 2011, mensuel (2002=100). Annuel. CANSIM 326-0020. ⁽⁵⁾
Intensité de l'usage per capita	U	L'intensité de l'usage moyen per capita en kilomètres est déduite à partir de la factorisation $V=POP \times (TCC/100) \times U$.

(1) The Kent Group

(2) Institut de la statistique du Québec, Service des statistiques sectorielles et du développement durable.

(3) Base de données *Caractérisation énergétique et des émissions de gaz à effet de serre du parc de véhicules légers immatriculés au Québec pour les années 2003 à 2008*, CDAT.

(4) Régie de l'énergie – produit pétroliers informations utiles <en ligne : http://www.regie-energie.qc.ca/energie/petrole_tarifs.php>

(5) Statistique Canada

Afin d'évaluer la fiabilité des données de Kent, nous avons, en collaboration avec le service de modélisation des systèmes de transport, d'abord effectué un examen détaillé des données et des informations méthodologiques fournies par Kent. Ceci nous amène aux deux constats suivants :

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

- 1) Kent ne semble pas disposer d'une description détaillée et précise de leur méthodologie de collecte de données. De plus, les informations territoriales qui nous ont été fournies ne tenaient aucunement compte des changements provoqués par les fusions ou défusions ou encore les changements de nom des municipalités. Ainsi par exemple, le marché de Gatineau est toujours référencé par Kent comme le marché de Hull;
- 2) Dans certains marchés, il semblerait que Kent ne collecte des données que sur les stations localisées au centre-ville (ex. Gaspé, Rimouski, Alma).⁵⁰ Kent nous a aussi suggéré qu'il peut exister des cas de stations qui sont incluses dans un marché même si elles sont en dehors des limites territoriales.

Nous avons ensuite procédé à des comparaisons entre les données de Kent et d'autres sources de données. Plus spécifiquement, nous disposons des sources alternatives suivantes :

- 1) Le recensement des essenceries en opération au 31 décembre 2010 effectué par la Régie de l'énergie. Cette base de données fournit par municipalité ou groupe de municipalités dans certains cas, le nombre d'essenceries ainsi que le volume total d'essence vendue en 2010;
- 2) Les ventes nettes au détail d'essence par trimestre pour l'ensemble de la province telles que rapportées par Statistique Canada (tableau 134-0004);
- 3) Le montant des taxes sur l'essence reçu par l'AMT (voir Budget d'exploitation 2010 de l'AMT). En divisant ce montant par le taux de la taxe, il est possible d'en déduire la quantité totale d'essence vendue annuellement sur le territoire de l'AMT;
- 4) L'évaluation des émissions de gaz à effet de serre produites annuellement par les VL au Québec effectuée à partir de la base de données complète sur la consommation d'énergie de l'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada.

⁵⁰Nous avons comparé, pour certains marchés, la localisation des stations d'essence selon Google Earth avec celle de Kent.

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

Le tableau A2-2 contraste, à un niveau agrégé, la valeur de certains indicateurs clefs suivant les sources.

Tableau A2- 2: Comparaison d'indicateurs clefs au niveau agrégé

Indicateur	Autres sources*	Kent	%
Population (2008)	7 750 735 (1)	5 873 260	75,7
Stations	2 924 (2)	1 675	57,3
Stations par 5000 habitants	1,9	1,42	
Volume des ventes (2008) (millions de litres)	7 895,9 (3)	5 162,4	65,3
Volume per capita -2008 (litres/an)	1018	878	
GES (Mt)	18,2 (4)	12,1	66,4

(1) ISQ, (2) Régie de l'énergie, (3) Statistique Canada, (4) RNCan

Pour évaluer les différences qui apparaissent dans le tableau A2-2, il est important de rappeler que les données de Kent couvrent la plupart des villes importantes de la province. Conséquemment, les marchés non couverts par Kent se retrouvent essentiellement dans des milieux où la densité de population est faible. Ceci peut donc expliquer pourquoi les données de Kent couvrent plus de 75% de la population avec seulement environ 60% des stations d'essence. On observe en effet une densité de stations plus forte en milieu rural (voir le recensement des essenceries). Ceci peut aussi expliquer en partie la différence de 16% dans la consommation d'essence per capita. Précisons toutefois que la consommation d'essence dans les territoires non inclus par Kent devrait être de 60% plus élevée pour expliquer cette différence.⁵¹

Le tableau A2-3 compare le nombre d'essenceries et le volume de ventes d'essence par marché selon Kent (valeurs pour 2009) et selon la Régie (2010). Les pourcentages de variation de ces deux mesures servent ensuite à évaluer la fiabilité des données suivant une classification de a à d.⁵² Précisons que

⁵¹Cette différence semble raisonnable puisqu'on observe une différence de plus de 80% dans la consommation de carburant per capita dans les marchés urbains et ruraux inclus dans la base de données de Kent.

⁵²Si l'écart dans le nombre de stations et le volume des ventes est inférieur à 10%, l'observation est classée a. Si l'écart d'une des deux mesures dépasse 10% mais que les deux sont

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

pour certains marchés, la Régie ne publie les chiffres que pour des regroupements de municipalités.⁵³ Dans ces cas, on s'attend effectivement à des différences entre les deux sources de données. Environ 45% des marchés sont classés a ou b alors qu'environ 21% sont classés d (excluant les d*). Les différences les plus marquées comme par exemple pour Rimouski s'expliquent par le fait que Kent n'inclut que les stations au centre-ville.

Tableau A2- 3: Comparaison du nombre de stations et du volume des ventes (millions de litres) selon Kent (2009) et la régie (2010)

Marché	Nbr. Kent	Nbr. Régie	Diff. (%)	Vol. Kent	Vol. Régie	Diff. (%)	Qualité
Alma	17	22	-22,7	30	40	-25,0	c
Amos	7	10	-30,0	16	22	-27,3	c
Baie-Comeau	18	18	0,0	30	33	-9,1	a
Berthierville	8	8	0,0	24	23	4,3	a
Chandler	3	8	-62,5	5	11	-54,5	d*
Dolbeau-Mistassini	10	9	11,1	16	16	0,0	b
Drummondville	28	35	-20,0	76	101	-24,8	c
Forestville	7	6	16,7	10	9	11,1	b*
Gaspé	6	n/d	n/d	11	n/d	n/d	n/d
Gatineau	59	56	5,4	224	263,6	-15,0	b
Granby	24	24	0,0	62	59	5,1	a
Joliette	17	14	21,4	48	36,9	30,1	d
L'Assomption	7	15	-53,3	21	34	-38,2	d*
Lachute	10	9	11,1	24	25	-4,0	b*
Laval	83	76	9,2	336	333	0,9	a
Magog	11	15	-26,6	35	46,7	-24,8	c
Mascouche	13	17	-23,5	46	49	-6,1	c
Montmagny	7	7	0,0	19	20	-5,0	a
Montréal Centre	201	202	1,0	783	848	-7,7	a
Montréal Est	101	77	33,7	354	281	26,2	d
Montréal Ouest	77	72	9,7	294	294,9	-0,2	a
Montréal Rive Nord	83	101	-16,8	350	364,4	-3,8	b
Montréal Rive Sud	193	193	0,0	674	689,7	-2,2	a
Québec	239	250	-4,4	670	745	-10,1	b
Rimouski	16	24	-33,3	36	56	-35,7	d
Rivière-du-Loup	14	14	0,0	28	32	-12,5	b

inférieurs ou égaux à 20%, le marché est classé b. Pour des écarts inférieurs ou égaux à 30%, le marché est classé c et d autrement.

⁵³Par exemple, Chandler est regroupé avec Port-Daniel-Gascons.

INVENTAIRE ET PROSPECTIVES DES ÉMISSIONS DE GES DANS LE SECTEUR DU TRANSPORT DES
PERSONNES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE ET MUNICIPALE

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

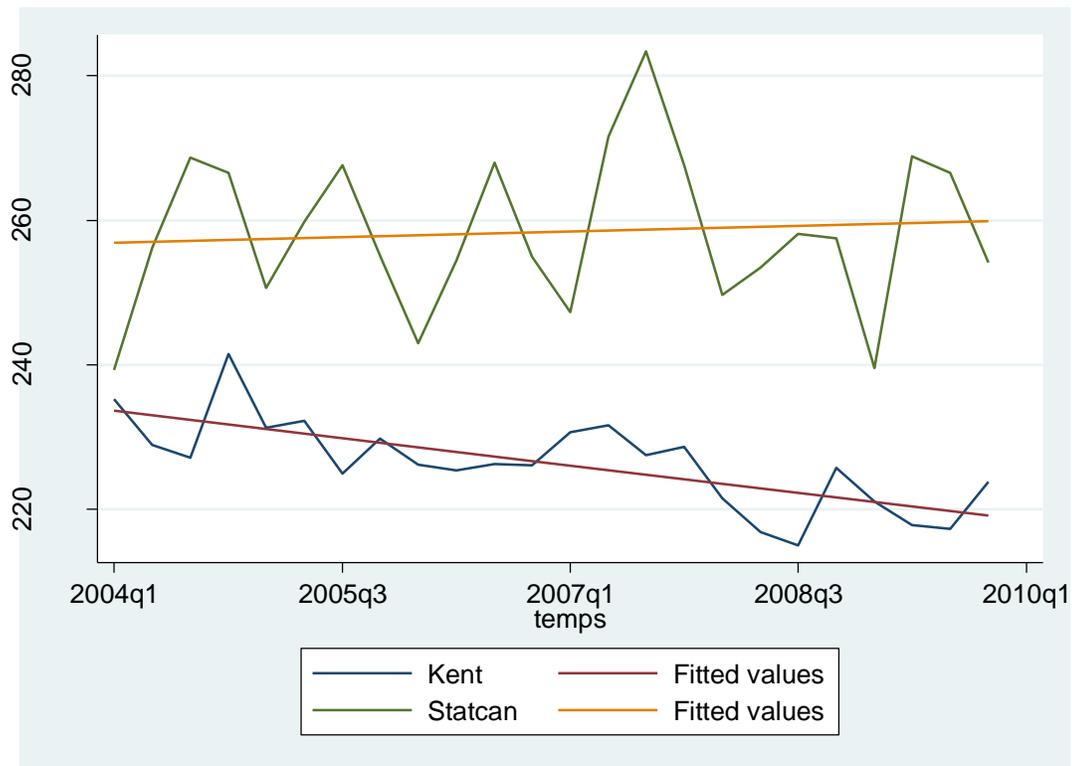
Roberval	4	7	-42,9	11	21	-47,6	d*
Rouyn-Noranda	10	22	-54,5	33	44	-25,0	d
Saguenay	72	95	-24,2	127	170	-25,3	c
Saint-Félicien	7	9	-22,2	13	16	-18,8	c*
Saint-Georges	10	15	-33,3	30	38	-21,1	d
Saint-Hyacinthe	22	23	-4,3	68	86	-20,9	c
Saint-Jean-sur-Richelieu	23	34	-32,4	56	99	-43,4	d*
Saint-Jérôme	20	25	-20,0	107	136	-21,3	c*
Salaberry-de-Valleyfield	12	14	-14,3	44	50	-12,0	b
Sept-Îles	12	14	-14,3	27	33	-18,2	b
Shawinigan	13	25	-48,0	37	52	-28,8	d
Sherbrooke	56	57	-1,8	150	147	2,0	a
Sorel-Tracy	14	14	0,0	42	46	-8,7	a
Thetford Mines	11	19	-42,1	19	26	-26,9	d
Trois-Rivières	43	50	-14,0	139	158	-12,0	b
Val-d'Or	10	18	-44,4	33	45	-26,7	d
Victoriaville	19	19	0,0	52	59	-11,9	b

* Les chiffres de la Régie regroupent plusieurs municipalités

Validation des tendances

Il est également important d'essayer de valider les tendances observées dans les données de Kent sur la période 2004-2009 car celles-ci jouent un rôle majeur dans les projections. Nous effectuons d'abord une comparaison des tendances dans les ventes per capita pour l'ensemble des marchés de Kent avec les ventes au détail per capita pour l'ensemble de la province selon les données de Statistique Canada (StatCan). Le graphique A2-2 illustre ces deux séries trimestrielles avec les tendances correspondantes.

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE



Graphique A2-1: Évolution des ventes totales d'essence de 2004 à 2009 selon Kent et StatCan avec les tendances correspondantes

On note deux différences importantes :

- 1) Sur les données de Kent, on observe une tendance à la baisse sur la période à un taux de $-0,27\%$ par trimestre. Par contre, les données de ventes au détail de StatCan indiquent une légère tendance positive à $+0,05\%$ par trimestre – celle-ci n'est cependant pas significative;
- 2) La série de Kent est beaucoup moins volatile. Les effets saisonniers semblent en effet nettement plus marqués sur la série de StatCan.

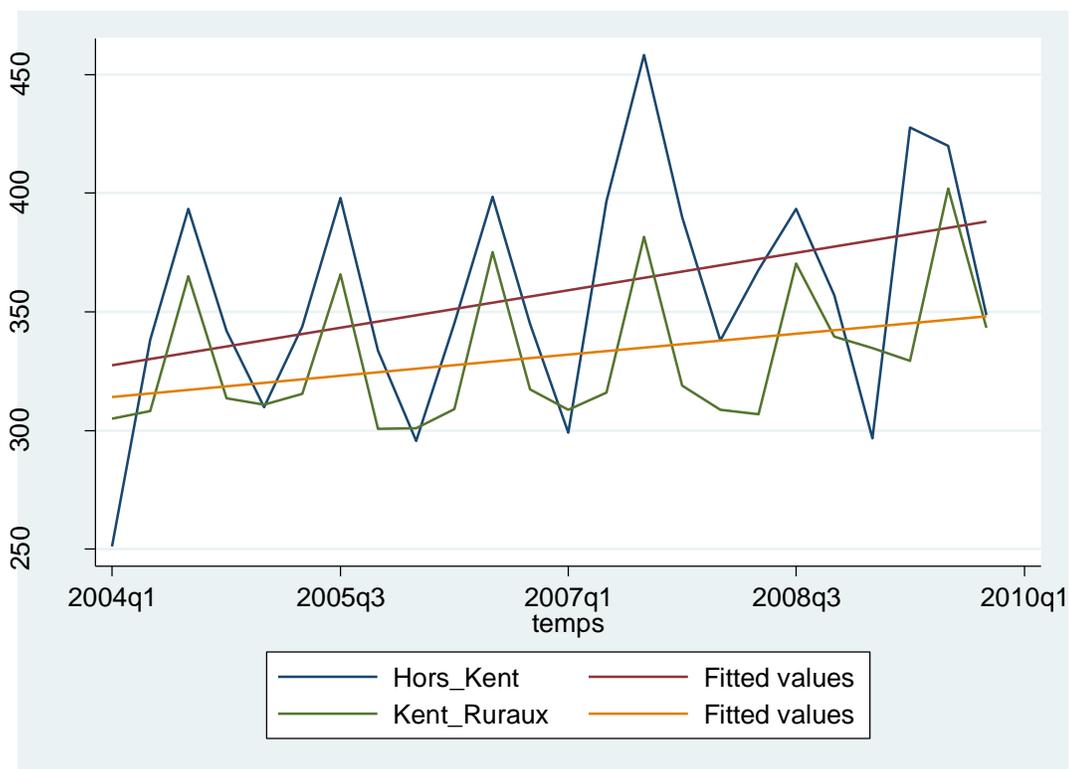
Afin de juger si la différence de couverture territoriale pourrait expliquer ces différences, nous calculons les ventes per capita qu'il serait nécessaire d'avoir en dehors des marchés couverts par Kent afin que les données de Kent et de StatCan soit cohérentes (référé comme « Hors Kent »). Afin d'évaluer la cohérence de cette série résiduelle, on la compare avec les ventes per capita

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

dans les marchés ruraux de Kent (référé comme Kent Ruraux). Ces marchés sont en effet les plus comparables avec les marchés Hors Kent. Le tableau A2-4 présente quelques statistiques descriptives de ces différentes séries. La Graphique A2-2 compare les tendances pour la série Hors Kent et Kent Ruraux.

Tableau A2- 4: Statistiques descriptives des ventes trimestrielles per capita par série

Série	Moyenne	Écart-type	Min.	Max.
Kent	226	6,1	214	241
StatCan	258	10,8	239	283
Hors Kent	357	48,5	251	458
Kent Ruraux	331	29,7	300	402



Graphique A2-2: Évolution des ventes trimestrielles d'essence per capita dans les marchés Hors Kent et les marchés ruraux de Kent (en litres)

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

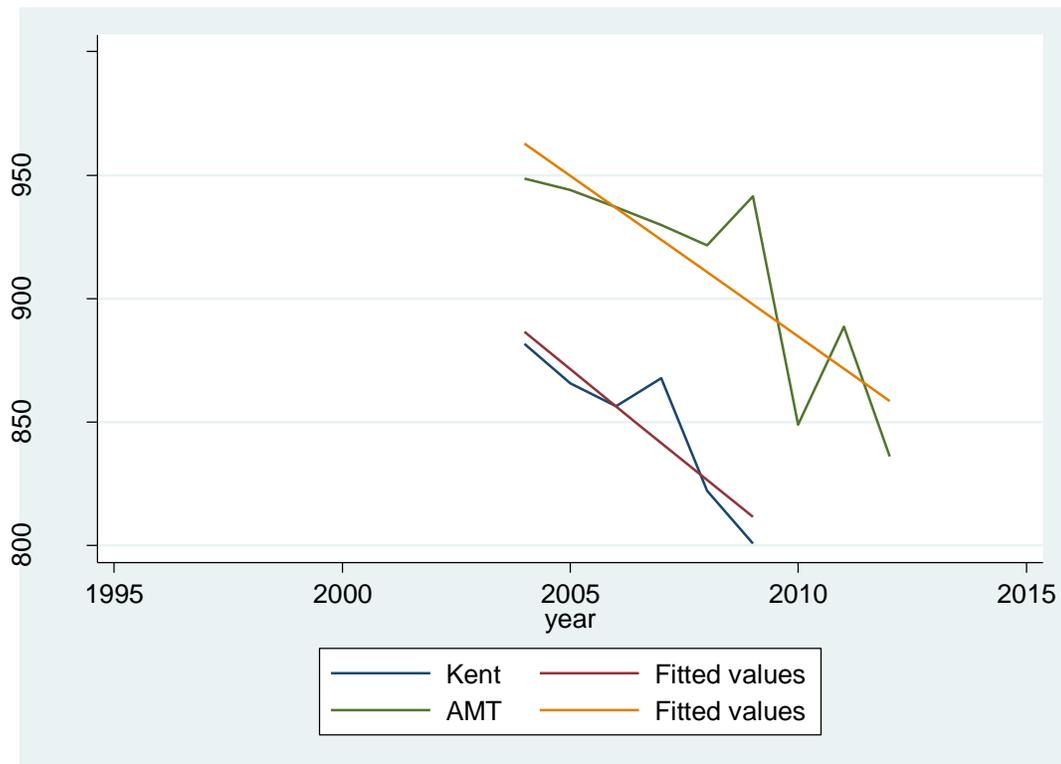
Sur base de la Graphique A2-2, on note que les marchés ruraux de Kent ont effectivement un profil assez proche de ce que l'on devrait observer dans les zones rurales Hors Kent pour que les données de Kent et de StatCan soient cohérentes. Les tendances sont assez proches et les effets saisonniers sont effectivement nettement plus marqués.

Pour la région de Montréal, il est aussi possible de valider la tendance observée dans les données de Kent avec celle présente dans les données de l'AMT. Pour s'assurer d'avoir des territoires comparables, nous regroupons ensemble les marchés de Kent suivants : Montréal Centre, Est, Ouest, Rive Nord, Rive Sud, Laval, Saint Jérôme, L'Assomption et Mascouche. Selon le tableau A2-5, les ventes d'essence per capita selon les données de l'AMT sont de 937 litres par année comparativement à 849 litres selon Kent, soit une différence de 10%. La Graphique A2-3 illustre l'évolution dans le temps des deux séries. Il appert que si l'on se restreint strictement à la période 2004-2009, la tendance à la baisse dans les données de l'AMT est nettement moindre (-0,3% par année, non statistiquement significatif, relativement à -1,7% pour Kent). Par contre, si on utilise la période 2003 à 2012 pour l'AMT, on trouve des tendances plus comparables (-1,4%). Il est difficile d'expliquer ce qui pourrait créer un décalage entre les deux séries. On note par ailleurs un décalage entre les séries comme si les données de l'AMT reflétaient les changements observés sur la série de Kent mais avec un décalage dans le temps.

Tableau A2- 5: Ventes annuelles d'essence per capita dans la région de Montréal selon les données de Kent et de l'AMT (en litres)

Source	Moyenne (2004-2009)	Min	Max
Kent	849	800	881
AMT	937	921	948

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE



Graphique A2-3: Comparaison des tendances dans les ventes annuelles d'essence per capita dans la région de Montréal selon les données de Kent et de l'AMT

Ces différentes validations nous poussent à faire les constats suivants :

- 1) Les unités territoriales utilisées par Kent sont très imprécises et ne semblent pas systématiquement être mises à jour;
- 2) Il est clair que pour certains marchés, les données de Kent ne recensent pas toutes les stations, ce qui risque de biaiser à la baisse les statistiques de vente per capita;
- 3) L'analyse de la tendance pour l'ensemble des marchés de Kent et pour la région de Montréal ne semble pas incompatible avec les indications fournies par d'autres sources.

En conclusion, il est important d'être prudent dans l'analyse des résultats, particulièrement lors de la comparaison des bilans régionaux.

Annexe 3: Résultats des simulations par marché

Tableau A3-1: Variation en % de 2009 à 2021 de la population et du taux de consommation moyen des véhicules légers - scénario de référence et technologique

Marché	POP	TCC Réf.	TCC Tech.	Marché (suite)	POP	TCC Réf.	TCC Tech.
Alma	-3,1	-18	-25,1	Montréal Rive Sud	11,1	-19,8	-28,4
Amos	0,7	-19	-27,2	Québec	7,6	-20,4	-29,7
Baie-Comeau	-4	-18	-25,2	Rimouski	-2,1	-20,4	-29,6
Berthierville	26,3	-17	-22,6	Rivière-du-Loup	-2	-19,8	-28,5
Chandler	3,1	-15	-19,6	Roberval	-0,5	-18,4	-26
Dolbeau-Mistassini	-1,3	-19	-27,7	Rouyn-Noranda	-1,8	-18,5	-26,2
Drummondville	5,8	-18	-25,1	Saguenay	-3,1	-17,6	-24,5
Forestville	-0,2	-19	-25,5	Saint-Félicien	-3,1	-18,2	-25,5
Gaspé	-0,8	-16	-21,7	Saint-Georges	5	-16,9	-23,2
Gatineau	12,6	-20	-28,8	Saint-Hyacinthe	13,9	-18,8	-26,6
Granby	12,8	-18	-25,2	Saint-Jean-sur-Richelieu	11,2	-18,6	-26,2
Joliette	25,1	-19	-27,3	Saint-Jérôme	18,1	-17,9	-24,6
L'Assomption	14	-18	-24,8	Salaberry-de-Valleyfield	14,7	-17,8	-24,6
Lachute	22,7	-19	-26,5	Sept-Îles	-8,1	-17	-23,1
Laval	13,9	-20	-27,8	Shawinigan	6,4	-18,1	-25,3
Magog	4,2	-19	-26,8	Sherbrooke	5	-19,5	-28,2
Mascouche	11,2	-18	-24,7	Sorel-Tracy	15,1	-17,6	-24,2
Montmagny	8,4	-16	-22	Thetford Mines	8,9	-18	-25,3
Montréal Centre	12,8	-23	-33,5	Trois-Rivières	5,8	-17,7	-24,6
Montréal Est	11,6	-19	-26,3	Val-d'Or	-2,4	-20	-29,1
Montréal Ouest	9,1	-23	-34,1	Victoriaville	5	-20,3	-29,5
Montréal Rive Nord	8,7	-19	-26,4				

INVENTAIRE ET PROSPECTIVES DES ÉMISSIONS DE GES DANS LE SECTEUR DU TRANSPORT DES
PERSONNES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE ET MUNICIPALE

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

*Tableau A3-2: Résultats des simulations scénario de référence. Variation en % de
2009 à 2021*

Marché	V	POP	TCC	U	Pkm	REV	Tendance	GES
Baie-Comeau	-13,9	-4,4	-19,6	10,1	-1,6	11,7	0	-14,1
Berthierville	14,3	20,6	-13,1	6,9	-1,5	8,4	0	14
Chandler	-4,7	4,7	-22,7	13,3	-2,9	16,2	0	-4,9
Dolbeau-Mistassini	-13,4	-1,5	-21,8	9,9	-2	11,9	0	-13,6
Forestville	-10,9	-0,2	-21,7	11	-1,5	12,5	0	-11,1
Gaspé	-9,3	-0,9	-19,1	10,7	-1,8	12,5	0	-9,4
Montmagny	-1,4	-14,7	28,7	-15,4	3,3	-18,7	0	-1,7
Roberval	-11,8	-0,6	-21,3	10,1	-2,3	12,4	0	-12
Saint-Félicien	-13,9	-3,4	-19,9	9,4	-2,3	11,7	0	-14,2
Total marchés ruraux	-6,4	0,6	-14,2	7,2	-1,4	8,6	0	-6,7
Alma	-16,9	-3,2	-18,4	4,7	-0,6	5,3	0	-17
Amos	-14,7	0,8	-20,6	5,2	-0,6	5,8	0	-14,8
Drummondville	-9,3	7,1	-22	5,6	-0,7	6,3	0	-9,6
Granby	-3,2	81,9	-115,8	30,7	-3,3	34	0	-3,2
Joliette	6	13,9	-10,7	2,7	-0,2	2,9	0	5,7
L'Assomption	-1,7	-23,8	30,1	-8	0,9	-8,9	0	-1,9
Lachute	4,3	11,5	-9,6	2,4	-0,3	2,7	0	4
Magog	-11,4	4,8	-21,8	5,5	-0,6	6,1	0	-11,6
Mascouche	-4,1	25,5	-40,3	10,7	-1,1	11,8	0	-4,2
Rimouski	-18,1	-2,2	-21,1	5,2	-0,3	5,5	0	-18,2
Rivière-du-Loup	-17,5	-2,1	-20,6	5,2	-0,3	5,5	0	-17,6
Rouyn-Noranda	-16,2	-1,9	-19,2	4,9	-0,5	5,4	0	-16,3
Saint-Georges	-8,6	6	-20,2	5,6	-0,7	6,3	0	-8,7
Saint-Hyacinthe	-3	13,9	-18,8	4,9	-0,4	5,3	0	-3,2
Saint-Jean-sur-Richelieu	-5,1	22	-36,5	9,4	-1	10,4	0	-5,3
Saint-Jérôme	1,5	5,5	-5,5	1,4	-0,2	1,6	0	1,3
Salaberry-de-Valleyfield	-1,3	-11,2	13,6	-3,7	0,4	-4,1	0	-1,4
Sept-Îles	-20,1	-8	-16,8	4,8	-0,5	5,3	0	-20,3
Shawinigan	-8,7	8	-22,5	5,8	-0,8	6,6	0	-8,9
Sorel-Tracy	-0,6	-3,9	4,6	-1,3	0,1	-1,4	0	-0,8
Thetford Mines	-6,4	13,2	-26,8	7,1	-0,8	7,9	0	-6,6
Val-d'Or	-18,2	-2,5	-20,7	5	-0,4	5,4	0	-18,4
Victoriaville	-12,3	5,9	-23,8	5,6	-0,6	6,2	0	-12,4
Total marchés intermédiaires	-6,7	9,9	-22,4	5,8	-0,6	6,4	0	-6,9
Gatineau	-50,2	12,2	-19,2	-43,2	-0,7	9,2	-51,8	-50,2
Laval	-28	14,4	-20,2	-22,2	-0,4	11,7	-33,5	-28

INVENTAIRE ET PROSPECTIVES DES ÉMISSIONS DE GES DANS LE SECTEUR DU TRANSPORT DES
PERSONNES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE ET MUNICIPALE

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

Montréal Centre	-32,9	12,8	-22,5	-23,2	-0,1	11,2	-34,3	-33
Montréal Est	-29,1	11,7	-18,7	-22,1	-0,4	11,4	-33,1	-29,2
Montréal Ouest	-38,7	8,6	-21,7	-25,6	0	10,3	-35,9	-38,8
Montréal Rive Nord	-13,4	9,6	-20,8	-2,2	-0,5	13,3	-15	-13,4
Montréal Rive Sud	-31,1	11	-19,7	-22,5	-0,4	11,2	-33,3	-31,2
Québec	-27,7	7,4	-19,9	-15,2	-0,3	11,4	-26,4	-27,8
Saguenay	-22,3	-3	-16,8	-2,5	-0,8	11,8	-13,4	-22,4
Sherbrooke	-24	4,9	-19	-9,9	-0,6	11,8	-21,1	-24,1
Trois-Rivières	-20,5	5,8	-17,6	-8,7	-0,8	12,1	-20,1	-20,6
Total marchés urbains	-29,6	10,3	-20,3	-19,6	-0,2	10,5	-29,9	-29,7
Total tous les marchés	-24,8	9,9	-20,1	-14,5	-0,3	8,8	-23	-24,9

*Tableau A3-3: Résultats des simulations scénario technologique et tarification élevée
du carbone par marché. Variation en % de 2009 à 2021*

Marché	Scénario technologique			Scénario tarification carbone		
	V	U	GES	V	U	GES
Baie-Comeau	-20,2	12,4	-20,4	-20,4	1	-20,5
Berthierville	7,7	5,7	7,5	5,7	0,3	5,5
Chandler	-8,9	13,3	-9,1	-11,8	0,6	-12
Dolbeau-Mistassini	-20,8	12,7	-21	-19,9	0,7	-20,1
Forestville	-17,3	13,4	-17,4	-17,6	1,2	-17,8
Gaspé	-14,2	12,2	-14,3	-16,1	0,9	-16,2
Montmagny	-6,9	19,9	-7,2	-8,8	0,7	-9,1
Roberval	-18,6	12,4	-18,8	-18,5	0,5	-18,7
Saint-Félicien	-20,3	11,6	-20,5	-20,4	0,4	-20,6
Total MR	-12,7	10,4	-12,9	-13,5	0,6	-13,7
Alma	-23,6	5,3	-23,7	-18,9	2	-19
Amos	-22,7	5,8	-22,9	-16,8	2,3	-17
Drummondville	-16,6	6,1	-16,9	-11,5	2,3	-11,8
Granby	-11,1	8,3	-11,1	-5,6	4	-5,6
Joliette	-4	-6,7	-4,2	3,3	0,9	3,1
L'Assomption	-9,8	9,4	-9,9	-4,2	5,5	-4,4
Lachute	-5	-17,7	-5,2	1,7	0,6	1,5
Magog	-19,6	6,2	-19,9	-13,6	2,4	-13,8
Mascouche	-11,8	7,6	-11,9	-6,5	3,1	-6,6
Rimouski	-27	6	-27,2	-20,1	2,4	-20,3

INVENTAIRE ET PROSPECTIVES DES ÉMISSIONS DE GES DANS LE SECTEUR DU TRANSPORT DES
PERSONNES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE ET MUNICIPALE

PARTIE 2 : ANALYSE AGRÉGÉE

Rivière-du-Loup	-25,9	6	-26,1	-19,5	2,4	-19,7
Rouyn-Noranda	-23,7	5,5	-23,8	-18,3	2,1	-18,4
Saint-Georges	-15,1	6	-15,2	-10,9	2,3	-11
Saint-Hyacinthe	-11,7	5,5	-12	-5,4	2,3	-5,7
Saint-Jean-sur-Richelieu	-13,4	7,5	-13,6	-7,5	3,2	-7,6
Saint-Jérôme	-6,4	25,6	-6,5	-1	-0,9	-1,2
Salaberry-de-Valleyfield	-8,9	10,3	-9	-3,7	9	-3,8
Sept-Îles	-25,6	5,1	-25,8	-22,1	2,1	-22,3
Shawinigan	-16,3	6,2	-16,5	-11	2,4	-11,2
Sorel-Tracy	-8,2	11,4	-8,4	-3,1	22,7	-3,3
Thetford Mines	-14,3	7	-14,4	-8,7	2,8	-8,9
Val-d'Or	-26,9	5,8	-27,1	-20,2	2,2	-20,4
Victoriaville	-21,8	6,3	-22	-14,5	2,4	-14,6
Total MI	-14,7	6,2	-14,9	-9	2,4	-9,2
Gatineau	-55,3	-40,5	-55,3	-51,8	-44,8	-51,8
Laval	-34,9	-20,9	-34,9	-30,3	-24,6	-30,4
Montréal Centre	-41,7	-21,6	-41,8	-35,1	-25,5	-35,2
Montréal Est	-35,2	-20,8	-35,4	-31,4	-24,4	-31,6
Montréal Ouest	-47	-24,1	-47	-40,7	-27,7	-40,8
Montréal Rive Nord	-20,9	-1,4	-20,9	-16,3	-5,5	-16,2
Montréal Rive Sud	-38	-21,2	-38,1	-33,3	-24,7	-33,4
Québec	-35,5	-14,2	-35,5	-30,1	-17,7	-30,1
Saguenay	-28,3	-1,9	-28,4	-24,8	-5,4	-24,9
Sherbrooke	-31,6	-9	-31,7	-26,5	-12,5	-26,6
Trois-Rivières	-26,7	-8	-26,8	-23,1	-11,4	-23,2
Total MU	-37	-18,3	-37,1	-31,9	-22	-32
Total	-32,2	-13,5	-32,3	-27,2	-17,1	-27,3

Références bibliographiques

ARCHIBALD Robert et Robert GILLINGHAM. « An Analysis of the short-run consumer demand for gasoline using household survey data », *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 62, No. 4, 622-628.

BALTAGI, Badi H. et James M. GRIFFIN. « Gasoline demand in the OECD: An Application of Pooling and Testing Procedures », *European Economic Review*, Vol. 22, 1983, p. 117-137.

BALTAGI, Badi H. et James M. GRIFFIN. « Pooled estimators vs. their heterogeneous counterparts in the context of dynamic demand for gasoline », *Journal of Econometrics*, Vol. 77, Issue 2, April 1997, p. 303-327.

BARLA, Philippe, Bernard LAMONDE, Luis F. MIRANDA-MORENO et Nathalie BOUCHER. « Traveled distance, stock and fuel efficiency of private vehicles in Canada : price elasticities and rebound effect », *Transportation*, Vol. 36, Issue 4, July 2009, p. 389-402.

BARLA, Philippe et Nathalie BOUCHER. État d'avancement du projet visant la caractérisation énergétique et des émissions de gaz à effet de serre du parc de véhicules légers immatriculés au Québec pour les années 2006, 2007 et 2008. Rapport CDAT 10-11, novembre 2010.

BARLA, Philippe. Caractérisation énergétique et des émissions de gaz à effet de serre du parc de véhicules légers immatriculés au Québec pour les années 2003 à 2008 – rapport final. Rapport CDAT 11-01, mars 2011.

BARLA, Philippe, Luis F. MIRANDA-MORENO et Martin LEE_GOSSELIN. « Urban travel CO2 emissions and land use: A case study for Quebec City ». *Transportation Research Part D* 16, 2011, p. 423-428.

BASSO, Leonardo J. et Tae Hoon OUM. « Automobile Fuel Demand: A Critical Assessment of Empirical Methodologies ». *Transport Reviews*, Vol. 27, No. 4, July 2007, p. 449-484.

BENTO, Antonio M., Lawrence H. GOULDER, Mark R. JACOBSEN et Roger H. VON HAEFEN. « Distributional and Efficiency Impacts of Increased US Gasoline Taxes », *American Economic Review*, Vol. 99, No. 3, June 2009, p. 1-37.

BRONS, Martijn, Peter NIJKAMP, Eric PELS et Piet RIETVELD. « A meta-analysis of the price elasticity of gasoline demand. A SUR approach », *Energy Economics*, Vol. 30, Issue 5, September 2008, p. 2105-2122.

DAHL, Carol A. « Do Gasoline Demand Elasticities Vary? », *Land Economics*, Vol. 58, No. 3, August 1982, p. 373-382.

GOODWIN, Phil, Joyce DARGAY et Mark HANLY. « Elasticities of Road Traffic and Fuel Consumption with Respect to Price and Income: A review », *Transport Reviews*, Vol. 24, No. 3, May 2004, p. 275-292.

GOODWIN, Phil. « Three views on “peak car” », *World Transport Policy and Practice*, Vol. 17, janvier 2012.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, Décret 1269-2009, 2 décembre 2009, « Émissions de gaz à effet de serre des véhicules automobiles », *Gazette officielle du Québec*, 30 décembre 2009, 141^e année, No. 52, p. 6177-6182.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, « Plan d'action 2011-2020 sur les véhicules électriques », Avril 2011, 44 pages.

HAUSMAN J. et W. NEWHEY. « Nonparametric estimation of exact consumer surplus and deadweight loss », *Econometrica*, 63, 1995, p. 1445-1476.

HUGUES, Jonathan E., Christopher R. KNITTEL et Daniel SPERLING. « Evidence of a Shift in the Short-Run Price Elasticity of Gasoline Demand », *The Energy Journal*, Vol. 29, No. 1, January 2008, p. 113-134.

INSTITUT DE LA STATISTIQUE DU QUÉBEC. « Perspectives démographiques du Québec et des régions, 2006-2056 », Édition Juillet 2009, 133 pages.

JOHANSSON Olof et Lee SCHIPPER. « Measuring the long-run fuel demand of cars », *Journal of Transport Economics and Policy*, 1997, p. 277-292.

KAYSER, Hilke A. « Gasoline demand and car choice: estimating gasoline demand using household information », *Energy Economics*, Vol. 22, Issue 3, 2000, p. 331-348.

KNITTEL, Christopher R. et Ryan SANDLER. « The Welfare Impact of Indirect Pigouvian Taxation: Evidence from Transportation », National Bureau of Economic Research (NBER) Working Paper No. 18849, February 2013, 76 pages.

MAYO John W. et John E. MATHIS. « The effectiveness of mandatory fuel efficiency standards in reducing the demand for gasoline », *Applied Economics*, 20, 1988, p. 211-219.

MILLARD-BALL Adam et Lee SCHIPPER. « Are we reaching peak travel? Trends in Passenger transport in eight industrialized countries », *Transport Reviews*, Vol. 31, No. 3, p. 357-378.

NICOL C.J. « Elasticities of demand for gasoline in Canada and the United States », *Energy Economics* 25, 2003, p. 201-214.

SMALL, Kenneth et Kurt VAN DENDER. « Fuel Efficiency and Motor Vehicle Travel: The Declining Rebound Effect », *The Energy Journal*, Vol. 28, No. 1, 2007, p. 25-52.

WADUD, Zia, Daniel J. GRAHAM et Robert B. NOLAND. « Modelling fuel demand for different socio-economic groups », *Applied Energy*, Vol. 86, Issue 12, 2009, p. 2740-2749.

WADUD, Zia, Daniel J. GRAHAM et Robert B. NOLAND. « Gasoline Demand with heterogeneity in household responses », *The Energy Journal*, Vol. 31, No. 1, 2010, p.47-74.

WADUD, Zia, Robert B. NOLAND et Daniel J. GRAHAM. « A semiparametric model of household gasoline demand », *Energy Economics*, Vol. 32, Issue 1, January 2010, p. 93-101.

WEST, Sarah E. « Distributional effects of alternative vehicle pollution control policies », *Journal of Public Economics*, Vol. 88, Issue 3-4, March 2004, p. 735-757.

WEST, Sarah E. et Robertson C. Williams III. « Estimates from a consumer demand system: implications for the incidence of environmental taxes », *Journal of Environmental Economics and Management*, 47, 2004, p. 535-558.

YATCHEW, Adonis et Joungyeo Angela NO. « Household Gasoline Demand in Canada », *Econometrica*, Vol. 69, No. 6, November 2001, p. 1697-1709.