

Centre de données et  
d'analyse sur les transports



## **MOBILITÉ ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES: BILAN ET ANALYSE DES DÉTERMINANTS DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE ASSOCIÉES AUX DÉPLACEMENTS DES MÉNAGES DE LA VILLE DE QUÉBEC**

Projet R637.1

Philippe Barla  
CDAT, Département d'économique  
Université Laval  
Tél: (418) 656-7707  
Courriel: [philippe.barla@ecn.ulaval.ca](mailto:philippe.barla@ecn.ulaval.ca)

Luis F. Miranda-Moreno  
Département de Génie Civil  
Université McGill  
Tél: (514) 398-6589  
Courriel: [luis-miranda-moreno@mcgill.ca](mailto:luis-miranda-moreno@mcgill.ca)

Nikolas Savard-Duquet  
CDAT, Département d'économique  
Université Laval  
Tél: (418) 656-5122  
Courriel: [nikolas.savard-duquet.1@ulaval.ca](mailto:nikolas.savard-duquet.1@ulaval.ca)

Martin Lee-Gosselin  
CRAD, Université Laval  
Tél : (418) 656-2131 poste 2578  
Courriel : [martin.lee-gosselin@crad.ulaval.ca](mailto:martin.lee-gosselin@crad.ulaval.ca)

Réalisé pour le compte du Ministère des Transports du Québec et de  
l'Institut Environnement, Développement et Société

Avril 2010

## **REMERCIEMENTS**

La présente étude a été réalisée avec le soutien financier du ministère des Transports du Québec et de l'Institut Environnement Développement et Société de l'Université Laval. Nous tenons à remercier André Babin, Alain Bolduc et Pierre Tremblay du MTQ pour leur soutien technique et leurs commentaires lors de cette analyse. Nous remercions également pour leur aide Pierre Rondier, Louis Alexandre, Hugo Leblanc, Kevin Manaugh et Nathalie Boucher. Évidemment, les opinions exprimées dans ce rapport n'engagent la responsabilité que de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions du ministère des Transports du Québec ou de l'Institut Environnement, Développement et Société.

## RÉSUMÉ

À partir d'une enquête panel sur les activités et les déplacements des ménages menée entre 2002 et 2006 auprès d'un échantillon d'environ 250 ménages résidant dans la région de Québec, cette recherche vise à :

- 1) Établir à un niveau désagrégé un bilan des émissions de gaz à effet de serre (GES) produites par la mobilité des ménages en incluant tous les modes de transport.
- 2) Estimer un modèle statistique afin de mesurer l'impact de facteurs susceptibles d'expliquer des différences dans le niveau des émissions des répondants. Nous testons l'impact des caractéristiques socio-économiques et d'indicateurs de la forme urbaine et de l'offre de transport en commun.

Nous estimons que les résidents de Québec produisaient en moyenne 6,7 kg de CO<sub>2</sub>e par jour lors de leurs déplacements courants. Le niveau d'émissions varie cependant considérablement entre les individus. Notre analyse statistique met en évidence le rôle majeur que jouent les caractéristiques socio-économiques pour expliquer ces variations. Plus spécifiquement, elle permet de relever les points suivants :

- En moyenne, les personnes sans permis de conduire, celles qui n'occupent pas d'emploi à temps plein et les femmes en général ont un bilan d'émissions nettement plus bas.
- A partir de 50 ans, on note une réduction des émissions de GES liées à la mobilité. Après 65 ans, cette baisse est liée au statut de retraité.
- La composition familiale du ménage joue également un rôle important dans le bilan des émissions. Si la présence d'enfants de moins de 16 ans accroît le niveau des émissions des adultes, on note surtout l'existence d'économies d'échelle non négligeables dans le niveau d'émissions au sein de la famille. Ainsi, un couple produit environ 50% plus d'émissions qu'un célibataire, toutes autres choses étant égales par ailleurs.
- Un revenu élevé est associé à un bilan des émissions plus important. Cet effet n'est cependant pas toujours statistiquement significatif.

Au niveau de l'impact de la forme urbaine et de l'offre de transport en commun, nous montrons que l'effet sur le niveau des émissions est assez limité. Par exemple, nous obtenons qu'un accroissement de 10% de la densité résidentielle dans un quartier réduirait, au mieux, de 2% les émissions liées aux déplacements. Toutefois, comme le tissu urbain peut être très différent entre le centre-ville et la périphérie, cela peut tout de même aboutir à un bilan très différent. Nous montrons par exemple qu'un résident de la périphérie émet en moyenne 74% plus de GES qu'un résident qui a les mêmes caractéristiques mais qui réside au centre-ville. La densité résidentielle moyenne est cependant huit fois plus importante au centre-ville qu'en périphérie.

Nos résultats ont deux implications importantes pour les politiques publiques. Premièrement, les changements dans la structure sociodémographique de la population devraient jouer un rôle déterminant dans l'évolution future des émissions liées au transport des personnes. Deuxièmement, des changements majeurs dans le tissu urbain semblent nécessaires pour réduire de manière marquée les émissions de GES liées au transport urbain. Cela pose donc la question de l'avantage-coût de telles mesures.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>3</b>
<b>1. LE CADRE DE L'ANALYSE.....</b>	<b>4</b>
<b>2. LES DONNÉES .....</b>	<b>7</b>
<b>3. LE BILAN DES ÉMISSIONS DE GES.....</b>	<b>10</b>
<b>4. ANALYSE DESCRIPTIVE .....</b>	<b>13</b>
<b>4.1. Modélisation statistique.....</b>	<b>17</b>
<b>4.2. Analyse de sensibilité.....</b>	<b>27</b>
<b>4.3. Analyse par motif et niveau de planification des déplacements .....</b>	<b>31</b>
<b>5. IMPLICATIONS ET CONCLUSIONS .....</b>	<b>35</b>

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1</b>	<b>Caractéristiques des trois vagues de l'enquête .....</b>	<b>8</b>
<b>Tableau 2</b>	<b>Comparaison de la structure du panel avec le recensement et les enquêtes origine-destination .....</b>	<b>9</b>
<b>Tableau 3</b>	<b>Statistiques descriptives sur les émissions et déplacements (moyenne par répondant et par jour) .....</b>	<b>15</b>
<b>Tableau 4</b>	<b>Distribution des déplacements par motif (%).....</b>	<b>17</b>
<b>Tableau 5</b>	<b>Émission moyenne en fonction des principales caractéristiques socio-économiques du répondant et du ménage .....</b>	<b>18</b>
<b>Tableau 6</b>	<b>Description des facteurs explicatifs .....</b>	<b>20</b>
<b>Tableau 7</b>	<b>Résultats de l'analyse statistique .....</b>	<b>23</b>
<b>Tableau 8</b>	<b>Valeur moyenne et entre parenthèses les écarts-type des indicateurs de FU et de TC suivant la zone de résidence.</b>	<b>25</b>
<b>Tableau 9</b>	<b>Résultats concernant l'impact de la FU et de l'offre de TC lorsque les émissions du TC sont calculées par passager</b>	<b>28</b>
<b>Tableau 10</b>	<b>Résultats du modèle avec effets aléatoires et du modèle Tobit .....</b>	<b>28</b>
<b>Tableau 11</b>	<b>Résultats avec la distance domicile-travail.....</b>	<b>30</b>
<b>Tableau 12</b>	<b>Analyse du bilan des émissions suivant le motif de déplacement .....</b>	<b>33</b>
<b>Tableau 13</b>	<b>Analyse du bilan des émissions suivant le degré de planification .....</b>	<b>34</b>

## INTRODUCTION

La mobilité des personnes et des marchandises constitue une source importante et en croissance des émissions de gaz à effet de serre (GES). Au Québec, les émissions liées aux transports ont crû d'environ 33% au cours de la période 1990-2006 et représentent aujourd'hui environ 40% des émissions totales (Développement durable, Environnement et Parcs, 2008).<sup>1</sup> Dans ce contexte, les politiques visant à limiter l'ampleur des changements climatiques se doivent de réduire, ou à tout le moins, de freiner la croissance des émissions liées à la mobilité. Il s'agit cependant d'un objectif difficile puisque les activités de transport constituent aussi un élément essentiel de la prospérité économique et des liens sociaux. Le développement d'un système de transport durable vise justement à concilier les dimensions économiques, sociales et environnementales de la mobilité.

Afin de développer des politiques de transport durable, il est essentiel de bien comprendre les déterminants de la mobilité et leurs impacts différenciés sur les émissions de GES. Cette recherche s'inscrit dans cette perspective et s'intéresse plus particulièrement à la mobilité des personnes qui représentait au Canada en 2003 plus de 55% des émissions liées aux transports (Ressources Naturelles Canada, 2005). Elle vise à mieux comprendre les déterminants des émissions de GES produites par les ménages dans leurs activités courantes de déplacement. À partir d'une enquête panel sur les activités et les déplacements des ménages menée dans le cadre du programme de recherche du réseau Canadien de recherche PROCESSUS entre 2002 et 2006 auprès d'un échantillon d'environ 250 ménages résidant dans la région de Québec, nous visons deux objectifs principaux :

- 1) Établir à un niveau désagrégé un bilan des émissions de GES produites par la mobilité des ménages en incluant tous les modes de transport.
- 2) Estimer un modèle statistique afin de mesurer l'impact de facteurs susceptibles d'expliquer des différences dans le niveau des émissions des répondants.

À notre connaissance, il s'agit de la première analyse de ce type. De très nombreuses recherches existent sur les déterminants des choix de transport. Par exemple, de nombreux travaux examinent les déterminants du nombre de véhicules détenus par un ménage ou des choix de mode de transport (voir Barla et al. 2009 pour une revue de la littérature). Toutefois, nous n'avons trouvé aucune étude qui examine, à un niveau désagrégé, les déterminants du niveau des émissions liées à la mobilité des ménages.

La suite de ce rapport s'articule en quatre sections. Le cadre de l'analyse et ses liens avec la littérature sont présentés dans la section 1. Les données sont décrites dans la section 2. La méthodologie pour calculer le bilan des

---

<sup>1</sup> La part des transports dans les émissions totales de GES québécoises est particulièrement importante dans la mesure où l'hydroélectricité occupe une place prépondérante dans le bilan énergétique du Québec.

émissions est détaillée dans la section 3 alors que nous effectuons une analyse descriptive du bilan dans la section 4. L'analyse statistique est décrite dans la section 5. Finalement, nous discutons des implications pour les politiques publiques et des conclusions dans la section 6.

## 1. LE CADRE DE L'ANALYSE

Le niveau des émissions de GES liées à la mobilité d'un individu est déterminé par une série de décisions de l'individu comme par exemple le nombre et la distance des déplacements effectués, les choix de modes de transport, le type de véhicules utilisés. En fait, les émissions de GES produites par un répondant  $i$  ( $GES_i$ ) durant une période donnée peuvent se factoriser comme suit:

$$GES_i = \left( \alpha_i^{VP} s_i^{VP} + \alpha^{TC} s_i^{TC} + 0 s_i^{NM} \right) D_i$$

avec :

$\alpha_i^{VP}$  : le facteur d'émissions moyen des véhicules privés utilisés par le répondant;

$s_i^{VP}$  : la part des déplacements effectués en véhicule privé;

$\alpha^{TC}$  : le facteur d'émissions du transport en commun (autobus);

$s_i^{TC}$  : la part des déplacements effectués en transport en commun;

$s_i^{NM}$  : la part des déplacements non-motorisés (marche, vélo);

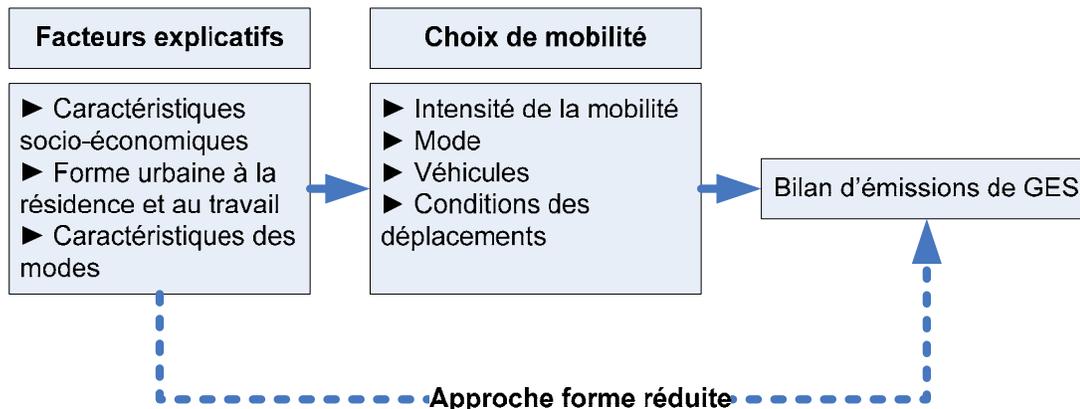
$D_i$  : la distance totale de déplacement.

Cette factorisation met en évidence le rôle: i) de l'intensité de la mobilité de l'individu représentée par la distance parcourue ( $D$ ), ii) des parts modales ( $s$ ) et iii) des facteurs d'émissions propres à chaque mode ( $\alpha$ ). Pour ce dernier aspect, l'individu dispose d'un certain contrôle uniquement sur le facteur d'émissions des véhicules privés. En effet, le type de véhicule et les conditions d'utilisation, particulièrement la vitesse, affectent la consommation de carburant et donc le niveau des émissions. De nombreuses recherches empiriques ont étudié les facteurs qui expliquent ces différents choix. Dans le cadre du présent projet, une revue de littérature a été effectuée. Celle-ci s'est particulièrement concentrée sur l'impact de la forme urbaine et l'offre de transport en commun. Puisqu'elle fait l'objet d'un rapport distinct (voir Barla et al. 2010), nous nous limitons ici à en synthétiser les principales conclusions.

Les facteurs explicatifs des choix de mobilité peuvent être classés en trois catégories:

- 1) Les caractéristiques socio-économiques de l'individu et du ménage (p. ex. l'âge, le revenu, le nombre d'adultes et d'enfants);
- 2) La forme urbaine au lieu de résidence et de travail (p. ex. la densité de logement, d'emploi, de commerce);
- 3) Les caractéristiques et l'accessibilité des modes de transport (ex. l'accessibilité aux transports en commun, les temps relatifs des déplacements, les prix).

S'il existe de très nombreuses études, aucune, à notre connaissance, ne teste les effets des facteurs explicatifs directement sur le niveau des émissions de GES. En effet, les études existantes se focalisent généralement sur un ou deux aspects de la mobilité. Par exemple, certaines recherches analysent les déterminants du nombre ou du type de véhicules détenus par les ménages (par exemple Potoglou et Kanaroglou, 2008, Fang, 2008). D'autres étudient les choix de modes de transport ou la distance parcourue (Bento et al. 2005, Pinjari et al., 2007). Les résultats de ces études ne permettent donc pas directement de déterminer l'impact des facteurs explicatifs sur le bilan des émissions de GES. De plus, les résultats indiquent parfois des effets contradictoires. Ainsi, par exemple, si le revenu est associé à l'accroissement de la probabilité de détenir et d'utiliser un véhicule privé, il semble également que cela favorise la possession de véhicules plus récents et donc potentiellement plus efficaces sur le plan énergétique. L'effet net sur le bilan des émissions est donc difficile à prévoir. Dans cette recherche, nous visons à analyser directement l'impact des facteurs explicatifs sur le niveau des émissions. Nous estimons donc un modèle de type "forme réduite" où le niveau des émissions d'un individu est expliqué en fonction des différents facteurs explicatifs des choix de mobilité. Le schéma 1 résume l'approche méthodologique que nous adoptons. Cette approche a donc l'avantage de mesurer l'effet net des facteurs explicatifs sur le niveau des émissions. Il s'agit aussi d'un inconvénient puisque les résultats ne permettent pas de voir à travers quels mécanismes un déterminant influence le bilan des émissions.



**Schéma 1. L'approche méthodologique**

Parmi les facteurs explicatifs, nous incluons des indicateurs qui caractérisent la forme urbaine et l'offre de transport en commun au lieu de résidence et d'emploi. Cela implique que l'on considère que les choix de localisation de l'individu peuvent être vus comme prédéterminés. Cette hypothèse peut être mise en lien avec le problème bien documenté dans la littérature sous les termes de biais "d'auto-sélection". En fait, les décisions de localisation dépendent fort probablement des mêmes déterminants que les choix de mobilité. Cela signifie, par exemple, que même si l'on observe que les ménages qui habitent des quartiers denses utilisent moins l'automobile, on ne peut pas nécessairement en conclure que la densité réduit la dépendance à l'automobile. En effet, il est possible que les ménages qui n'aiment pas l'automobile choisissent de vivre dans des quartiers où ils peuvent s'en passer et que les ménages qui préfèrent les quartiers moins denses sont aussi ceux qui désirent l'indépendance que l'automobile procure. Dans ces exemples, la forme urbaine et la mobilité sont déterminées par des facteurs communs, ce qui génère une corrélation associative qui n'a rien cependant d'un lien de causalité. Dans ce contexte, une politique de densification modifierait la composition de la population du quartier plutôt que de modifier les comportements de mobilité de ses résidents. Une analyse simple de corrélation entre la FU et la mobilité risque donc de fournir une image biaisée qu'il serait dangereux d'utiliser pour prévoir l'impact de politiques publiques de densification. Il est maintenant bien établi qu'une analyse rigoureuse exige une analyse statistique multi-variée où la mobilité est expliquée non seulement en fonction de la forme urbaine mais aussi des caractéristiques socio-économiques du ménage. Ceci dit, même en contrôlant pour les caractéristiques socio-économiques des ménages, on ne peut exclure que les résultats restent biaisés puisque certaines caractéristiques ou attitudes non observables peuvent encore générer de la corrélation associative. Dans l'exemple ci-dessus, il est possible que le degré d'aversion pour l'automobile ne soit qu'en partie seulement capturé par les caractéristiques socio-économiques du ménage comme l'âge, le niveau de scolarité, la taille et la

composition du ménage. Heureusement, certaines études récentes (Brownstone et Golob, 2009, Bhat et Guo, 2007) montrent que l'on ne peut rejeter l'absence de biais de sélection lorsque l'on tient compte des principales caractéristiques observables des individus et du ménage. Ceci justifie donc notre hypothèse de traiter les choix de localisation comme prédéterminés.<sup>2</sup> Dans des recherches futures, il sera cependant utile d'investiguer à nouveau cette importante question.

## 2. LES DONNÉES

Les données sur les déplacements proviennent d'une enquête panel sur les activités et les déplacements des ménages menée dans le cadre des activités du réseau Canadien de recherche PROCESSUS. Les ménages participants ont été sondés à trois reprises à intervalle d'environ un an. Le tableau 1 décrit les caractéristiques de base de l'enquête. Plusieurs méthodes d'enquête ont été utilisées afin de récolter une quantité importante d'informations tout en maintenant un taux de participation élevé: entrevues en personne, carnets d'activités et enquêtes téléphoniques. Les activités et les déplacements effectués durant une semaine ont été répertoriés durant la première vague. Pour les vagues 2 et 3, l'information était recueillie durant deux jours consécutifs.<sup>3</sup> Chaque membre d'un ménage âgé d'au moins 16 ans devait remplir un carnet d'activités et de déplacements. La population visée est celle des ménages de la région de Québec. Un premier contact par courrier et téléphone a permis d'enrôler d'éventuels participants. L'échantillon des ménages de la première vague a ensuite été établi par quota en se basant sur le positionnement dans le cycle de vie, la localisation et le nombre de véhicule détenus. L'annexe A présente une carte de la région avec la localisation des ménages lors de la vague 1 et la liste des municipalités visées.

**Tableau 1. Caractéristiques des trois vagues de l'enquête**

Vague	Date	Nombre de jours	Nombre de ménages*	Nombre de répondants*
1	Février 2002 à décembre 2003	7	247	392
2	Juin 2004 à mars 2005	2	198	305
3	Juillet 2005 à mars 2006	2	167	248

\*Ces nombres se rapportent à l'échantillon qui a été constitué à partir des données de l'enquête et qui est utilisé dans la suite de l'analyse.

<sup>2</sup> Plus précisément, Brownstone et Golob (2009) et Bhat et Guo (2007) ne peuvent rejeter l'absence de biais de sélection lorsque les caractéristiques socio-économiques sont incluses dans l'analyse de la mobilité. Par contre, Pinjari et al. (2007) trouvent que l'inclusion des variables socio-économiques n'est pas suffisante pour éviter les biais d'auto-sélection. Notons toutefois que ces conclusions sont fortement dépendantes des hypothèses sous-jacentes aux modèles estimés.

<sup>3</sup> Voir Lee-Gosselin (2005) pour une description de l'enquête.

Le taux de rétention des ménages est de plus de 67% entre la vague 1 et 3, ce qui est assez remarquable étant donné la complexité du questionnaire.<sup>4</sup> Pour chaque déplacement, le répondant devait notamment fournir l'origine, la destination, le mode, l'heure de départ et d'arrivée, le nombre de passagers et la nature de l'activité à la destination. Précisons que l'enquête visait explicitement à exclure des déplacements non-routiniers hors région, Ainsi, les jours d'enquête étaient déterminés avec les ménages afin d'éviter de tels déplacements.<sup>5</sup>

La taille de l'échantillon est évidemment relativement limitée, ce qui pose la question de sa représentativité. Le tableau 2 compare la structure de l'échantillon avec celle de la population de la région telle qu'établie à partir du recensement de Statistique Canada et des enquêtes origine-destination (OD) de 2001 et 2006 du MTQ.

**Tableau 2. Comparaison de la structure du panel avec le recensement et les enquêtes origine-destination**

	Enquête vague 1	Enquête vague 2	Enquête vague 3	Région de Québec (2001)	Région de Québec (2006)
Nombre de ménages	247	198	167	295 105 <sup>1</sup>	316 650 <sup>1</sup>
Nombre d'individus par ménage	2.2	2.1	2	2.3 <sup>1</sup>	2.2 <sup>1</sup>
Nombre de véhicules par ménage	1.25	1.27	1.23	1.4 <sup>2</sup>	1.3 <sup>2</sup>
% de femmes	52.6	51.4	52.9	51.9 <sup>1</sup>	51.7 <sup>1</sup>
% avec un diplôme universitaire	30.1	35.4	37.7	24.8 <sup>1</sup>	21.2 <sup>1</sup>
Structure d'âge des répondants					
0-19	23.8	21.3	20.6	20.3 <sup>1</sup>	20.2 <sup>1</sup>
20-34	21.9	19.9	13.3	20.3 <sup>1</sup>	20.2 <sup>1</sup>
34-49	25.3	24.4	26.1	25.5 <sup>1</sup>	22.7 <sup>1</sup>
50-64	21.0	24.6	27.3	18.2 <sup>1</sup>	21.6 <sup>1</sup>
65 et plus	7.9	9.6	12.5	13.7 <sup>1</sup>	14.4 <sup>1</sup>

<sup>4</sup> Précisons que les ménages participants recevaient une compensation variant entre 20\$ et 30\$.

<sup>5</sup> Malgré cela, plusieurs déplacements non-routiniers hors région ont été rapportés.

Localisation par zone des répondants					
Centre	12.9	11.1	8.9	11.2 <sup>2</sup>	n/d
Anciennes banlieues	24.7	25.2	25.7	22.3 <sup>2</sup>	n/d
Nouvelles banlieues	37.2	38.3	39.5	38.6 <sup>2</sup>	n/d
Périphérie	25.1	25.2	25.7	27.7 <sup>2</sup>	n/d
Parts modales <sup>3</sup>					
VP	82.2	85	82.2	82.3 <sup>2</sup>	81.2 <sup>2</sup>
TC	3.4	2.6	2.9	6.7 <sup>2</sup>	6.5 <sup>2</sup>
Non-motorisé	14.3	12.2	14.7	11 <sup>2</sup>	12.2 <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Basés sur les recensements

<sup>2</sup>Basés sur les enquêtes OD

<sup>3</sup>Calculées sur base du nombre de déplacements

A partir du tableau 2, on note que les ménages du panel sont en moyenne un peu plus petits que les ménages de la région et disposent d'un peu moins de véhicules. On note également que l'échantillon du panel a une représentation un peu plus élevée des diplômés universitaires et que le taux de rétention dans cette catégorie est aussi plus élevé. Les 65 ans et plus sont sous-représentés mais on note un taux de rétention plus élevé dans cette catégorie. Sur le plan de la répartition géographique, Vandersmissen *et al.* (2004) propose une division de la région de Québec en quatre grandes zones suivant le développement historique de la ville. Les limites de ces zones sont présentées à l'annexe A. On note une distribution des ménages parmi ces zones assez similaires dans le panel et l'enquête OD 2001. Malgré quelques différences, la structure générale des ménages du panel semble tout de même assez proche de la structure de la population visée. Évidemment, il est important de rester très prudent concernant la généralisation de nos résultats à l'ensemble de la population. Des analyses complémentaires à partir des données plus vastes (par exemple les OD) devront être menées afin de confirmer nos résultats.

Le tableau 2 compare également la répartition modale des déplacements dans le panel et les enquêtes OD. Avant d'interpréter ces chiffres, il est important de souligner les principales différences méthodologiques qui existent entre l'enquête panel et les enquêtes OD. En effet, celles-ci peuvent expliquer en partie les différences observées. On note cinq grandes différences entre les deux sources de données:

- 1-La méthodologie de collecte de l'information sur les déplacements est très différente. Comme mentionné précédemment, les déplacements du panel sont rapportés via un carnet de déplacement que chaque répondant doit remplir au fur et à mesure. De plus, les répondants étaient invités à la suite d'une analyse de leur carnet à le

compléter ou corriger certaines inconsistances. Les enquêtes OD collectent l'information par téléphone. Le porte-parole du ménage doit répertorier les déplacements effectués durant la journée précédente par tous les membres du ménage. Il est probable que le porte-parole risque d'omettre certains déplacements effectués par les autres membres du ménage, particulièrement ceux qui ne sont pas routiniers. Notons que l'information collectée lors des OD fait l'objet de certaines validations (voir OD 2001, 2006).

- 2-Le panel ne vise que les déplacements des membres de 16 ans et plus alors que les enquêtes OD s'intéressent aux déplacements des membres de 5 ans et plus.
- 3-Tous les jours de la semaine sont visés par le panel alors que les enquêtes OD se limitent aux jours de semaine excluant le samedi et le dimanche.
- 4-Le panel collecte les déplacements sur 7 jours ou 2 jours suivant la vague, les enquêtes ne concernent qu'une seule journée.
- 5-Le panel sonde un même ménage à plusieurs reprises alors que les enquêtes sont réalisées aux cinq ans sur des échantillons différents.

Au niveau des parts modales, on note assez peu de variation entre les trois vagues du panel. La comparaison avec les parts obtenues par les enquêtes OD révèlent une part nettement plus basse du transport en commun dans le panel au profit des transports non motorisés. Les différences méthodologiques mentionnées ci-dessus permettent en partie d'expliquer cette différence. Par exemple, l'usage du transport en commun (incluant le transport en autobus scolaire) est probablement plus important chez les jeunes de moins de 16 ans et les jours de semaine. Également, il est probable que les enquêtes OD sous-évaluent les déplacements non-motorisés.

Plusieurs autres sources de données ont été utilisées pour estimer les émissions et ses déterminants. Nous présentons ces sources au fur et à mesure de leur utilisation dans la suite du rapport.

### **3. LE BILAN DES ÉMISSIONS DE GES**

Grâce aux informations collectées lors de l'enquête panel, il est possible d'estimer le niveau des émissions de GES pour chaque déplacement d'un répondant. On distingue deux modes-émetteurs de GES: les véhicules privés (VP) et le transport en commun (TC). Le mode VP correspond aux déplacements effectués avec les véhicules du ménage (voitures, camions légers, motos) mais également ceux effectués avec d'autres véhicules privés ou en taxi. Dans la région de Québec, le seul mode de transport en commun est l'autobus. Un déplacement se produit lorsqu'il y a un changement de lieu. Nous appliquons cependant plusieurs critères afin d'exclure des "déplacements" qui ne sont pas pertinents pour notre analyse comme par

exemple les déplacements hors région ou de longue distance. L'annexe B décrit les critères utilisés. Incluant tous les modes, nous disposons de 15 749 déplacements dont 13 497 qui utilisent un des deux modes émetteurs de GES.

Les émissions de GES produites en mode VP par le répondant  $i$  sur un déplacement  $t$  ( $GES_{i,t}^{VP}$ ) sont estimées comme suit:

$$GES_{i,t}^{VP} = \frac{TCC_{i,t} \times FCV_t \times FE_{i,t} \times (D_{i,t} / 100)}{NP_{i,t}}$$

avec:

$TCC_{i,t}$ : Le taux de consommation moyen de carburant du véhicule exprimé en litre par 100 km. Ce taux est déterminé à partir de la marque-modèle-année du véhicule lorsque cette information est disponible. Les taux proviennent de l'*ÉnerGuide* produit par Ressources Naturelles Canada. Ils correspondent à une moyenne pondérée des taux mesurés en laboratoire dans des conditions de conduite en ville et sur autoroute. Dans le cas où le véhicule utilisé ne peut être spécifié, nous faisons l'hypothèse que le déplacement se fait avec un véhicule dont le  $TCC$  est comparable à celui du véhicule privé du répondant.<sup>6</sup> Pour les répondants qui ne possèdent pas de véhicules, nous assignons le taux de consommation moyen de la flotte de véhicules légers de la région de Québec.<sup>7</sup>

$FCV_t$ : Le facteur de correction du  $TCC$  pour tenir compte de la vitesse. Il est en effet bien connu que le taux de consommation de carburant varie considérablement en fonction des conditions de conduite et particulièrement de la vitesse. Afin de prendre en compte cet aspect, nous assignons à chaque déplacement une vitesse qui dépend de la zone d'origine et de destination du déplacement ainsi que de la période pointe/hors pointe à laquelle il s'effectue.<sup>8</sup> Bien qu'il soit possible d'estimer la vitesse sur base des informations rapportées par les répondants, cette manière de procéder n'a pas donné de résultats fiables. En effet, les heures de départ et d'arrivée rapportées semblent être très approximatives, ce qui mène à de très nombreux cas de vitesses adhérentes. Nous avons donc plutôt décidé d'utiliser les vitesses estimées par le Ministère des Transports à l'aide du modèle de simulation du trafic MOTRAQ. Dans ce modèle, la région de Québec est divisée en 799 zones de trafic. La vitesse en période de pointe et hors pointe est simulée entre chacune de ces zones. Les facteurs de correction des  $TCC$  en fonction de la vitesse nous ont également été fournis

<sup>6</sup> Nous prenons la moyenne des  $TCC$  lorsque le répondant dispose de plusieurs véhicules.

<sup>7</sup> Ce taux est basé sur les données de la flotte de véhicules légers valable au 31 décembre 2003. Pour la région de Québec, le taux moyen est de 9.29 litres au 100 km. Pour les déplacements en taxi, nous utilisons une moyenne des taux valables pour les nouveaux véhicules compacts et intermédiaires soit 8,53 litres au 100 km (voir Barla et al. 2008).

<sup>8</sup> Les heures de pointe sont de 6:30 à 9:00 le matin et de 15:30 à 18:00 l'après-midi.

par le MTQ. Ces facteurs ont été évalués en comparant le  $TCC$  moyen d'un échantillon de véhicules avec des mesures de consommation directe sur le terrain (voir Babin et al. 2004).<sup>9</sup>

$FE_{i,t}$ : Le facteur d'émission de GES. Ce facteur convertit la consommation de carburant en équivalent de  $CO_2$ . Il dépend du type de carburant utilisé et de l'âge du véhicule qui détermine le type de convertisseur catalytique. Nous utilisons les facteurs rapportés par Environnement Canada (2002) et la structure de la flotte par type de convertisseur catalytique de Babin et al. (2004).

$NP_{i,t}$ : Le nombre de passagers. Nous divisons par le nombre de passagers afin de tenir compte du covoiturage.<sup>10</sup>

$D_t$ : La distance entre l'origine et la destination du déplacement. Celle-ci est simulée à partir du logiciel ArcGIS® en utilisant le réseau routier de la région de Québec. L'itinéraire est déterminé en minimisant le temps de déplacement et en tenant compte des limites de vitesse. Puisque le taux de consommation est exprimé en litres par 100 km, nous divisons la distance en km par un facteur de 100.

Pour les déplacements en TC, les émissions ( $GES_{i,t}^{TC}$ ) se calculent comme suit:

$$GES_{i,t}^{TC} = \frac{TCCB \times FEB \times (D_t / 100)}{CM}$$

Avec:

$TCCB$ : Le taux de consommation moyen de diesel des autobus de la région. Sur base de statistiques du Réseau de Transport en Commun de la Capitale (RTC) sur la période 2002 à 2003, le taux est fixé à 58,9 litres par 100 km. Ce taux est également utilisé pour les déplacements effectués avec la Société de Transport de Lévis (STL).

$FEB$ : Le facteur d'émission. Nous utilisons le facteur d'émission utilisé par Tecsalt, Inc. (2008) dans le calcul des émissions de GES de la ville de Québec soit 2 758 g de  $CO_2e$  par litre de diesel.

$D_t$ : La distance du déplacement. Elle est simulée en utilisant ArcGIS® et le réseau local d'autobus.

---

<sup>9</sup> Par exemple, pour un déplacement dont la vitesse moyenne est de 30 km/h, le taux de consommation de carburant véritable sera de 20% plus important à celui rapporté par l'ÉnerGuide.

<sup>10</sup> Notons que si deux membres d'un même ménage effectuent un déplacement commun, chaque membre doit avoir rapporté ce déplacement (*i.e.* il apparaît deux fois dans notre base de données). Par contre comme les enfants de moins de 16 ans d'un ménage participant ne rapportent pas leurs déplacements, nous les excluons du calcul du nombre de passagers. Cela signifie donc que nous attribuons leur part des émissions aux adultes présents dans le véhicule.

*CM* : La capacité moyenne d'un autobus qui est estimée à 60.<sup>11</sup> La part des émissions produite par un autobus qui doit être attribuée à un passager est une question problématique. On pourrait argumenter que les émissions engendrées par un passager supplémentaire sont proches de zéro puisque la consommation de carburant varie très peu en fonction du nombre de passagers. Par contre, des parcours ou certains segments de parcours peu achalandés peuvent ne pas être justifiés sur le plan environnemental (*i.e.* les émissions par passager pourraient être supérieures aux émissions qui seraient produites en VP). En utilisant les émissions par unité de capacité, nous prenons donc une voix intermédiaire entre ces deux positions extrêmes. Nous examinons l'impact de cette hypothèse dans la section 4.2.

Les émissions par déplacement peuvent ensuite être agrégées à différents niveaux comme par exemple par répondant ou par ménage. Dans l'analyse économétrique à la section 5, nous calculons les émissions produites par répondant et par jour. Toutefois, avant de présenter cette analyse, il est utile de procéder à une analyse descriptive des résultats obtenus et de comparer nos estimations avec celles obtenues à partir d'autres méthodologies.

#### **4. ANALYSE DESCRIPTIVE**

Le tableau 3 présente des statistiques de base sur les émissions et les déplacements. Selon nos estimations, les émissions moyennes par répondant et par jour seraient de 6735 g de CO<sub>2</sub>e. On note assez peu de variations (moins de 10%) entre les trois vagues. La part moyenne des émissions dues aux VP est de plus de 95% alors que la part moyenne des émissions associées aux TC est inférieure à 5%. Ces résultats reflètent bien entendu les parts modales et la différence dans les taux d'émissions entre les deux modes. On peut comparer notre bilan des GES avec le bilan établi par Tecslut inc. (2008) pour le compte de la ville de Québec. Tecslut inc. (2008) utilise trois méthodes alternatives pour parvenir à une estimation globale des émissions liées aux activités de transport.<sup>12</sup> Sur base de ces estimations, le niveau d'émissions par capita et par jour était de 6327 g de CO<sub>2</sub>e en 2006 et 6453 g en 2004. Nous obtenons donc un niveau d'émissions légèrement supérieur mais tout de même très comparable à ceux obtenus par Tecslut (différence inférieure à 10%).

Au niveau des déterminants des émissions, un répondant parcourt en moyenne une distance de 32,8 km par jour au cours de 4 déplacements. Selon l'enquête OD 2001, le nombre de déplacements moyens par répondant

---

<sup>11</sup> Ce chiffre est basé sur une moyenne du nombre de places assises (40) et de la capacité maximale (80) des autobus Nova LFS standard (voir <http://www.novabus.com>).

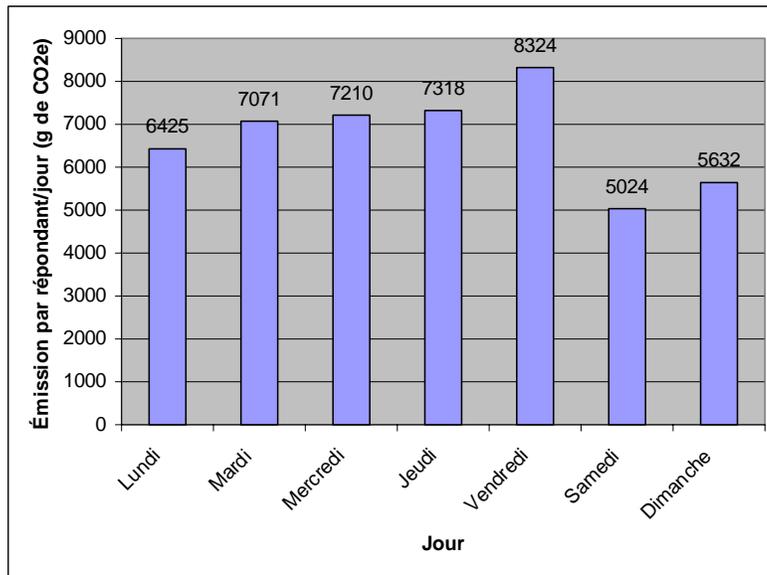
<sup>12</sup> Ces trois méthodes sont basées sur: 1) les ventes de carburant dans la ville de Québec, 2) un modèle de flux routier (réseau modélisé multimodal du Québec) et 3) une évaluation des émissions québécoises qui sont ensuite ajustées au prorata du parc de véhicules de la ville de Québec.

est de 3,1 et la distance moyenne est de 25,7 km. Une fois encore, ceci peut s'expliquer par des différences dans la méthodologie d'enquête, la population ciblée et les journées considérées. Environ 30% de la distance s'effectue en période de pointe. La vitesse moyenne est d'environ 40 km/h et le taux moyen d'émissions est de 190 g/km. Pour les déplacements en VP, le nombre moyen de personnes par véhicule est de 1,33.

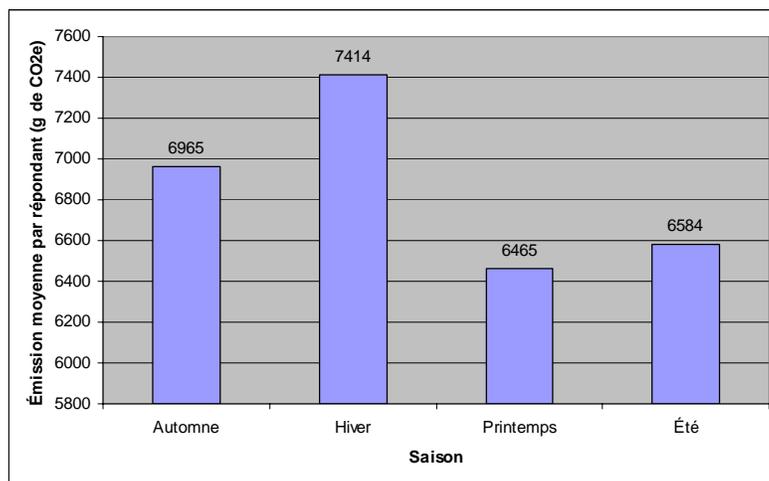
**Tableau 3. Statistiques descriptives sur les émissions et déplacements (moyenne par répondant et par jour)**

<b>Variable</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Écart-type</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>
GES (g/jour)	6 735	7 368	0	63 228
Vague 1	6 625	7 313	0	60 361
Vague 2	7 180	8 250	0	63 228
Vague 3	6 795	7 057	0	44 220
Part moyenne des GES des VP (%)	95,5	19,6	0	100
Part moyenne des GES du TC (%)	4,5	19,6	0	100
Distance (km)	32,8	33,3	0	367
Nombre de déplacements	4	2,4	0	15
% de la distance en période de pointe	29,0	33,5	0	100
Vitesse moyenne (km/h)	38,6	22,3	5	100
Taux d'émissions (g/km)	189,1	125,8	0	929
Nombre moyen de personnes par déplacement en VP	1,33	0,68	0	7

Les figures 1 et 2 illustrent les variations dans le niveau moyen des émissions en fonction du jour de la semaine et des saisons. On note un accroissement des émissions au fur et à mesure que la semaine avance alors que le niveau des émissions est nettement plus faible la fin de semaine. Étonnamment, les émissions moyennes semblent plus importantes en hiver. Notons cependant que moins de 4% des observations ont été collectées en hiver. De plus, il semble que des valeurs extrêmes expliquent ce résultat puisque lorsque l'on calcule les valeurs médianes, il y a assez peu de différences entre les saisons.



**Figure 1 Émissions moyennes par répondant par jour de la semaine**



**Figure 2 Émissions moyennes par répondant/jour et par saison**

Le tableau 4 présente la distribution des déplacements par motif dans le panel et les enquêtes OD. Une fois encore, les différences observées entre les résultats du panel et les enquêtes OD sont consistantes avec les différences méthodologiques discutées précédemment. Enfin, dans le tableau 5, nous croisons le niveau des émissions avec certaines caractéristiques socio-économiques de base. On note des différences qui sont généralement en accord avec les attentes. Soulignons par exemple qu'un répondant dont le domicile est localisé à la périphérie de la ville produirait en moyenne environ 5554 g de plus d'émissions qu'un répondant localisé au centre-ville. Cela

représente un accroissement de 81%.<sup>13</sup> Pour un répondant des nouvelles banlieues, l'accroissement des émissions par rapport au centre-ville est de 2239 g ou 43% alors que pour un résident des anciennes banlieues, il est de 1133 g ou 24%. Il reste évidemment à valider à partir d'une analyse statistique multi-variée si d'autres facteurs que la localisation expliquent en partie ces écarts importants.

Avant l'analyse statistique, il est intéressant de présenter les résultats de deux simulations. Premièrement, nous avons ré-estimé les émissions mais en utilisant un taux de consommation de carburant identique pour tous les déplacements en VP. Spécifiquement, nous utilisons le taux moyen pour la flotte de la région de Québec soit 9,29 l/100km. Cette simulation permet de donner une idée du signe et de l'ampleur du biais qui peut résulter lorsque l'on ne tient pas compte des différences de taux de consommation entre les véhicules. Dans ce cas, nous obtenons un niveau moyen d'émissions quotidiennes de 6182 g soit une réduction de 8.5% par rapport au niveau estimé en tenant compte des différences de taux entre les répondants. Ceci signifie donc que les répondants qui effectuent plus de déplacements ou des déplacements plus longs utilisent également des véhicules plus énergivores. Deuxièmement, nous avons recalculé les émissions en éliminant l'effet de la pointe c.-à-d. en utilisant les vitesses hors pointe même durant les heures de pointe. Dans ce cas, le niveau d'émissions moyen baisse d'environ 4%. Ceci donne donc un ordre de grandeur des réductions que l'on pourrait atteindre en éliminant la congestion.<sup>14</sup>

**Tableau 4. Distribution des déplacements par motif (%)**

<b>Motif</b>	<b>Vague 1</b>	<b>Vague 2</b>	<b>Vague 3</b>	<b>OD2001</b>	<b>OD2006</b>
Travail/Études	17.7	18.4	19.2	27.1	26.5
Loisirs	19.6	18.1	18	8.2	9.5
Magasinage	17.2	18.7	17.6	8.9	10.8
Retour au domicile	34.7	33.6	33.9	42.8	41.2
Autre	10.6	11.2	11	13	12

<sup>13</sup> Ce chiffre est calculé en prenant la différence entre les émissions moyennes à la périphérie (9630g) et au centre-ville (4076) divisée par la valeur moyenne des émissions dans ces deux types de zones (soit 6853g).

<sup>14</sup> Évidemment, il est probable que la réduction globale des émissions sera moindre puisque la réduction de la congestion pourrait favoriser la croissance du trafic.

**Tableau 5. Émission moyenne en fonction des principales caractéristiques socio-économiques du répondant et du ménage**

Variable	Émissions de GES moyennes de (répondant/jour en g CO <sub>2</sub> e)
Permis de conduire	
Avec	6 975
Sans	1 839
Sexe	
Homme	7 804
Femme	5 831
Scolarité universitaire	
Non	6 512
Oui	7 049
Age	
Moins de 35 ans	5 819
35-49	8 664
50-64	5 929
65 et plus	5 371
Taille du ménage	
1 personne	5 606
2 personnes	6 124
3 personnes	6 210
4 personnes et plus	9 283
Statut d'emploi	
Sans emploi	5 054
Avec emploi (y compris étudiants)	7 437
Classe de revenu	
Moins de 20 000\$	4 388
20 000\$ - 60 000\$	6 430
Plus de 60 000\$	8 463
Type de quartier de résidence	
Centre	4 076
Anciennes banlieues	5 209
Nouvelles banlieues	6 315
Périphérie	9 630

#### 4.1. Modélisation statistique

Afin de mesurer l'effet spécifique des différents facteurs explicatifs sur le bilan quotidien des émissions, nous estimons différents modèles statiques dont la forme générique est la suivante:

$$GES_{i,m,j} = \alpha + \beta X_i + \gamma H_m + \nu T_j + \eta FU_{i,m} + \lambda TC_{i,m} + \varepsilon_{i,m,j}$$

Avec:

$GES_{i,m,j}$ : les émissions produites par le répondant  $i$  du ménage  $m$  lors du jour  $j$ .

$X_i$ : les caractéristiques socio-économiques du répondant  $i$ .

$H_m$ : les caractéristiques socio-économiques du ménage  $m$ .

$T_j$ : les caractéristiques du jour  $j$ .

$FU_{i,m}$ : les caractéristiques de la forme urbaine autour du domicile et du lieu d'emploi.

$TC_{i,m}$ : les caractéristiques de l'offre de transport en commun disponible autour de la résidence et du lieu de travail.

$\varepsilon_{i,m,j}$ : le terme d'erreur.

Le tableau 6 décrit les variables explicatives, leurs sources et fournit quelques statistiques de base. De nombreuses spécifications ont été testées. Nous ne rapportons ici que les résultats qui nous sont apparus les plus solides et pertinents. Les caractéristiques du répondant qui sont incluses dans le modèle sont la possession du permis de conduire, le sexe, le statut de chef de famille, l'obtention d'un diplôme universitaire, le statut professionnel (travailleur temps plein, étudiant, temps partiel, sans emploi, retraité), l'âge par classe. Afin de contrôler pour le phénomène de réponse incomplète, nous incluons comme facteur explicatif le pourcentage de déplacement du répondant dont l'origine et/ou la destination n'ont pu être géo-localisées. Les variables au niveau du ménage sont: le statut de propriété du domicile, la composition du ménage (nombre d'adultes en plus du répondant et nombre d'enfants), la classe de revenu. Notons que la classe de revenu n'est pas basée sur une déclaration du ménage mais est estimée par l'enquêteur lors de la première entrevue. Étant donné l'analyse descriptive de la section 4, nous introduisons une variable binaire pour chaque jour de la semaine et une variable pour la fin de la semaine. Nous incluons aussi des variables indicatrices pour la saison. La forme urbaine autour du domicile et du lieu de travail est caractérisée par différentes variables que nous expliciterons dans la suite. Il en va de même pour les variables caractérisant le transport en commun.

**Tableau 6. Description des facteurs explicatifs**

<b>Variables</b>	<b>Description et sources</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Min/Max</b>
<b>Variables <math>X_i</math></b>			
SANS_PERMIS	Variable binaire égale à 1 si le répondant n'a pas de permis de conduire	0,46	0/1
FEMME	Variable binaire égale à 1 si le répondant est de sexe féminin	0,54	0/1
CHEF	Variable binaire égale à 1 si le répondant se déclare chef de famille	0,95	0/1
UNIF	Variable binaire égale à 1 si le répondant a un diplôme universitaire	0,41	0/1
ÉTUDIANT	Variable binaire égale à 1 si le répondant est étudiant	0,07	0/1
PARTIEL	Variable binaire égale à 1 si le répondant occupe un emploi à temps partiel	0,06	0/1
RETRAITÉ	Variable binaire égale à 1 si le répondant est retraité	0,19	0/1
SANS_EMPLOI	Variable binaire égale à 1 si le répondant est sans emploi (sans être retraité)	0,09	0/1
AGE34	Variable binaire égale à 1 si le répondant est âgé de moins de 35 ans	0,23	0/1
AGE35-49	Variable binaire égale à 1 si le répondant est âgé de 35 à 49 ans	0,34	0/1
AGE50-64	Variable binaire égale à 1 si le répondant est âgé de 50 à 64 ans	0,31	0/1
AGE65	Variable binaire égale à 1 si le répondant est âgé de 65 ans et plus.	0,11	0/1
% INCONNU	Pourcentage des déplacements du répondant dont l'origine ou la destination ne peuvent être géo-localisées.	3	0/85.7
DT	Distance entre le domicile et le lieu principal de travail du répondant.	5,7	0/45.1
<b>Variables <math>H_m</math></b>			
PROP	Variable binaire égale à 1 si le ménage est propriétaire de son domicile.	0,70	0/1
N_ADULTE	Nombre d'adultes (âgé de 16 ans et plus) du ménage en plus du répondant.	0,74	0/2
N_ENFANTS	Nombre d'enfants de moins de 16 ans dans le ménage.	0,72	0/4
INCOME_BAS	Variable binaire égale à 1 si le revenu annuel estimé du ménage est de moins de 20 000\$ par an.	0,19	0/1
INCOME_MED	Variable binaire égale à 1 si le revenu annuel estimé du ménage est compris entre 20 000\$ et 60 000\$.	0,48	0/1
INCOME_HAUT	Variable binaire égale à 1 si le revenu annuel estimé du ménage est plus de 60 000\$.	0,33	0/1
<b>Variables <math>T_j</math></b>			
LU	Variable binaire égale à 1 si le jour d'observation correspond à un lundi.	0,13	0/1
MA	Variable binaire égale à 1 si le jour d'observation correspond à un mardi.	0,15	0/1
ME	Variable binaire égale à 1 si le jour d'observation correspond à un mercredi.	0,15	0/1
JE	Variable binaire égale à 1 si le jour d'observation correspond à un jeudi.	0,14	0/1
VE	Variable binaire égale à 1 si le jour d'observation correspond à un vendredi.	0,13	0/1
WE	Variable binaire égale à 1 si le jour d'observation correspond à la fin de semaine (samedi ou dimanche).	0,26	0/1
AUTOMNE	Variable binaire égale à 1 si le jour d'observation est un jour d'automne.	0,37	0/1

HIVER	Variable binaire égale à 1 si le jour d'observation est un jour d'hiver.	0,03	0/1
PRINTEMPS	Variable binaire égale à 1 si le jour d'observation est un jour de printemps.	0,18	0/1
ÉTÉ	Variable binaire égale à 1 si le jour d'observation est un jour d'été.	0,40	0/1
<b>Variables <math>FU_{i,m}</math></b>			
CENTRE	Variable binaire égale à 1 si le domicile du ménage est localisé dans la zone centre-ville.	0,11	0/1
ANCIENNES	Variable binaire égale à 1 si le domicile du ménage est localisé dans la zone anciennes banlieues.	0,24	0/1
NOUVELLES	Variable binaire égale à 1 si le domicile du ménage est localisé dans la zone nouvelles banlieues.	0,36	0/1
PERI	Variable binaire égale à 1 si le domicile du ménage est localisé dans la zone périphérie.	0,28	0/1
DLOG_DOM	Densité de logements (nombre de logements/km <sup>2</sup> ) calculée dans une zone définie par un rayon de 500 mètres autour du domicile du répondant (source: Rôle d'évaluation municipale de la communauté métropolitaine de Québec, 2005)	1620	22/7598
DEMPLOI_LT	Densité d'emplois (nombre d'emplois/km <sup>2</sup> ) calculée dans une zone définie par un rayon de 500 mètres autour du lieu de travail du répondant (source: Enquête origine-destination, 2001)	3411	0/21273
DCOM_DOM	Densité de commerces (nombre de commerces/km <sup>2</sup> ) calculée dans une zone définie par un rayon de 500 mètres autour du domicile (source: Répertoire commercial Zipcom, 2001)	35,1	0/253
DT	Distance entre le domicile et le lieu du travail principal du répondant.	5,7	0/45
DC	Distance entre le domicile et le centre-ville de Québec.	8,9	0,34/28
<b>Variables <math>TC_{im}</math></b>			
% SANS TC	Pourcentage des déplacements effectués par le répondant qui ne peuvent s'effectuer en autobus car la distance totale pour accéder au TC est supérieure à 2 km.	28,0	0/100
BUS/VP	Temps de déplacement total en autobus divisé par le temps total de déplacement en véhicule privé. Tous les déplacements du répondant sont pris en compte sauf (1) les déplacements de moins de 1 km et (2) les déplacements qui ne peuvent s'effectuer en autobus parce la distance totale pour accéder au TC est supérieure à 2 km. La variable est censurée à 4. Les vitesses de déplacement pour les véhicules privés sont celles du modèle MOTRAQ. Pour les autobus, la vitesse moyenne est fixée à 20 km/h pour la portion du déplacement en autobus et à 5 km/h pour la portion du déplacement d'accès au TC.	2,87	0.51/4

Le tableau 7 présente les résultats de trois spécifications différentes. Les paramètres sont estimés par la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO). Les estimations des écarts-types des paramètres tiennent cependant compte d'une corrélation possible entre les observations provenant d'un même ménage.<sup>15</sup> Le modèle est linéaire et les paramètres peuvent directement s'interpréter comme des changements en gramme par jour dans le niveau des émissions. Pour mieux apprécier la magnitude des effets, nous

<sup>15</sup> En d'autres termes, les écart-types sont robustes à de la corrélation entre les observations provenant d'un même ménage. Par contre, les observations entre ménages sont supposées indépendantes.

rapporçons également la variation en pourcentage dans le niveau des émissions (relativement à la moyenne) suite à un changement dans les facteurs explicatifs. Pour les facteurs binaires ou discrets, on simule l'impact d'une unité supplémentaire alors que pour les facteurs continus, on suppose un accroissement de 10% relativement à la moyenne. Les quatre spécifications se distinguent suivant les variables utilisées pour caractériser la forme urbaine et l'offre de transport en commun.

Concernant les caractéristiques du répondant, l'absence de permis de conduire est associée à un niveau d'émissions nettement plus bas avec une réduction de l'ordre de 40 à 50%. Les répondants de sexe féminin produisent également 25% moins d'émissions en moyenne que les répondants masculins. Le statut de chef de famille ou le niveau d'éducation ne semble pas avoir d'effet statistiquement significatif. Pour le statut professionnel, les étudiants, les travailleurs à temps partiel et les retraités émettent moins d'émissions. Soulignons cependant que pour le statut de retraité, il faut aussi sans doute tenir compte de l'impact de l'âge puisque ces deux variables sont fortement liées. Pour le modèle 3, l'impact de la variable AGE65 est positif et statistiquement significatif. Pour ce modèle et en tenant compte de l'effet des deux variables, on obtient qu'un répondant âgé de 65 ans ou plus et qui est retraité émet en moyenne environ 32% moins d'émissions. Les répondants sans emploi émettent aussi moins d'émissions. L'effet est statistiquement significatif dans la spécification (2) à -25%. Pour l'effet de l'âge, on note une réduction des émissions de 20 à 25% dans la classe d'âge 50-64 ans. Comme mentionné précédemment, le coefficient de la variable AGE65 est positif et significatif dans la spécification (3) mais il doit s'interpréter simultanément avec l'effet de la variable RETRAITÉ. Sans surprise, le pourcentage de déplacement dont on ne peut identifier l'origine ou la destination réduit le niveau des émissions mesurées.

Au niveau des caractéristiques du ménage, le statut de propriétaire du logement ne semble pas associé à un effet significatif sur le niveau total des émissions. Par contre, nos résultats indiquent que l'ajout d'un adulte supplémentaire dans le ménage réduit les émissions du répondant de plus de 20%. Ceci traduit probablement l'existence d'économies d'échelle au sein de la famille et de possibilités de covoiturage. Une autre manière de présenter ce résultat est de souligner qu'un couple produirait en moyenne seulement environ 55% de plus d'émissions qu'un répondant célibataire, toutes autres choses étant égales par ailleurs. Les changements dans la structure de la famille peuvent donc avoir des impacts non négligeables dans le bilan des émissions de GES liées aux transports. Le nombre d'enfants de moins de 16 ans a un effet positif sur le niveau des émissions d'un répondant. L'effet est significatif seulement dans la spécification (3) avec un accroissement de 8% des émissions. Il est peut être un peu surprenant que cet effet ne soit pas plus important. Enfin, un revenu de plus de 60000\$ accroît les émissions de 20% à 30%.

Comme l'analyse descriptive le laissait entrevoir, les émissions moyennes sont plus importantes le jeudi (+9%) mais surtout le vendredi (+25%) alors qu'elles sont réduites d'environ 20% la fin de semaine. On ne note pas de différence significative entre les saisons. Rappelons cependant que peu d'observations ont été collectées en hiver et que les déplacements de longue distance ont été éliminés de l'analyse.

Tableau 7. Résultats de l'analyse statistique

Variables	Modèle 1		Modèle 2		Modèle 3	
	Coef. (écart-type)	Impact (%)*	Coef. (écart-type)	Impact (%)*	Coef. (écart-type)	Impact (%)*
SANS PERMIS	<b>-3200 (595)</b>	<b>-47</b>	<b>-2801 (690)</b>	<b>-51</b>	<b>-2929 (664)</b>	<b>-43</b>
FEMME	<b>-1703 (387)</b>	<b>-25</b>	<b>1647 (399)</b>	<b>-24</b>	<b>-1535 (391)</b>	<b>-23</b>
CHEF	-79 (1043)		76 (1123)		-282 (985)	
UNIF	279 (510)		393 (489)		563 (491)	
TEMPS PLEIN	Référence		Référence		Référence	
ÉTUDIANT	<b>-1468 (807)</b>	<b>-22</b>	<b>-1370 (805)</b>	<b>-20</b>	<b>-1283 (754)</b>	<b>-19</b>
TPARTIEL	<b>-1334 (808)</b>	<b>-19</b>	<b>-1866 (932)</b>	<b>-27</b>	<b>-2185 (1003)</b>	<b>-32</b>
RETRAITÉ	<b>-1884 (658)</b>	<b>-30</b>	<b>-3467 (709)</b>	<b>-51</b>	<b>-3420 (763)</b>	<b>-50</b>
SANS EMPLOI	-946 (798)		<b>-1676 (841)</b>	<b>-25</b>	-1636 (876)	
AGE34	-133 (654)		-360 (676)		-537 (660)	
AGE35-49	Référence		Référence		Référence	
AGE50-64	<b>-1341 (658)</b>	<b>-20</b>	<b>-1608 (669)</b>	<b>-24</b>	<b>-1545 (646)</b>	<b>-23</b>
AGE65	1204 (995)		823 (907)		<b>1229 (865)</b>	<b>+18</b>
% INCONNU	<b>-37 (10)</b>	<b>-0.16</b>	<b>-46 (9)</b>	<b>-0.21</b>	<b>-48 (10)</b>	<b>-0.21</b>
PROP	649 (626)		711 (597)		254 (565)	
N_ADULTES	<b>-1461 (543)</b>	<b>-22</b>	<b>-1534 (531)</b>	<b>-23</b>	<b>-1610 (523)</b>	<b>-24</b>
N_ENFANTS	742 (319)		533 (328)		<b>536 (302)</b>	<b>+8</b>
INCOME_BAS	Référence		Référence		Référence	
INCOME_MED	590 (637)		724 (603)		415 (602)	
INCOME_HAU	<b>1619 (864)</b>	<b>+24</b>	<b>1936 (841)</b>	<b>+29</b>	1523 (842)	
LU	Référence		<b>Référence</b>		<b>Référence</b>	
MA	481 (324)		<b>540 (325)</b>	<b>+8</b>	<b>443 (322)</b>	
ME	528 (388)		547 (376)		<b>571 (368)</b>	
JE	<b>638 (372)</b>	<b>+9</b>	562 (363)		<b>659 (350)</b>	<b>+10</b>
VE	<b>1781 (462)</b>	<b>+26</b>	<b>1702 (443)</b>	<b>+25</b>	<b>1649 (435)</b>	<b>+24</b>
WE	<b>-1059 (379)</b>	<b>-16</b>	<b>-1097 (372)</b>	<b>-16</b>	<b>-1465 (372)</b>	<b>-22</b>
AUTOMNE	Référence		Référence		Référence	
HIVER	1555 (1180)		742 (1210)		1409 (1206)	
PRINTEMPS	608 (660)		-263 (625)		520 (631)	
ÉTÉ	456 (451)		119 (470)		492 (490)	
CENTRE	Référence		--		--	
ANCIENNES	<b>1380 (688)</b>	<b>+20</b>	--		--	
NOUVELLES	<b>2021 (604)</b>	<b>+30</b>	--		--	
PERI	<b>4985 (755)</b>	<b>+74</b>	--		--	
DLOG_DOM	--		<b>-0.83 (0.15)</b>	<b>-2.0</b>	<b>-0.56 (0.16)</b>	<b>-1.3</b>
DEMPLOI_LT	--		<b>-0.24 (0.05)</b>	<b>-1.2</b>	<b>-0.17 (0.05)</b>	<b>-0.86</b>

% SANS TC	--	--	<b>32 (6.5)</b>	<b>+1.3</b>
BUS/VP	--	--	<b>647 (255)</b>	<b>+2.7</b>
CONSTANTE	<b>5069 (1627)</b>	<b>10438 (1706)</b>	<b>7625 (1642)</b>	
R-carré	0.17	0.17	0.20	
Nbr. Obs.	3812	3812	3812	

Les écarts-type sont robustes à la corrélation des observations d'un même ménage.

En gras les paramètres qui sont statistiquement différents de zéro à un seuil de risque de 10% ou moins.<sup>16</sup>

\*: Les impacts sont mesurés à partir de la valeur moyenne des émissions pour l'échantillon (soit 6735 g). Pour les variables discrètes, on calcule l'effet d'un accroissement d'une unité et pour les variables continues, on suppose un accroissement de 10% par rapport à la moyenne.

Nous examinons à présent l'effet de la forme urbaine et l'offre de transport en commun. À long terme, l'offre de transport en commun est certainement endogène et dépend très probablement de la forme urbaine.<sup>17</sup> Ainsi, les modèles (1) et (2) n'incluent que des indicateurs de forme urbaine et visent donc à mesurer les effets à très long terme qui tiennent compte des changements induits dans l'offre de transport en commun. Par contre, le modèle (3) mesure l'effet de la forme urbaine en maintenant les indicateurs d'offre de transport en commun constante. Dans le modèle (1), la structure du tissu urbain autour du domicile est caractérisée sur base de la division générale de la ville en quatre zones, tel que décrit à la section 2. Cette caractérisation a l'avantage d'être simple et de fournir des résultats faciles à interpréter. Trois variables indicatrices ANCIENNES, NOUVELLES et PERI sont incluses dans le modèle. La référence étant un domicile localisé dans la zone centrale. On note des effets statistiquement significatifs. Un répondant dont le domicile est localisé dans les anciennes banlieues produirait quotidiennement en moyenne 1380 g de plus qu'un répondant localisé au centre, toutes autres choses étant égales par ailleurs. Les répondants des nouvelles banlieues et ceux de la périphérie émettent respectivement 2021 g et 4985 g de plus d'émissions comparativement à ceux du centre-ville. Il s'agit de variations assez marquées et qui sont un peu inférieures mais finalement assez proches des valeurs obtenues à la section 4 en comparant simplement les moyennes. A partir du tableau 8, on note des différences majeures dans la FU et l'offre de TC dans ces quatre zones, ce qui peut expliquer ces variations marquées dans le bilan moyen des émissions. Cette division de la région en quatre zones a évidemment ses limites puisque chaque zone inclut des quartiers dont la structure est très hétérogène comme en témoigne les écart-types dans le tableau 8.<sup>18</sup>

<sup>16</sup> Cela signifie que dans moins de 10% des cas, on rejette l'hypothèse que le coefficient est nul alors que celle-ci est vraie.

<sup>17</sup> Évidemment, la FU peut aussi dépendre de l'offre de TC.

<sup>18</sup> Par exemple, la zone centre-ville inclut à la fois des quartiers denses et moins denses.

**Tableau 8. Valeur moyenne et entre parenthèses les écarts-type des indicateurs de FU et de TC suivant la zone de résidence**

Zone	DLOG_DOM	DT	DC	% SANS TC	BUS/VP
Centre-ville	4351 (1948)	3.7 (5.6)	1.6 (1.1)	24.1 (36)	2.3 (1.1)
Anciennes banlieues	2082 (1113)	3.1 (5.7)	4.8 (2.2)	14.2 (23)	2.5 (0.7)
Nouvelles banlieues	1307 (696)	4.9 (4.9)	8.9 (2.5)	17.0 (27)	3.0 (0.8)
Périphérie	506 (357)	9.9 (8.6)	15.3 (6.2)	57.3 (38)	3.6 (1.2)

Les valeurs sont calculées sur base des répondants du panel

Dans le modèle (2), nous remplaçons la division de la région en zones par une mesure de densité de logements autour du domicile. Plus spécifiquement, DLOG\_DOM mesure le nombre de logements par kilomètre carré calculé dans une zone définie par un rayon de 500 mètres autour du domicile. La longueur du rayon correspond à une distance qui peut facilement s'effectuer à pied. La densité est l'un des indicateurs les plus utilisés dans la littérature sur cette question. Il s'agit en effet d'une caractéristique primaire qui détermine souvent les autres aspects du tissu urbain. Par exemple, la rentabilité des commerces de proximité ou la viabilité et la fréquence d'une ligne d'autobus dépend en grande partie de la densité. Pour caractériser la forme urbaine sur le lieu de travail, nous utilisons également une mesure de densité dans un rayon de 500m autour du lieu de travail. Toutefois, plutôt que le nombre de logements, nous mesurons cette fois le nombre d'emplois au km carré. Cette mesure s'est en effet avérée plus judicieuse lors de tests de spécifications que nous avons effectués. Ces deux variables ont un impact négatif et statistiquement significatif sur les émissions. Un accroissement de 10% de la densité résidentielle est associé à une réduction de 2% des émissions. En d'autres termes, nous obtenons une élasticité à la moyenne de -0,2.<sup>19</sup> Pour l'effet de la densité au lieu de travail, un accroissement de 10% de la densité d'emploi réduit les émissions de 1,2% (soit une élasticité de -0,12). Bien qu'il ne soit pas possible de comparer directement nos résultats, faute d'études similaires, il est tout de même instructif de mettre nos résultats en perspective avec les recherches qui examinent l'impact de la forme urbaine sur la distance totale parcourue ou la quantité de carburant consommée. Selon une revue de la littérature récente établie par la National Academy of Science (2009) des États-Unis, l'élasticité de la distance parcourue relativement à la densité sera comprise entre -0.05 et -0.25, ce qui est tout à fait conforme avec notre estimation. Brownstone et Golob (2009) estime un système de trois équations pour expliquer la distance parcourue, la consommation de carburant et la densité résidentielle à partir de données

<sup>19</sup> Soulignons que la valeur des élasticités varie considérablement suivant le point où elles sont calculées.

concernant des ménages californiens en 2001. Sur base des résultats qu'ils rapportent, on peut évaluer l'élasticité de la demande de carburant en fonction de la densité résidentielle à environ -0.14, soit un ordre de grandeur comparable à notre résultat.

Dans le modèle 3, nous ajoutons des indicateurs qui caractérisent l'offre de transport en commun du répondant. Spécifiquement, nous incluons un indicateur qui mesure le pourcentage des déplacements que le répondant ne pourrait (ou difficilement) faire en transport en commun. Nous utilisons la distance totale d'accès au transport en commun pour déterminer si un déplacement peut ou non se faire en TC. Ainsi, si la distance totale d'accès au TC est supérieure à 2km, nous considérons l'alternative TC comme non viable.<sup>20</sup> Nous incluons également le rapport du temps total de déplacement s'il utilise, pour tout ses déplacements, le TC relativement au temps total s'il utilise toujours un VP. Pour cet indicateur, on considère uniquement les déplacements de plus de 1km et ceux qui peuvent effectivement se faire en TC (*i.e.* donc la distance d'accès au TC est moins de 2km). Pour éviter des valeurs extrêmes, nous censurons la mesure à 4. Cet indicateur est intéressant puisque i) il tient compte des déplacements effectivement réalisés par chaque répondant (en d'autres termes cette mesure est personnalisée) et ii) il mesure une caractéristique (le temps de déplacement) qui a été clairement identifiée dans de nombreuses recherches en transport comme déterminante des choix de mode de transport. Notre mesure souffre cependant de deux limitations importantes: i) nous utilisons des vitesses fixes pour les autobus et ii) nous ne tenons pas compte du temps d'attente pour le TC (qui dépend notamment de la fréquence du service offert).<sup>21</sup> La prise en compte de ces aspects devra se faire dans le cadre d'extensions futures de notre analyse. Dans le modèle 3, l'effet des mesures de densité est un peu plus faible. Les élasticités des émissions relativement à la densité au domicile et sur le lieu de travail sont de respectivement -0,13 et -0,08. Le pourcentage de déplacements qui ne peuvent s'effectuer en TC accroît le bilan des émissions. L'élasticité est cependant assez faible à 0,13. Le rapport du temps de déplacement TC/VP accroît aussi le niveau des émissions. L'élasticité est ici de 0,27. En d'autres termes, une réduction de 10% du temps de déplacement en autobus relativement à l'automobile aboutirait à une réduction des émissions de près de 3%. Notons cependant qu'une telle amélioration du service de transport en commun n'est pas simple puisqu'elle suppose une amélioration moyenne des temps de parcours sur l'ensemble des déplacements du répondant. En d'autres termes, une amélioration de 10% du temps de déplacement sur une seule ligne d'autobus aurait un impact nettement plus limité puisque cela ne toucherait au mieux qu'un sous-ensemble des déplacements du répondant.

---

<sup>20</sup> La distance totale d'accès est la somme de la distance entre l'origine et l'arrêt de départ du déplacement en TC et la distance entre l'arrêt d'arrivée et la destination finale.

<sup>21</sup> L'absence de contrôle de la vitesse effective du TC explique que certaines valeurs de l'indicateur sont inférieures à 1. Il s'agit de cas où les déplacements en voiture se font à une vitesse inférieure à 20 km. Il s'agit cependant quelques rares exceptions.

Finalement, notons que nous sommes capables d'expliquer au mieux (modèle 3) seulement 20% de la variabilité dans le niveau des émissions entre les répondants et cela malgré le fait que nous contrôlons les principales caractéristiques socio-économiques des répondants et des ménages.<sup>22</sup> En d'autres termes, 80% de la variabilité ne s'explique pas par des facteurs traditionnels. Cette performance n'est cependant pas mauvaise lorsque nous la comparons avec celle obtenue dans la littérature sur les choix de transport. Par exemple, Bento et al. (2005) n'est capable d'expliquer que 11% de la variance dans la distance parcourue par véhicule aux États-Unis. Dans la prochaine section, nous examinons la sensibilité de nos résultats à différentes méthodes d'estimation et spécifications en nous concentrant sur le modèle (3) qui explique le mieux le bilan des émissions.

## 4.2 Analyse de sensibilité

Pour déterminer le niveau d'émissions attribuables à un passager du TC, nous avons jusqu'à présent divisé les émissions totales générées par un autobus par sa capacité moyenne (CM). Une autre option est de tenir compte du nombre moyen de passagers. Nous utilisons des données fournies par le Réseau de transport de la Capitale (RTC) pour déterminer le nombre moyen de passagers par autobus en période de pointe et en période hors pointe.<sup>23</sup> Lorsque l'on utilise cette approche, le bilan moyen des émissions s'accroît légèrement pour s'établir à 6 835 g par jour et par répondant. Lorsque l'on ré-estime les modèles statistiques, les résultats restent très similaires. Pour alléger la présentation, nous ne rapportons dans le tableau 9 que les coefficients correspondants aux indicateurs de FU et TC. Comme on peut le constater, les différences avec les effets obtenus dans le tableau 8 sont minimales. Cette conclusion est également valable en ce qui concerne l'effet des autres variables explicatives.

**Tableau 9. Impact de la FU et de l'offre de TC lorsque les émissions du TC sont calculées par passager**

	Modèle 1		Modèle 2		Modèle 3	
	Coef. (écart-type)	Impact (%)	Coef. (écart-type)	Impact (%)	Coef. (écart-type)	Impact (%)
ANCIENNES	1308 (674)	+19	--		--	
NOUVELLES	1895 (590)	+27	--		--	
PERI	4801 (743)	+70	--		--	
DLOG_DOM	--		-0.79 (0.15)	-1.8	-0.53 (0.15)	-1.26
DEMPLOI_LT	--		-0.22 (0.05)	-1.1	-0.15 (0.05)	-0.76

<sup>22</sup> Dans un modèle linéaire, le R-carré peut s'interpréter comme le pourcentage de la variabilité de la variable endogène qui est expliquée par le modèle.

<sup>23</sup> Pour la période correspondant à la vague 1, le nombre moyen de passagers par autobus en période de pointe (hors pointe) est de 15,49 (11,62). Pour la vague 2 et la vague 3, ces nombres sont respectivement de 12,81 (9,7) et 16,27 (11,85).

% SANS TC	--	--	<b>32 (6.5)</b>	<b>+1.3</b>
BUS/VP	--	--	<b>644 (254)</b>	<b>+2.7</b>
R-carré	0.16	0.17	0.20	
Nbr. Obs.	3812	3812	3812	

Il est fort probable que des facteurs non observables au niveau du répondant et du ménage affectent le bilan des émissions (par exemple le degré de conscientisation à l'environnement). Ces facteurs créent donc une corrélation entre les termes d'erreur des observations se rapportant à un même répondant ou un même ménage. Afin d'évaluer l'impact de ces corrélations, nous rapportons dans le tableau 10, les résultats obtenus lorsque l'on ré-estime le modèle (3) mais en supposant cette fois que le terme d'erreur a la structure suivante:

$$\varepsilon_{i,m,j} = \phi_i + \mu_m + v_{i,m,j}$$

En d'autres termes, nous incluons un effet aléatoire au niveau du répondant et du ménage. Notons que nous supposons également que ces termes d'erreur ont une distribution normale (*i.e.*  $\phi_i \sim N(0, \sigma_\phi^2)$  ,  $\mu_m \sim N(0, \sigma_\mu^2)$  ,  $v_{i,m,j} \sim N(0, \sigma_v^2)$ ) Comme on peut le constater, les résultats sont assez comparables à ceux obtenus par MCO.<sup>24</sup> Les signes et l'ampleur des effets restent en effet assez semblables. On note cependant que, pour la plupart des variables, les effets mesurés sont un peu moins importants. Par exemple, un travailleur à temps partiel aurait, en moyenne, un bilan d'émissions inférieur de 16% comparativement à 32% selon les résultats MCO.

Environ 14% des observations correspondent à des cas où le niveau des émissions est nul. Dans la majorité des cas (57%), cela est dû à l'absence de déplacements durant la journée d'observation. Pour le reste, le répondant s'est déplacé mais sans utiliser de modes émetteurs. Cette portion non négligeable d'observations à zéro peut être problématique et mener à un biais dans les estimations obtenues par MCO (voir Wooldridge, 2002). Nous estimons donc à nouveau la spécification (3) mais en utilisant le modèle de régression censurée de type Tobit (voir Wooldridge, 2002). Nous incluons dans ce modèle un effet aléatoire au niveau du répondant. L'estimation se fait grâce à la procédure *xttobit* du logiciel Stata®. Dans le tableau 10, nous ne rapportons pas les coefficients estimés puisque ceux-ci ne peuvent s'interpréter directement. Nous présentons plutôt l'effet marginal total qui peut être comparé avec les résultats obtenus par MCO. Une fois encore, bien que l'on note certaines différences, globalement les effets sont assez similaires. Le modèle Tobit permet également de mesurer l'effet des facteurs explicatifs sur la probabilité que le niveau des émissions soit strictement positif (ou inversement que les émissions soit nulles). En général, les effets vont dans le

<sup>24</sup> Toutefois, nous pouvons rejeter l'hypothèse d'absence de ces effets aléatoires.

même sens que les effets sur le niveau moyen des émissions. Par exemple, un répondant féminin a une probabilité inférieure de 5 points de pourcentage que son bilan quotidien d'émissions soit strictement positif. La densité et l'offre de TC semblent aussi réduire la probabilité que les émissions quotidiennes soient strictement positives.

**Tableau 10. Résultats du modèle avec effets aléatoires et du modèle Tobit**

Variables	Modèle 3 Effet aléatoire		Modèle 3 Tobit		
	Coef. (écart-type)	Impact (%)*	effet marginal total (écart-type)	Impact (%)	Effet sur proba[GES>0] (écart-type)
SANS PERMIS	<b>-1933 (941)</b>	<b>-29</b>	<b>-2232 (743)</b>	<b>-33</b>	<b>-0.13 (0.05)</b>
FEMME	<b>-1647 (364)</b>	<b>-24</b>	<b>-1141 (394)</b>	<b>-17</b>	<b>-0.05 (0.01)</b>
CHEF	-54 (980)		-433 (883)		-0.02 (0.03)
UNIF	424 (452)		482 (406)		0.02 (0.01)
TEMPS PLEIN	Référence		Référence		Référence
ÉTUDIANT	<b>-1335 (797)</b>	<b>-20</b>	<b>-1120 (691)</b>	<b>-17</b>	<b>-0.06 (0.04)</b>
TPARTIEL	<b>-1074 (746)</b>	<b>-16</b>	<b>-1534 (636)</b>	<b>-23</b>	<b>-0.08 (0.04)</b>
RETRAITÉ	<b>-3068 (686)</b>	<b>-45</b>	<b>-3073 (538)</b>	<b>-46</b>	<b>-0.18 (0.03)</b>
SANS EMPLOI	<b>-1498 (669)</b>	<b>-22</b>	<b>-1859 (561)</b>	<b>-28</b>	<b>-0.10 (0.03)</b>
AGE34	-308 (613)		-431 (532)		-0.02 (0.02)
AGE35-49	Référence		Référence		Référence
AGE50-64	-801 (456)		<b>-829 (391)</b>	<b>-12</b>	<b>-0.04 (0.02)</b>
AGE65	1141 (767)		1108 (721)		<b>0.05 (0.03)</b>
% INCONNU	<b>-48 (8)</b>	<b>-0.22</b>	<b>-42.3 (7.6)</b>	<b>-0.18</b>	<b>-0.002 (0.000)</b>
PROP	-176 (595)		-38.5 (490)		-0.001 (0.02)
N_ADULTES	<b>-983 (542)</b>	<b>-15</b>	<b>-957 (449)</b>	<b>-14</b>	<b>-0.04 (0.02)</b>
N_ENFANTS	<b>544 (239)</b>	<b>+8</b>	<b>416 (191)</b>	<b>+6</b>	<b>0.02 (0.009)</b>
INCOME_BAS	Référence		Référence		Référence
INCOME_MED	112 (641)		-133 (534)		-0.006 (0.02)
INCOME_HAU	1173 (816)		753 (671)		0.03 (0.03)
LU	Référence		Référence		Référence
MA	457 (321)		<b>534 (299)</b>	<b>+8</b>	<b>0.02 (0.01)</b>
ME	526 (328)		<b>629 (306)</b>	<b>+9</b>	<b>0.03 (0.01)</b>
JE	<b>559 (332)</b>	<b>+8</b>	<b>624 (310)</b>	<b>+9</b>	<b>0.03 (0.01)</b>
VE	<b>1544 (334)</b>	<b>+23</b>	<b>1601 (322)</b>	<b>+19</b>	<b>0.07 (0.01)</b>
WE	<b>-1590 (293)</b>	<b>-24</b>	<b>-1285 (259)</b>	<b>-19</b>	<b>-0.06 (0.01)</b>
AUTOMNE					
HIVER	229 (667)		-256 (601)		0.01 (0.02)
PRINTEMPS	38 (432)		-308 (377)		-0.01 (0.01)
ÉTÉ	-214 (325)		-101 (283)		-0.004 (0.01)
DLOG_DOM	<b>-0.42 (0.15)</b>	<b>-1.0</b>	<b>-0.50 (0.13)</b>	<b>-1.2</b>	<b>-0.00002 (0.00001)</b>
DEMPLOI_LT	<b>-0.10 (0.04)</b>	<b>-0.54</b>	<b>-0.11 (0.04)</b>	<b>-0.55</b>	<b>-5.76e-6 (0.00)</b>
% SANS TC	<b>51.8 (3.8)</b>	<b>+2.1</b>	<b>40 (3.4)</b>	<b>+1.6</b>	<b>0.001 (0.00)</b>
BUS/VP	<b>657 (167)</b>	<b>+2.7</b>	<b>580 (147)</b>	<b>+2.3</b>	<b>0.028 (0.007)</b>
CONSTANTE	<b>6695 (1580)</b>		--		--
Log likelihood	-38487		-33751		

$\sigma_\phi$	2677 (228)	4298 (193)
$\sigma_\mu$	2911 (295)	

En gras les paramètres qui sont statistiquement significatifs à un seuil de risque de 10% ou moins.

\*: Les impacts sont mesurés relativement à la valeur moyenne des émissions pour l'échantillon (soit 6735 g). Pour les variables discrètes, on calcule l'effet d'un accroissement d'une unité et pour les variables continues, on suppose un accroissement de 10% par rapport à la moyenne.

Plusieurs autres spécifications ont été analysées. Par exemple, nous avons modifié la forme fonctionnelle. Au lieu d'un modèle linéaire, nous avons estimé un modèle de type log-log. Les effets étaient assez similaires mais cette forme fonctionnelle semblait moins appropriée.<sup>25</sup> Nous avons également testé d'autres facteurs explicatifs. Par exemple, nous avons testé l'effet de prix de l'essence, de la distance entre le domicile et l'arrêt d'autobus le plus proche et le nombre d'arrêts dans un rayon de 500m. Ces facteurs se sont avérés ne pas avoir d'effet statistiquement significatif ou être très instables. Nous avons aussi essayé d'inclure le coût relatif des déplacements en autobus et en véhicule privé en tenant compte des coûts monétaires (essence, prix du billet d'autobus etc.) et la valeur du temps. Il s'est avéré que cette variable était très corrélée avec la distance parcourue, ce qui biaisait les résultats et donnait des résultats contre-intuitifs.<sup>26</sup> Nous avons aussi examiné comment les résultats varient lorsque les caractéristiques de FU et TC sont mesurées dans un rayon de 1km (ou 3km) plutôt que de 500m. Les résultats sont relativement comparables. Par exemple avec le modèle (2), l'élasticité des émissions par rapport à la densité autour du domicile (du lieu d'emploi) est de -0.21 (-1.27) lorsqu'elle est mesurée à 1km et de 0.33 (-1.12) lorsqu'elle est mesurée dans un rayon de 3km.

Finalement dans le tableau 11, nous présentons les résultats lorsque l'on ajoute à la spécification (3) soit la variable *DT* qui mesure la distance entre le domicile et le lieu de travail du répondant ou la variable *DC* qui mesure la distance entre le domicile et le centre-ville de Québec.<sup>27</sup> Concernant la variable *DT*, il n'est pas évident que cette variable puisse être considérée véritablement comme prédéterminée puisqu'elle résulte d'un choix du répondant. Il est cependant intéressant d'évaluer dans quelle mesure la FU et le TC affectent les émissions lorsque la distance domicile-travail est fixe. On note tout d'abord une nette amélioration du R-carré. La distance domicile-travail est donc, comme on pouvait s'y attendre, un élément qui détermine le bilan des émissions. Sans surprise également, plusieurs des variables qui caractérisent le statut professionnel deviennent non significatives lorsque *DT*

<sup>25</sup> Le R-carré était en effet nettement inférieur dans ce cas. De plus, ce modèle pose problème puisque le log de zéro n'est pas défini.

<sup>26</sup> En effet, le coût monétaire d'un déplacement en autobus ne dépend pas de la distance alors que pour l'automobile le coût du carburant est directement lié à la distance. Le ratio coût en autobus relativement au coût en automobile diminue donc avec la distance du déplacement. Cette variable servait donc de proxy pour la distance des déplacements.

<sup>27</sup> Nous plaçons le centre-ville au Parlement de Québec.

est inclus (par exemple ÉTUDIANT, TPARTIEL, RETRAITÉ). Notons que pour les répondants sans emploi ou retraités, *DT* est égal à zéro. Concernant la FU et le TC, les effets de la densité restent assez semblables. Il n'y a que la variable BUS/VP dont le coefficient diminue et devient statistiquement non significatif.

Lorsque l'on inclut la distance entre le domicile et le centre-ville (*DC*), le coefficient de variable densité de logement (*DLOG\_DOM*) diminue fortement et devient statistiquement non significatif. Il est donc possible que les résultats obtenus jusqu'à présent concernant l'impact de la densité surestiment l'effet réel de cette variable puisqu'elle capture en partie un effet d'éloignement. En fait, la densité est fortement corrélée avec la distance au centre-ville (la corrélation est de -0.66). Ainsi, il n'est pas évident qu'une densification de quartiers éloignés ait véritablement l'impact qui a été mesuré précédemment. L'élasticité des émissions par rapport à la densité de -0.2 obtenue dans la section 4.1 doit donc être vue comme une valeur maximale. En d'autres termes, une politique de densification risque d'avoir un impact moindre sur les émissions à moins de créer un pôle qui s'apparente à un nouveau centre-ville. Dans la prochaine section, nous décomposons et analysons les émissions de GES par motif et selon le degré de planification des déplacements.

**Tableau 11. Résultats avec la distance domicile-travail**

Variables	Modèle avec <i>DT</i>		Modèle <i>DC</i>	
	Coef. (écart-type)	Impact (%)*	Coef. (écart-type)	Impact (%)*
SANS PERMIS	<b>-2744 (635)</b>	<b>-40</b>	<b>-2878 (628)</b>	<b>-43</b>
FEMME	<b>-1491 (357)</b>	<b>-22</b>	<b>-1499 (383)</b>	<b>-22</b>
CHEF	-314 (910)		-316 (975)	
UNIF	<b>868 (438)</b>	<b>13</b>	<b>926 (470)</b>	<b>14</b>
TEMPS PLEIN	Référence		Référence	
ÉTUDIANT	-378 (756)		-1202 (755)	
TPARTIEL	-1026 (887)		<b>-1956 (953)</b>	<b>-29</b>
RETRAITÉ	-327 (775)		<b>-3349 (747)</b>	<b>-50</b>
SANS EMPLOI	1226 (895)		<b>-1900 (864)</b>	<b>-28</b>
AGE34	-229 (569)		-460 (652)	
AGE35-49	Référence		Référence	
AGE50-64	<b>-665 (546)</b>	<b>-10</b>	<b>-1204 (624)</b>	<b>-18</b>
AGE65	1737 (807)		<b>1612 (842)</b>	<b>24</b>
% INCONNU	<b>-49 (9.9)</b>	<b>-0.22</b>	<b>-43 (9.6)</b>	<b>-0.19</b>
PROP	-241 (498)		-241 (498)	

N_ADULTES	<b>-1184 (451)</b>	<b>-18</b>	<b>-1530 (521)</b>	<b>-23</b>
N_ENFANTS	<b>646 (269)</b>	<b>+9</b>	<b>489 (286)</b>	<b>+7</b>
INCOME_BAS	Référence		Référence	
INCOME_MED	380 (572)		351 (591)	
INCOME_HAU	1164 (780)		1273 (816)	
LU	Référence		Référence	
MA	380 (311)		382 (322)	
ME	505 (348)		520 (369)	
JE	<b>606 (334)</b>	<b>+9</b>	<b>650 (345)</b>	<b>+9</b>
VE	<b>1615 (417)</b>	<b>+24</b>	<b>1610 (431)</b>	<b>+21</b>
WE	<b>-1331 (353)</b>	<b>-20</b>	<b>-1412 (368)</b>	<b>-24</b>
AUTOMNE	Référence		Référence	
HIVER	1654 (1221)		1551 (1210)	
PRINTEMPS	867 (604)		1015 (611)	
ÉTÉ	439 (437)		717 (454)	
CENTRE	Référence		Référence	
DLOG_DOM	<b>-0.42 (0.14)</b>	<b>-1.01</b>	-0.15 (0.18)	
DEMPLOI_LT	<b>-0.10 (0.04)</b>	<b>-0.55</b>	<b>-0.16 (0.05)</b>	<b>-0.82</b>
% SANS TC	<b>27.6 (5.4)</b>	<b>+1.1</b>	<b>29.8 (6.4)</b>	<b>+1.2</b>
BUS/VP	343.7 (219)		423 (256)	
DT	<b>336.4 (39.5)</b>	<b>+2.8</b>	--	
DC	--		<b>217 (60)</b>	<b>+2.8</b>
CONSTANTE	<b>4747 (1431)</b>		<b>5542 (1726)</b>	
R-carré	0.26		0.22	
Nb robs.	3812		3812	

En gras les paramètres qui sont statistiquement significatifs à un seuil de risque de 10% ou moins.

\*: Les impacts sont mesurés relativement à la valeur moyenne des émissions pour l'échantillon (soit 6735 g). Pour les variables discrètes, on calcule l'effet d'un accroissement d'une unité et pour les variables continues, on suppose un accroissement de 10% par rapport à la moyenne.

### 4.3 Analyse par motif et niveau de planification des déplacements

Dans le tableau 12, nous présentons les résultats des estimations lorsque l'on distingue les émissions suivant le motif du déplacement. Nous nous intéressons plus particulièrement aux émissions liées au travail/études, aux loisirs et aux activités de magasinage.<sup>28</sup> Précisons que pour chaque catégorie, nous estimons le modèle séparément.<sup>29</sup> Nous utilisons la spécification du modèle (3) du tableau 7 sauf pour les émissions liées au magasinage où nous remplaçons les mesures de densité de résidence et

<sup>28</sup> Nous ignorons donc les émissions liées aux "retours" et à la catégorie "autres motifs".

<sup>29</sup> En d'autres termes, nous n'estimons pas ici un système d'équation où les termes d'erreur entre les trois types d'émissions seraient corrélés. Ce type d'analyse sera réalisé dans le cadre de recherche ultérieure.

d'emploi par des mesures de la densité basées sur le nombre de commerces. Pour les émissions travail, nous excluons les répondants qui n'ont pas d'emploi, ce qui explique le nombre d'observations plus faible.

Les constatations suivantes peuvent être tirées à partir de l'analyse du tableau 12:

- Il est plus difficile d'expliquer les variations dans le niveau des émissions loisirs et magasinage que celles liées au travail. En effet, le R-carré est nettement plus faible pour les émissions loisirs et magasinage;
- Les femmes produisent systématiquement moins d'émissions que les hommes sauf pour les activités de magasinage où il n'y pas de différence significative entre les sexes;
- Alors que les répondants chefs de famille semblent produire moins d'émissions liées aux loisirs, un diplôme universitaire favorise ce type d'émissions;
- L'âge semble avoir relativement peu d'effet sauf pour les émissions travail pour les moins de 35 ans et les émissions loisirs pour les plus de 65 ans;
- Il semble que le problème de réponse incomplète semble surtout se manifester pour des déplacements liés aux loisirs et au magasinage. En effet, la variable % INCONNU n'a pas d'effet significatif sur les émissions travail. Ceci s'explique probablement par le caractère routinier des déplacements travail, ce qui doit favoriser leur inclusion dans le carnet d'activités;
- On note la présence d'économies d'échelle pour les trois types d'émissions. L'effet est cependant plus marqué pour les émissions loisirs. Ce type d'activités est certainement plus propice au covoiturage;
- Les variables sur les jours de la semaine et la saison ont des impacts qui sont assez intuitifs;
- La densité au domicile et sur le lieu de travail réduit les émissions travail et loisirs. Pour les activités de magasinage, seule la densité de commerce autour du domicile a un effet significatif. Notons cependant que l'impact est assez limité puisque l'élasticité n'est que de 0,06. L'impact est cependant un peu plus important lorsque l'on mesure la densité de commerce dans un rayon plus large. Avec une mesure basée sur un rayon de 1 km, l'élasticité émission-densité de commerce est de 0,076 et avec un rayon de 3 km de 0,26.
- Les indicateurs d'accessibilité et d'offre de TC ont un effet sur les émissions. Notons cependant que, de manière très surprenante, les émissions travail ne semblent pas sensibles à la mesure du temps relatif de déplacement en autobus et véhicule privé (BUS/VP). Par contre, cette mesure a un impact significatif sur les émissions loisirs et magasinage. Ceci est surprenant puisqu'il est généralement admis

que l'amélioration de l'offre de TC permettrait surtout de réduire les émissions des déplacements routiniers comme ceux liés au travail. Il est cependant fort probable que le choix de mode de transport pour se rendre au travail soit une décision de long terme qui dépend de nombreux facteurs autres que les temps relatifs. Des recherches complémentaires sont certainement nécessaires pour investiguer davantage ce résultat.

**Tableau 12. Analyse du bilan des émissions suivant le motif de déplacement**

Variables	Émissions liées au travail		Émissions liées aux loisirs		Émissions liées au magasinage	
	Coef. (écart-type)	Impact (%)*	Coef. (écart-type)	Impact (%)*	Coef. (écart-type)	Impact (%)*
SANS PERMIS	<b>-742 (274)</b>	<b>-35</b>	<b>-674 (206)</b>	<b>-55</b>	<b>-501 (102)</b>	<b>-60</b>
FEMME	<b>-820 (225)</b>	<b>-39</b>	<b>-221 (102)</b>	<b>-18</b>	15 (77)	
CHEF	17.2 (361)		<b>-967 (451)</b>	<b>-79</b>	174 (151)	
UNIF	-164 (274)		<b>414 (137)</b>	<b>34</b>	55 (80)	
TEMPS PLEIN	Référence		Référence		Référence	
ÉTUDIANT	<b>-894 (300)</b>	<b>-42</b>	183 (299)		49 (151)	
TPARTIEL	<b>-1453 (339)</b>	<b>-70</b>	-370 (224)		4.69 (139)	
RETRAITÉ	--		-200 (222)		107 (152)	
SANS EMPLOI	--		-67 (213)		<b>334 (174)</b>	<b>+40</b>
AGE34	<b>-460 (264)</b>	<b>-22</b>	-62 (208)		48 (130)	
AGE35-49	Référence		Référence		Référence	
AGE50-64	-480 (317)		-168 (158)		-96 (103)	
AGE65	190 (980)		<b>598 (321)</b>	<b>+49</b>	171 (206)	
% INCONNU	-2.0 (6.2)		<b>-11 (2.6)</b>	<b>-0.28</b>	<b>-10 (1.6)</b>	<b>-0.38</b>
PROP	-68.5 (251)		-182 (188)		<b>249 (99)</b>	<b>+29</b>
N_ADULTES	<b>-549 (253)</b>	<b>-26</b>	<b>-445 (166)</b>	<b>-36</b>	-144 (87)	
N_ENFANTS	122 (129)		-89 (76)		36 (43)	
INCOME_BAS	Référence		Référence		Référence	
INCOME_MED	15.6 (342)		0.1 (240)		115 (128)	
INCOME_HAU	408 (419)		303 (322)		167 (156)	
LU	Référence		Référence		Référence	
MA	-51.1 (151)		121 (118)		<b>199 (107)</b>	<b>+23</b>
ME	292 (230)		154 (140)		<b>57 (95)</b>	
JE	68 (225)		177 (134)		<b>213 (107)</b>	<b>+25</b>
VE	-19 (254)		<b>647 (166)</b>	<b>+53</b>	<b>455 (121)</b>	<b>+54</b>
WE	<b>-2304 (263)</b>	<b>-109</b>	<b>676 (138)</b>	<b>+55</b>	<b>191 (105)</b>	<b>+23</b>
AUTOMNE	Référence		Référence		Référence	
HIVER	659 (523)		311 (295)		-103 (163)	
PRINTEMPS	-29 (322)		285 (202)		-97 (82)	
ÉTÉ	-60 (264)		<b>540 (159)</b>	<b>+44</b>	-109 (82)	
DLOG_RES	<b>-0.15 (0.08)</b>	<b>-1.1</b>	<b>-0.10 (0.04)</b>	<b>-1.4</b>	--	
DEMPLOI_LT	<b>-0.07 (0.02)</b>	<b>-1.2</b>	<b>-0.02 (0.01)</b>	<b>-0.81</b>	--	
DCOM_DOM	--		--		<b>-1.5 (0.74)</b>	<b>-0.62</b>
DCOM_LT					0.77 (0.61)	
% SANS TC	<b>8.6 (3.4)</b>	<b>1.4</b>	<b>9.8 (2.3)</b>	<b>+2.2</b>	-0.02 (1.05)	
BUS/VP	69.3 (132)		<b>155 (75)</b>	<b>+3.5</b>	<b>253 (48)</b>	<b>+8.2</b>

CONSTANTE	<b>3998 (892)</b>		<b>1568 (644)</b>		-405 (325)	
R-carré	0.19		0.07		0.05	
Nbr. obs.	2690		3812		3812	

Les écarts-type sont robustes à la corrélation des observations d'un même ménage.

En gras les paramètres qui sont statistiquement significatifs à un seuil de risque de 10% ou moins.

\*: Les impacts sont mesurés relativement à la valeur moyenne des émissions pour l'échantillon (soit 2100 g pour les émissions liées au travail, 1222 g pour celles motivées par les loisirs et 845 g pour les activités de magasinage). Pour les variables discrètes, on calcule l'effet d'un accroissement d'une unité et pour les variables continues, on suppose un accroissement de 10% par rapport à la moyenne.

On peut aussi classer les émissions d'un répondant suivant qu'elles sont générées par des déplacements routiniers, planifiés ou impulsifs. Dans le carnet d'enquêtes, le répondant devait classer le déplacement suivant cette typologie. Spécifiquement, un déplacement est considéré comme planifié s'il n'était pas routinier (c.-à-d. il n'est pas répété de manière régulière) et est décidé au moins une heure à l'avance. S'il est décidé moins d'une heure à l'avance il est considéré comme impulsif. Le tableau 13 présente les résultats du modèle (3) estimé séparément pour chaque type d'émissions (routinières, planifiées, impulsives). Dans la mesure où les émissions routinières sont dominées par les déplacements liés au travail, les résultats sont assez proches de ceux du tableau 12. Notons aussi que les économies d'échelle au sein du ménage semblent concerner davantage les déplacements impulsifs. Sans surprise, ce type de déplacement est plus important en fin de semaine et en été. La FU semble aussi avoir peu d'impact sur les émissions liées à des déplacements impulsifs. Par contre, comme précédemment, on note que la variable BUS/VP n'a pas d'effet significatif sur les émissions routinières mais bien sur les émissions planifiées et impulsives.

**Tableau 13. Analyse du bilan des émissions suivant le degré de planification**

Variables	Émissions liées à des déplacements routiniers		Émissions liées à des déplacements planifiés		Émissions liées à des déplacements impulsifs	
	Coef. (écart-type)	Impact (%)*	Coef. (écart-type)	Impact (%)*	Coef. (écart-type)	Impact (%)*
SANS PERMIS	<b>-828 (356)</b>	<b>-27</b>	<b>-1273 (263)</b>	<b>-61</b>	<b>-770 (230)</b>	<b>-53</b>
FEMME	<b>-927 (244)</b>	<b>-30</b>	-254 (183)		<b>-346 (148)</b>	<b>-24</b>
CHEF	389 (576)		-27 (273)		-494 (458)	
UNIF	13 (292)		<b>488 (225)</b>	<b>+23</b>	85 (162)	
TEMPS PLEIN	Référence		Référence		Référence	
ÉTUDIANT	<b>-961 (416)</b>	<b>-31</b>	-266 (274)		-8.2 (337)	
TPARTIEL	<b>-1419 (546)</b>	<b>-46</b>	-89 (481)		<b>-674 (259)</b>	<b>-47</b>
RETRAITÉ	<b>-2740 (459)</b>	<b>-88</b>	-194 (318)		-391 (310)	
SANS EMPLOI	<b>-1968 (520)</b>	<b>-64</b>	422 (411)		-21 (365)	
AGE34	<b>-731 (411)</b>	<b>-24</b>	-183 (269)		<b>457 (246)</b>	<b>+32</b>
AGE35-49	Référence		Référence		Référence	
AGE50-64	<b>-1085 (393)</b>	<b>-35</b>	<b>-472 (272)</b>	<b>-23</b>	69 (229)	
AGE65	450 (550)		-89 (399)		<b>806 (348)</b>	<b>+58</b>

% INCONNU	<b>-21.4 (5.6)</b>	<b>-0.21</b>	<b>-17 (4.5)</b>	<b>-0.25</b>	<b>-9.6 (4.3)</b>	<b>-0.20</b>
PROP	6.7 (375)		-124 (259)		329 (206)	
N_ADULTES	-350 (311)		<b>-627 (218)</b>	<b>-30</b>	<b>-586 (178)</b>	<b>-40</b>
N_ENFANTS	194 (168)		168 (112)		<b>191 (112)</b>	<b>+13</b>
INCOME_BAS	Référence		Référence		Référence	
INCOME_MED	<b>538 (322)</b>	<b>+17</b>	-87 (248)		-90 (273)	
INCOME_HAU	<b>809 (485)</b>	<b>+26</b>	530 (331)		210 (343)	
LU	Référence		Référence)		Référence	
MA	-82 (218)		74 (210)		<b>398 (184)</b>	<b>+27</b>
ME	198 (221)		155 (247)		197 (158)	
JE	226 (251)		311 (246)		77 (149)	
VE	<b>528 (270)</b>	<b>+17</b>	<b>640 (262)</b>	<b>+30</b>	<b>509 (169)</b>	<b>+35</b>
WE	<b>-1953 (267)</b>	<b>-63</b>	-17 (220)		<b>459 (151)</b>	<b>+32</b>
AUTOMNE	Référence		Référence		Référence	
HIVER	567 (534)		226 (541)		598 (549)	
PRINTEMPS	413 (412)		-16 (288)		25 (210)	
ÉTÉ	56 (287)		-44 (230)		<b>379 (179)</b>	<b>+26</b>
DLOG_DOM	<b>-0.32 (0.11)</b>	<b>-1.7</b>	<b>-0.15 (0.05)</b>	<b>-1.2</b>	-0.07 (0.05)	
DEMPLOI_LT	<b>-0.12 (0.03)</b>	<b>-1.4</b>	-0.03 (0.01)		-0.01 (0.01)	
% SANS TC	<b>15.8 (4.1)</b>	<b>+1.4</b>	<b>9.05 (2.4)</b>	<b>+1.2</b>	<b>6.5 (2.1)</b>	<b>+1.2</b>
BUS/VP	-42 (163)		<b>321 (99)</b>	<b>+4.3</b>	<b>373 (79)</b>	<b>+7.4</b>
CONSTANTE	<b>5163 (1002)</b>		<b>1701 (724)</b>		516 (596)	
R-carré	0.18		0.07		0.06	
Nbr. obs.	3812		3812		3812	

Les écarts-type sont robustes à la corrélation des observations d'un même ménage.

En gras les paramètres qui sont statistiquement significatifs à un seuil de risque de 10% ou moins.

\*: Les impacts sont mesurés relativement à la valeur moyenne des émissions pour l'échantillon (soit 3084 g pour les émissions routinières, 2088g pour les émissions planifiées et 1446 g pour les émissions impulsives). Pour les variables discrètes, on calcule l'effet d'un accroissement d'une unité et pour les variables continues, on suppose un accroissement de 10% par rapport à la moyenne.

## 5. IMPLICATIONS ET CONCLUSIONS

Notre analyse visait deux objectifs: i) établir un bilan des émissions de GES causées par la mobilité courante des particuliers dans la région de Québec et ii) analyser ses déterminants. Nous avons établi que les résidents de Québec produisaient en moyenne 6,7 kg de CO<sub>2</sub>e par jour par leurs déplacements. Le niveau d'émissions varie cependant considérablement entre les individus. Notre analyse statistique a mis en évidence le rôle majeur que peuvent jouer les caractéristiques socio-économiques pour expliquer ces variations. Plus spécifiquement, nous pouvons relever les points suivants:

- Les personnes sans permis de conduire, celles qui n'ont pas d'emploi à temps plein et les femmes ont en moyenne un bilan d'émissions nettement plus bas.
- A partir de 50 ans, on note une réduction des émissions de GES liées à la mobilité. Après 65 ans, cette baisse est liée au statut de retraité.
- La composition familiale du ménage joue également un rôle important dans le bilan des émissions. Si la présence d'enfants de moins de 16 ans

accroît le niveau des émissions des adultes, on note surtout l'existence d'économies d'échelle non négligeables dans le niveau d'émissions en fonction du nombre d'adultes.

- Un revenu élevé est associé à un bilan des émissions plus important. Cet effet n'est cependant pas toujours statistiquement significatif. Ceci peut cependant être lié à l'imprécision de notre mesure du revenu familial.

Au niveau de l'impact de la FU et de l'offre de TC, nous montrons qu'il existe des différences marquées dans le bilan suivant la zone de résidence et cela même lorsque l'on contrôle pour les caractéristiques socio-économiques. Par exemple, un résident en périphérie émet 70% plus d'émissions de GES qu'un résident qui a les mêmes caractéristiques mais qui réside au centre-ville. Par contre, nous montrons aussi que les différents indicateurs caractérisant la FU et le TC ont individuellement des impacts relativement faibles. Par exemple, nous obtenons qu'un accroissement de 10% de la densité résidentielle dans un quartier réduit, au mieux, de 2% des émissions liées aux déplacements. Cela peut paraître contradictoire avec les différences marquées qui existent entre les zones de résidence. Toutefois, ce ne l'est pas puisque les caractéristiques de la forme urbaine de l'offre de TC sont très marquées entre les différentes zones de la région. Par exemple, la densité résidentielle est en moyenne huit fois plus importante au centre-ville qu'en périphérie. Nos résultats sont, en fait, tout à fait conformes avec ceux obtenus par Bento et al. (2005) aux États-Unis. Ces auteurs analysent l'impact de la FU et de l'offre de TC sur le nombre de voitures possédées par un ménage, la distance parcourue, les choix de modes de transport. L'analyse s'effectue sur des données se rapportant à 114 villes aux États-Unis en 2001. Ils montrent que les indicateurs de FU et de TC ont des effets significatifs sur les choix de transport mais que la magnitude de ces effets est faible (*i.e.* toutes les élasticités sont inférieures à 0.1 en valeur absolue). Toutefois, lorsque l'on modifie simultanément et de manière drastique ces différents indicateurs, l'impact peut devenir non négligeable. Par exemple, sur base de leurs résultats, ils montrent qu'il serait possible de réduire de 25% l'utilisation de l'automobile en transformant la FU et l'offre de TC de la ville d'Atlanta (une ville dessinée pour l'automobile) pour la faire correspondre aux caractéristiques urbaines de la ville de Boston. Cela supposerait cependant des transformations majeures puisque cela impliquerait notamment une augmentation de plus de 60% de la densité de population !

Nos résultats ont deux implications importantes pour les politiques publiques:

- 1) Les changements dans la structure sociodémographique de la population devraient jouer un rôle déterminant dans l'évolution future des émissions liées au transport des personnes. Selon nos résultats, le vieillissement de la population devrait favoriser la baisse des émissions. Par contre, l'accroissement du pourcentage de personnes vivant seules pourrait avoir l'effet contraire. Ainsi, des politiques publiques favorisant l'augmentation du nombre d'adultes par ménage

pourraient donc avoir un impact positif sur le bilan des émissions de GES.

- 2) Il semble possible de réduire les émissions liées au transport urbain en modifiant la FU et l'offre de TC. Toutefois, nos résultats montrent que des changements drastiques dans le tissu urbain sont nécessaires pour réduire de manière significative les émissions. Évidemment, cela pose la question des coûts mais aussi du temps que de tels changements pourraient prendre. Par contre, des changements à la marge dans le tissu urbain (par exemple une politique de densification "douce") ne devraient pas mener à des réductions d'émissions marquées.

Finalement, il est important de préciser les limites de notre analyse en soulignant des pistes pour des recherches futures. Premièrement, plusieurs améliorations pourraient être effectuées dans notre mesure des émissions. Il serait notamment utile d'améliorer la mesure des émissions du transport en commun (tenir compte de la vitesse, des taux de chargement de chaque ligne) et de tenir compte des conditions climatiques (p.ex. départ à froid). Deuxièmement, l'analyse de l'impact de la FU et de l'offre de TC est difficile dans la mesure où il existe plusieurs indicateurs et que ceux-ci sont en général fortement corrélés. Il serait utile tout d'abord d'améliorer certains indices que nous avons utilisés. Par exemple, il faudrait tenir compte de la fréquence des lignes d'autobus et des temps d'attente. Il serait aussi important de tenir compte des contraintes sur le stationnement qui jouent certainement un rôle non négligeable dans le choix de mode de transport. Il pourrait aussi être utile de synthétiser les différents indicateurs en développant une typologie fine des quartiers. Troisièmement, il serait possible de développer un modèle qui explique simultanément les différents aspects qui affectent le bilan des émissions. Il pourrait s'agir, par exemple, d'un système d'équations pour expliquer le bilan des émissions, la distance parcourue, le taux d'émissions et le choix de localisation du ménage. Quatrièmement, la question de l'existence de biais d'auto-sélection devra être réexaminée. Si des études récentes suggèrent que ce biais semble sous contrôle lorsque l'on inclut dans l'analyse les principales caractéristiques socio-économiques, cette question n'est pas encore complètement réglée. Cinquièmement, la taille de l'échantillon que nous avons utilisé est très limitée et ne concerne qu'une région. Il serait donc pertinent de refaire l'analyse sur des données plus vaste et qui concernent d'autres régions. Les enquêtes OD seraient une source à considérer même si elles sont moins détaillées que les données du panel que nous avons exploité dans ce rapport.

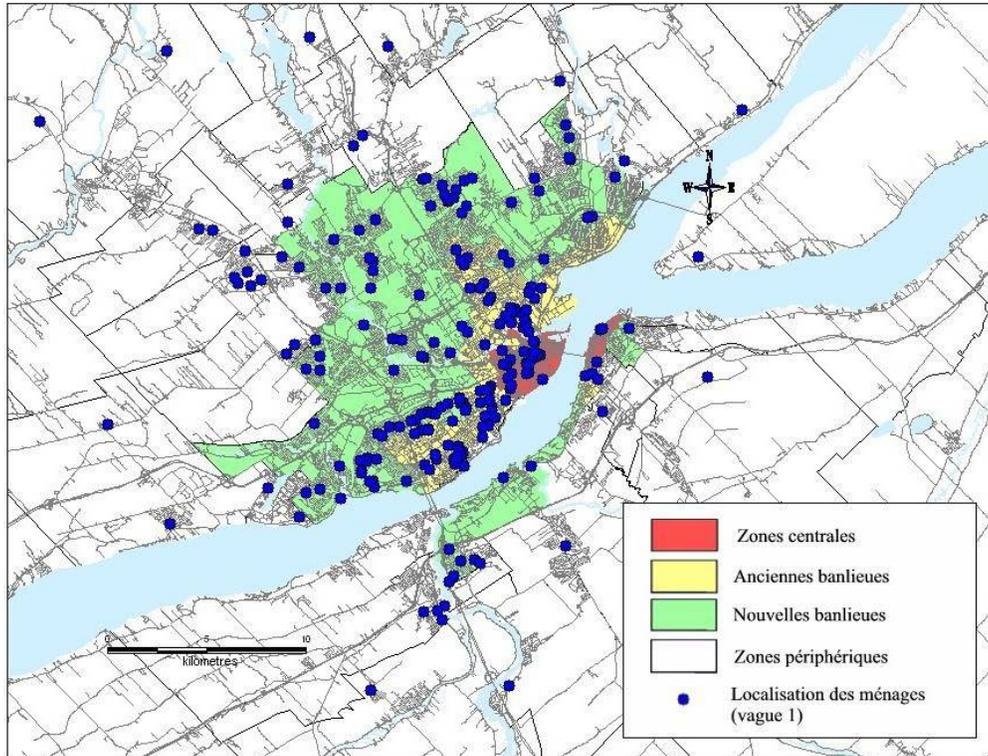
## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BABIN André, Pierre FOURNIER, et Louis GOUVRIL. Modèle d'émission des polluants et des GES et modèle de consommation des carburants pour MOTREM, rapport de travail, Ministère des transports du Québec, 2004.
- BARLA Philippe, Nathalie BOUCHER, et Guillaume DESROSIERS. Caractérisation du parc de véhicules légers immatriculés au Québec en 2003, 2004 et 2005 en termes d'efficacité énergétique et d'émissions de gaz à effet de serre, rapport du CDAT soumis à l'Agence de l'efficacité énergétique et au Ministère des transports du Québec, 2008.
- BARLA Philippe, Luis F. MIRANDA-MORENO, et Nikolas SAVARD-DUQUET, *Forme Urbaine et Mobilité: Que dit la recherche?*, rapport de recherche du CDAT soumis au Ministère des Transports du Québec, 2010.
- BENTO, Antonio M., Maureen L. CROPPER, Ahmed MUSHFIQ MOBARAK, et Katja VINHA. « The effects of urban spatial structure on travel demand in the United States », *The Review of Economics and Statistics*, August 2005, 87(3): 466-478.
- BHAT, Chandra R., et Jessica Y. GUO. «A comprehensive analysis of built environment characteristics on household residential choice and auto ownership levels», *Transportation Research Part B*, 41, 2007, 506-526.
- BROWNSTONE, David, et Thomas F. GOLOB. «The impact of residential density on vehicle usage and energy consumption», *Journal of Urban Economics*, 65, 2009, 91-98.
- DÉVELOPPEMENT DURABLE, ENVIRONNEMENT ET PARCS QUÉBEC (2008), *Inventaire Québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2006 et leur évolution depuis 1990*, Direction des politiques de la qualité atmosphérique.
- FANG, Hao Audrey. « A discrete-continuous model of households' vehicle choice and usage, with an application to the effects of residential density », *Transportation Research Part B*, 42, 2008, 736-758.

- LEE-GOSSELIN, M.E.H: «A data collection strategy for perceived and observed flexibility in the spatio-temporal organization of household activities and associated travel», in: TIMMERMANS, H.J.P. *Progress in Activity-Based Analysis*. Elsevier, 2005, 355-371.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Driving and the Built Environment: The effects of compact development on motorized travel, energy use, and CO2 emissions. Transportation Research Board Special Report 298*, 2009.
- PINJARI, Abdul Rawoof, Ram M. PENDYALA, Chandra R. BHAT, et Paul A. WADDELL. « Modeling residential sorting effects to understand the impact of the built environment on commute mode choice », *Transportation*, 2007, 34-557-573, DOI 10.1007/s11116-007-9127-7.
- POTOGLOU, Dimitris, et Pavlos S. KANAROGLOU. « Modelling car ownership in urban areas : a case study of Hamilton, Canada », *Journal of Transport Geography*, 16, 2008, 42-54.
- RESSOURCES NATURELLES CANADA. *Guide de données sur la consommation d'énergie 1990 et 1997 à 2003*, Office de l'efficacité énergétique, 2005.
- TECSULT INC. *Inventaire global des émissions de gaz à effet de serre de l'agglomération de Québec, rapport final soumis à la ville de Québec*, 2008.
- TREMBLAY Pierre. « Modélisation des transports à l'échelle régionale: survol des approches utilisées à Transports-Québec ». 42nd congress of the Quebec Association of Transportation and Roads, 2007.
- VANDERSMISSEN Marie-Hélène, Paul VILLENEUVE and Marius THÉRIAULT. «What about Effective Access to Cars in Motorized Households? », *The Canadian Geographer*, 2004, 48(4), 488-504.
- WOOLDRIDGE Jeffrey. *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. The MIT Press, 2002.



## CARTE DE LA RÉGION DE QUÉBEC ET LOCALISATION DES MÉNAGES SONDÉS



### Liste des municipalités visées par l'enquête panel:

Beauport, Boischatel, Cap Rouge, Charlesbourg, Charny, Lac-Beauport, Lac-Saint-Charles, L'Ancienne-Lorette, L'Ange-Gardien, Lévis, Loretteville, Québec, Saint-Augustin-de-Desmaures, Sainte-Foy, Sainte-Hélène-de-Breakeyville, Saint-Émile, Sainte-Pétronille, Saint-Étienne-de-Lauzon, Saint-Gabriel-de-Valcartier, Saint-Jean-Chrysostome, Saint-Joseph-de-la-Pointe-de-Lévy, Saint-Lambert-de-Lauzon, Saint-Rédempteur, Saint-Romuald, Shannon, Sillery, Stoneham-et-Tewkesbury, Vanier, Val Béclair



## DÉFINITION DES DÉPLACEMENTS

Un déplacement est défini comme une activité qui implique un changement de lieu (*i.e.* une origine qui est différente de la destination). Nous excluons:

- Les observations où le répondant indique un mode de transport ou une durée de déplacement mais où l'origine est la même que la destination c.-à-d. "des déplacements sans changement de lieu";
- Les déplacements non motorisés (vélo, marche) qui correspondent à des "promenades" c.-à-d. dont le but n'est pas de changer de lieu. Ces activités sont repérées à travers le motif de l'activité (ex. "aller promener le chien", "promenade dans le parc", "faire de l'exercice")
- Les déplacements longue distance soit les déplacements dont la distance est comprise entre 60 et 100 km si l'activité est rapportée comme "non routinière" et tous les déplacements de plus de 100 km. Les déplacements qui se déroulent entièrement hors région sont également exclus.
- Les déplacements pour lesquels on n'est pas capable de géo-localiser l'origine ou la destination.

Le tableau 1-B montre pour chaque vague l'importance de chaque catégorie d'observations exclues.

**Tableau 1-B. Nombre d'observations supprimées par critère et par vague**

	<b>Vague 1</b>	<b>Vague 2</b>	<b>Vague 3</b>	<b>Total</b>
Sans changement de lieu	950	128	62	1140
Promenade	531	212	118	861
Géo-localisation manquante	655	15	13	683
Longue distance et hors région	175	61	18	253
Déplacements pris en compte	10 823	2630	2304	15 749