

**Analyse économétrique du taux
de chargement des camions se
déplaçant au Québec**



**SOCIOÉCONOMIE
DES TRANSPORTS**



**ÉTUDES ET RECHERCHES
EN TRANSPORT**

**Analyse économétrique du taux
de chargement des camions se
déplaçant au Québec**

**SOCIOÉCONOMIE
DES TRANSPORTS**

**Philippe Barla
Denis Bolduc
Nathalie Boucher
Jonathan Watters**

ÉTUDES ET RECHERCHES
EN TRANSPORT

**ANALYSE ÉCONOMÉTRIQUE
DU TAUX DE CHARGEMENT DES CAMIONS
SE DÉPLAÇANT AU QUÉBEC**

Philippe Barla
Denis Bolduc
Nathalie Boucher
Jonathan Watters

Centre de données et d'analyse sur les transports (CDAT)
Département d'économique
Université Laval

Réalisé pour le compte du ministère des Transports du Québec

Novembre 2006

La présente étude a été réalisée à la demande du ministère des Transports du Québec et a été financée par la Direction de la recherche et de l'environnement.

Les opinions exprimées dans le présent rapport n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions du ministère des Transports du Québec, de Ressources naturelles Canada ou celles du Groupe de Recherche sur les Transports au Canada.

Remerciements

La présente étude a été réalisée grâce au programme de soutien financier à la recherche universitaire et avec la collaboration technique des spécialistes du Service de la modélisation des systèmes de transport.

Les travaux de l'équipe de chercheurs ont également bénéficié d'un soutien financier de Ressources Naturelles Canada et M. Jonathan Watters a reçu, dans le cadre de ce projet, une bourse du Groupe de Recherche sur les Transports au Canada pour la réalisation de son mémoire de maîtrise.

Dépôt légal

Bibliothèque nationale du Québec, 2006

ISBN-13 : 978-2-550-48373-1 (version imprimée)

ISBN-10 : 2-550-48373-1 (version imprimée)

ISBN-13 : 978-2-550-48374-8 (pdf)

ISBN-10 : 2-550-48374-X (pdf)

Titre et sous-titre du rapport Analyse économétrique du taux de chargement des camions se déplaçant au Québec		N° du rapport Transports Québec RTQ-06-05	
		Date de publication du rapport (Année – Mois) 2006-11	
Titre du projet de recherche Analyse économétrique du taux de chargement des camions interurbains au Québec		N° du contrat (RRDD-AA-CCXX) 2520-05-RA01	N° de projet ou dossier R556.1
Responsable de recherche Philippe Barla		Date du début de la recherche 2005-05	Date de fin de la recherche 2006-04
Auteur(s) du rapport Philippe Barla, Denis Bolduc, Nathalie Boucher et Jonathan Watters			
Chargé de projet, direction Youssef Hajoui, Direction de la planification		Coût total de l'étude 33 400 \$	
Étude ou recherche réalisée par (nom et adresse de l'organisme) Centre de données et d'analyse sur les transports (CDAT) Université Laval Québec (Québec) G1K 7P4		Étude ou recherche financée par (nom et adresse de l'organisme) <i>Préciser DRE ou autre direction du MTQ</i> Direction de la recherche et de l'environnement 930, chemin Sainte-Foy Québec (Québec) G1S 4X9	
<p>Problématique Dans le marché du transport de marchandises, les transporteurs font face à un problème complexe d'appariement qui engendre une sous-utilisation des capacités disponibles. La performance d'un camion, en matière d'efficacité énergétique, dépend directement de son taux de remplissage. Celui-ci est également un élément déterminant de la rentabilité économique du transporteur car les revenus (et les profits) sont, généralement, proportionnels au taux de remplissage. Au Canada, le transport routier de marchandises était responsable, à lui seul, d'environ 30 % des émissions globales de gaz à effets de serre (GES) attribuables au secteur des transports en 2001. De plus, ces émissions de GES, provenant des camions lourds, ne cessent d'augmenter.</p>			
<p>Objectifs Ce projet de recherche vise à développer un modèle économétrique permettant d'expliquer le taux de remplissage des camions. L'estimation de ce modèle permettra de déterminer les principaux facteurs ayant une incidence sur le niveau d'utilisation de la capacité de chargement de ces véhicules. Une attention particulière sera portée à l'évaluation des bénéfices potentiels de coordination que peut procurer l'adoption de certains systèmes de transport intelligents (STI) ou système de gestion électronique des véhicules (SGEV) sur les taux de remplissage moyens. Les résultats de cette étude éclaireront les intervenants chargés de favoriser l'efficacité énergétique dans le secteur des transports, sur les moyens d'appuyer l'industrie pour l'atteinte d'objectifs sociétaux de transport durable.</p>			
<p>Méthodologie Pour réaliser cette analyse désagrégée, il faut tenir compte du fait que la variable à modéliser, soit le taux de remplissage des camions, est une variable discrète et bornée dont la valeur se situe entre 0 et 1. A priori, l'emploi d'un modèle multivarié de choix discrets, de type logit ordonné, semble le plus approprié. L'estimation d'un tel modèle permettra non seulement d'inférer les effets propres à chacun des déterminants du taux de chargement, mais également d'établir des bornes autour des valeurs de taux de remplissage, telles que rapportées par les camionneurs ayant répondu à l'enquête. Ces dernières fourniront une mesure de la variabilité des charges par rapport aux valeurs fixes observées.</p>			
<p>Résultats et recommandations Les principales conclusions sont : le taux de chargement (TC) est fortement influencé, positivement, par la taille du camion, la distance du déplacement et la nature polyvalente de la remorque ; le TC est influencé par le lieu d'attache du camion alors que la nature des opérations et la structure de propriété du camion ont peu d'effets ; la présence d'un SGEV réduit légèrement le TC sur des déplacements « aller », surtout sur les trajets de courte distance, et l'accroît sur des déplacements « retour », surtout ceux de longue distance. Les résultats laissent croire qu'un soutien de l'État à l'adoption de SGEV serait souhaitable du point de vue de l'efficacité énergétique, mais que les retombées seraient marginales. D'autres analyses seront utiles sur la base de données plus récentes (ERN2006), visant l'examen de l'effet rebond et l'estimation d'un modèle à deux niveaux.</p>			
Mots-clés Transport routier de marchandises, camionnage, modélisation économétrique, modèle logit multinomial ordonné (MLMO), taux de chargement, systèmes de transport intelligents (STI), systèmes de gestion électronique des véhicules (SGEV), efficacité énergétique, gaz à effets de serre (GES).	Nombre de pages 68 pages	Nombre de références bibliographiques 22	Langue du document <input checked="" type="checkbox"/> Français <input type="checkbox"/> Anglais Autre (spécifier) :

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	9
INTRODUCTION	11
1. PROBLÉMATIQUE	13
1.1 SECTEUR DU CAMIONNAGE.....	13
1.2 GESTION DE LA CAPACITÉ ET TAUX DE CHARGEMENT.....	15
1.3 DÉTERMINANTS DU TAUX DE CHARGEMENT.....	17
1.4 SURVOL DE LA LITTÉRATURE.....	19
2. MÉTHODOLOGIE	21
2.1 DONNÉES.....	21
2.2 LA SPÉCIFICATION EMPIRIQUE.....	23
2.2.1 <i>La mesure du taux de chargement</i>	24
2.2.2 <i>Les variables explicatives</i>	24
2.2.3 <i>Les méthodes économétriques</i>	28
3. RÉSULTATS	31
4. IMPLICATIONS POUR LES POLITIQUES PUBLIQUES	45
5. CONCLUSION	47
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	49
<i>ANNEXE A</i>	51
<i>ANNEXE B</i>	57
<i>ANNEXE C</i>	61
<i>ANNEXE D</i>	65

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : COMPOSITION DU PARC ET NOMBRE DE TRANSPORTEURS PAR TYPES D'EXPLOITATION AU QUÉBEC (2002)	15
TABLEAU 2 : DESCRIPTION SOMMAIRE DES VARIABLES EXPLICATIVES	25
TABLEAU 3 : MOYENNE (ÉCART TYPE) DES VARIABLES	31
TABLEAU 4 : TAUX DE REMPLISSAGE MOYEN ET TAUX DE PÉNÉTRATION DES SGEV EN FONCTION DE QUELQUES VARIABLES CLÉ	34
TABLEAU 5 : COEFFICIENTS (ÉCARTS TYPES) POUR L'ÉCHANTILLON ALLER.....	35
TABLEAU 6 : COEFFICIENTS (ÉCARTS TYPES) POUR L'ÉCHANTILLON RETOUR	37
TABLEAU 7 : EFFET DES SGEV SUR LES TKMT ET SUR L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE	44
TABLEAU 8 : TAUX D'ADOPTION DES SGEV SUIVANT LE LIEU D'IMMATRICULATION.....	46

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : EFFET DES FACTEURS EXPLICATIFS SUR LE TC À PARTIR DES RÉSULTATS DES COLONNES 2 (TABLEAUX 5 ET 6).	41
FIGURE 2 : EFFET DES SGEV SUR LE TC À PARTIR DES RÉSULTATS DES COLONNES 4 ET 6 (TABLEAUX 5 ET 6).....	42

RÉSUMÉ

L'objectif de cette recherche est de mettre en évidence les principaux facteurs explicatifs du taux de chargement des camions effectuant en tout ou en partie un déplacement sur le territoire du Québec. En particulier, nous voulons évaluer l'effet de l'adoption de certains systèmes de transport intelligents (STI), particulièrement les systèmes de gestion électronique des véhicules (SGEV). Pour ce faire, nous estimons un modèle économétrique où le taux de chargement (TC)¹ d'un camion pour un déplacement donné est expliqué en fonction de différentes variables. L'analyse est effectuée à partir de données recueillies lors de l'Enquête routière nationale sur le camionnage de 1999. Nous utilisons plus spécifiquement les observations relatives aux déplacements se faisant en tout ou en partie au Québec. Les principaux résultats de notre analyse sont les suivants :

- Le TC est fortement influencé positivement par la taille du camion, la distance parcourue pour le déplacement et la nature polyvalente de la remorque.
- La nature des activités (compte propre/compte d'autrui) ou la structure de propriété du camion (propriétaire-exploitant) ont assez peu d'effets sur le TC, toutes choses étant égales par ailleurs.
- La présence d'un SGEV réduit légèrement le TC pour les déplacements de type « aller ». Cet effet négatif se manifeste surtout pour les trajets de courte distance (moins de 400 kilomètres). Par contre, nous observons que le TC s'accroît de 5 à 10 points de pourcentage pour les déplacements « retour » lorsque le camion est équipé d'un SGEV. Cet effet est surtout observable pour les déplacements de longue distance. Ces résultats confirment donc que ces technologies améliorent l'appariement entre l'offre et la demande pour les voyages de retour. L'effet négatif pour les voyages aller pourrait s'expliquer par la présence d'un effet rebond limité. En effet, en augmentant la probabilité de trouver un chargement pour le trajet de retour, les SGEV réduisent le coût unitaire de l'expédition à l'aller (les coûts fixes liés au trajet complet étant répartis sur une charge totale plus importante). Cela peut par conséquent amener le transporteur à accepter plus facilement des chargements à l'aller qui sont moins importants, ou encore qui exigent un déplacement initial à vide plus long (pour aller chercher la charge).
- Nos simulations montrent que les SGEV sont responsables d'un accroissement allant jusqu'à 5 % des tonnes-kilomètres transportées pour les camions munis de cette technologie. Pour l'ensemble de

¹ Le taux de chargement représente le pourcentage de la capacité maximale de chargement du camion (en poids ou en volume) qui est utilisée lors d'un déplacement donné.

l'industrie, cela se traduit par un accroissement du nombre de tonnes-kilomètres transportées de 0,63 % et une amélioration de l'efficacité énergétique de 0,5 %. L'effet relativement marginal sur l'ensemble de l'industrie s'explique principalement par un taux d'adoption des SGEV assez faible en 1999. Par rapport aux États-Unis, nous notons d'ailleurs un retard significatif dans l'adoption de cette technologie au Canada.

- Ces résultats et constatations pourraient peut-être justifier la mise en place d'un programme public destiné à encourager l'adoption de cette technologie. Avant de mettre en place un tel programme, il serait cependant important de vérifier, à partir de données plus récentes, les taux d'adoption des SGEV. Il faudrait aussi tenir compte du fait qu'un programme n'aurait d'effet qu'à la marge, puisque les transporteurs pour qui les avantages offerts par les SGEV sont importants ont certainement déjà adopté cette technologie. Une analyse avantages-coûts serait donc certainement nécessaire avant d'instaurer un programme de soutien.

INTRODUCTION

Depuis sa déréglementation dans les années 80, le secteur du camionnage au Canada a connu une très forte expansion. En 2004, il a généré environ 1,4 % du PIB canadien, soit davantage que les secteurs ferroviaire, maritime et aérien combinés². De plus, il faut noter que ce chiffre ne traduit pas entièrement son importance économique, puisque les activités de transport routier constituent également un intrant essentiel pour de nombreux autres secteurs de l'économie.

Cette industrie a aussi des effets importants sur le plan énergétique, et par conséquent sur le plan environnemental, puisqu'elle représente plus de 4 % de la consommation totale d'énergie au Canada et produit environ 8 % des émissions de gaz à effet de serre. Il est donc important, du point de vue des politiques publiques, de promouvoir le développement d'un secteur du camionnage à la fois efficace et durable. L'augmentation du taux de chargement des camions peut être une avenue intéressante pour atteindre ces deux objectifs. En effet, sur la base des données provenant de l'Enquête routière nationale de 1999, on estime qu'environ 30 % des déplacements de camions sur le réseau routier canadien s'effectuent à vide et que plus de 50 % des camions qui transportent une charge ne sont pas remplis à 100 %³. L'amélioration du taux d'utilisation de la capacité permettrait d'améliorer simultanément la compétitivité et la performance environnementale de l'industrie. Elle permettrait également d'atténuer les problèmes liés à la pénurie de main-d'œuvre, qui caractérise ce secteur.

L'objectif de notre projet de recherche est de mettre en évidence les principaux facteurs explicatifs du taux de chargement des camions effectuant en tout ou en partie un déplacement sur le territoire du Québec. En particulier, nous voulons évaluer l'effet de l'adoption de certains systèmes de transport intelligents (STI), particulièrement les systèmes de gestion électronique des véhicules (SGEV).

Ce rapport est présenté comme suit. Dans la section 1, nous décrivons plus en détail la problématique, en dressant tout d'abord un bref portrait de l'industrie du camionnage et de ses principales composantes. Nous analysons ensuite les défis posés par la gestion de la capacité dans cet industrie et soulignons les liens qui existent entre le taux de chargement, l'efficacité énergétique et la compétitivité de l'industrie. Les résultats publiés dans la littérature y sont également brièvement décrits. Dans la section 2, nous présentons les données et la spécification empirique retenues. Les résultats sont analysés à la section 3 et les implications en ce qui a trait aux politiques publiques à la section 4. Nous concluons à la section 5.

² Selon des données du MTQ, le camionnage a contribué pour 1,53 % du PIB québécois en 1998 (ministère des Transports du Québec. *Les transports au Québec. Recueil de données statistiques*).

³ Conseil canadien des administrateurs en transport motorisé (CCATM, 2002).

1. PROBLÉMATIQUE

1.1 Secteur du camionnage

Le secteur du camionnage au Canada a connu de profondes mutations à la suite de l'adoption de la Loi sur les transports routiers (LTR) en 1987. Cette loi visait à accroître la compétitivité de l'industrie en éliminant certaines réglementations qui faisaient obstacle à l'entrée de nouvelles entreprises⁴. Globalement, cette déréglementation a atteint ses objectifs. En effet, après une période de consolidation qui a donné lieu à l'élimination des entreprises les moins efficaces, le nombre de transporteurs s'est généralement accru au cours des années 90⁵. Par ailleurs, les tarifs offerts par l'industrie sont devenus plus compétitifs, et ils connaissent une croissance stable depuis 1996⁶. L'industrie canadienne du camionnage est aujourd'hui une industrie où la concurrence est relativement intense, ce qui oblige les transporteurs à être toujours plus efficaces.

Il est cependant important de préciser que ce secteur est loin d'être homogène, qu'il est, en fait, composé de plusieurs sous-segments. En effet, la demande de transport est diversifiée et requiert des services multiples et adaptés aux besoins des expéditeurs. Par souci de compétitivité, plusieurs transporteurs se spécialisent, ce qui a pour effet de fragmenter l'industrie et de la rendre plus difficile à cerner. On peut par exemple distinguer le transport de marchandises générales du transport spécialisé, qui requiert des équipements particuliers (par exemple le transport des liquides en vrac, des produits forestiers, etc.). Les transporteurs sont aussi souvent classés suivant la nature même de leurs activités. Selon Transports Canada, on distingue⁷ :

Les transporteurs pour compte d'autrui : Il s'agit d'entreprises qui offrent des services de transport à des tiers moyennant rémunération. Parmi les entreprises répondant à cette définition, on trouve par exemple le Groupe Guilbault et Robert Transport. Ces entreprises de camionnage répondent exclusivement à une demande externe, le transport de marchandises étant leur principale activité. Parmi les entreprises transportant des marchandises pour des tiers, on distingue celles qui exploitent directement leurs parcs de camions de celles qui agissent comme intermédiaires entre des propriétaires de camions et des expéditeurs de marchandises, ces dernières étant mieux connues sous le nom de courtiers de charge (ou « brokers »).

⁴ Statistique Canada. *Le transport routier dans un marché sans frontière : Profil du secteur du camionnage au Canada de 1988 à 1994*.

⁵ Selon des statistiques publiées sur le site T-FACTS de Transports Canada, le nombre de transporteurs ayant des recettes d'exploitation supérieures ou égales à 1 million de dollars a plus que doublé depuis 1991.

⁶ Transports Canada. *Les transports au Canada. Rapport annuel 2003*.

⁷ Transports Canada. *Les transports au Canada. Rapport annuel 2003*.

Les transporteurs pour compte propre (ou privé) : Ces entreprises possèdent des camions qui servent à transporter leurs propres marchandises (par exemple, Canadian Tire et Molson possèdent les camions qui transportent leurs produits). Notons cependant que ces entreprises peuvent, dans certains cas, transporter les marchandises d'autrui moyennant rémunération. Toutefois, le transport n'est pas leur principale activité commerciale, mais n'est qu'un maillon de leur processus de production ou de distribution. Selon ce qu'indiquent les statistiques, « les services de camionnage privés dominent le transport urbain et local, mais leur part de marché diminue rapidement à mesure que les distances augmentent⁸ ».

Les propriétaires-exploitants : Cette catégorie inclut « de petits exploitants indépendants qui possèdent ou qui louent leurs propres camions et remorques ou d'autres équipements à un transporteur⁹ ». Plus de 80 % d'entre eux sont liés par contrat avec un transporteur pour compte propre, un transporteur pour compte d'autrui ou avec les deux simultanément¹⁰. Ces propriétaires-exploitants permettent aux transporteurs plus importants d'ajuster rapidement leur capacité productive en fonction des fluctuations dans la demande de transport.

Les entreprises de messagerie : Ce groupe comprend des entreprises qui fonctionnent comme les transporteurs pour compte d'autrui. Toutefois, leurs activités se caractérisent par leur organisation en « cinq opérations successives : tournée de ramassage, groupage après passage à quai, transfert de la plate forme d'expédition à la plate forme de destination, dégroupage à quai puis tournée de livraison¹¹ ». Des entreprises comme Purolator ou encore Fedex offrent des services de messagerie. Bien que ces entreprises utilisent parfois des camions de poids moyen ou lourd, la majorité de leurs activités de transport sont de nature locale et sont effectuées avec des véhicules légers, voire des bicyclettes.

Selon Transports Canada, la valeur de la production associée au transport pour compte propre et pour compte d'autrui est évaluée à environ 40 milliards \$¹². Le tableau ci-dessous présente quelques statistiques valables pour le Québec.

⁸ Transports Canada. *Les transports au Canada. Rapport annuel 2003.*

⁹ Transports Canada. *Les transports au Canada. Rapport annuel 2003.*

¹⁰ CCATM (2002).

¹¹ Kaminsky (2003).

¹² Transports Canada. *Les transports au Canada. Rapport annuel 2003.*

Tableau 1 : Composition du parc et nombre de transporteurs par types d'exploitation au Québec (2002)

Type d'exploitation	Nombre de camions (% du total)	Nombre de transporteurs (% du total)
Transport pour compte d'autrui	51 074 (31 %)	15 904 (35 %)
Transport pour compte propre	113 357 (69 %)	28 990 (65 %)
Total	164 431 (100 %)	44 894 (100 %)

Source : Société de l'assurance automobile du Québec, Registre des propriétaires et exploitants de véhicules lourds de la Commission des transports du Québec au 30 septembre 2002.

1.2 Gestion de la capacité et taux de chargement

La capacité productive d'un transporteur dépend de l'importance et de la structure de son parc de véhicules. Chaque camion offre une capacité de chargement qui est déterminée soit par le volume, soit par le poids, ou encore par le type de remorque dont il est muni¹³. Le taux d'utilisation de la capacité du transporteur est directement lié :

- au degré d'utilisation des camions (nombre d'heures/an où les camions sont en déplacement);
- au taux de chargement (TC) des camions en déplacement.

C'est sur ce deuxième point que porte spécifiquement notre analyse.

Si on se limite au critère du poids, le taux de chargement (TC) peut être défini comme suit :

$$TC (\%) = \left(\frac{\text{Poids du chargement}}{\text{CUM}} \right) \times 100 \quad [1]$$

avec CUM : la charge utile maximale c.-à-d. le poids maximum du chargement qu'un camion peut transporter. TC est un déterminant clef à la fois de la compétitivité du transporteur et de son efficacité sur le plan énergétique et

¹³ Par exemple, un camion muni d'une remorque de type citerne ne peut être utilisé que pour transporter un type bien précis de marchandise liquide, ce qui limite le groupage et réduit la probabilité de trouver un chargement compatible sur le trajet de retour. On imagine mal en effet un camion-citerne rempli de carburant à l'aller revenir avec du lait.

environnemental. Ainsi, la compétitivité d'un transporteur dépend du TC, puisque le coût par tonne transportée diminue avec le TC du camion. En effet, plusieurs composantes du coût soit restent fixes (par exemple le salaire versé aux conducteurs), soit augmentent moins qu'en proportion de la charge (par exemple les dépenses en carburant), ce qui implique qu'au fur et à mesure que le TC s'accroît, ces coûts sont répartis sur une charge plus importante.

D'autre part, la performance en matière d'efficacité énergétique dépend aussi directement du TC. En effet, l'efficacité énergétique associée au transport d'un chargement sur une distance D peut se mesurer comme suit :

$$\text{Efficacité énergétique} = \frac{\text{TKMT}}{\text{Énergie}} = \frac{\text{Poids du chargement} \times D}{\text{Énergie}} = \frac{\text{CUM} \times (\text{TC} / 100) \times D}{\text{Énergie}}$$

Il s'agit donc du niveau de production mesuré par les tonnes-kilomètres transportées (TKMT), divisé par la quantité d'énergie requise pour effectuer le déplacement. Par définition, TKMT correspond au poids de la charge multiplié par la distance. En utilisant [1], on obtient un niveau de production directement proportionnel au TC. Par contre, si le TC accroît également l'énergie requise, le lien est dans ce cas beaucoup moins que proportionnel. En effet, selon des estimations de Bridgestone/Firestone, 80 % de la consommation de carburant est associée au déplacement du camion vide. En d'autres termes, un camion plein ne consommerait que 20 % de plus de carburant qu'un camion se déplaçant vide¹⁴.

Pour comprendre les difficultés auxquelles font face les transporteurs dans la gestion de leur capacité, il est important de signaler que, dans ce secteur, l'offre et la demande varient dans le temps et l'espace de même qu'en fonction de la nature des équipements de transport requis. Un transporteur doit disposer d'un camion de la taille adéquate et muni de la bonne remorque, à l'endroit et au moment requis pour répondre à la demande de l'expéditeur. Les acteurs dans ce marché sont donc devant un problème d'appariement complexe, qui entraîne nécessairement un certain degré de sous-utilisation de la capacité, se manifestant soit par des camions qui voyagent à vide ou qui ont un TC inférieur à 100 %.

Pour optimiser le taux d'utilisation de la capacité, les acteurs de l'industrie s'engagent dans des activités de recherche de demandes complémentaires. Ainsi, par exemple, comme la demande d'un expéditeur est rarement bidirectionnelle, il faut trouver une demande complémentaire pour le voyage de retour. De même, le chargement d'un client n'occupe pas toujours un camion complet à lui seul. Il est donc alors parfois nécessaire de rechercher des chargements complémentaires. On parle dans ce cas de *grouper* des expéditions. Ce travail de recherche de chargements complémentaires est

¹⁴ Bridgestone/Firestone Commercial Truck Tires. *Truck Tires.com*.

généralement réalisé par les courtiers de charge ou par les *répartiteurs* qui travaillent au sein des entreprises de transport pour compte d'autrui¹⁵.

Comme le souligne Baker & Hubbard (2003), le rôle des répartiteurs dans les entreprises de transport est essentiel. Ceux-ci vont solliciter des expéditeurs afin de trouver des demandes de transport complémentaires. Ils sont également chargés de la coordination quotidienne du parc et des conducteurs pour le transport des divers chargements. Il s'agit d'un processus hautement dynamique, où le répartiteur peut être amené à tout moment à rediriger un des camions en déplacement pour l'envoyer prendre un nouveau chargement, ou encore pour lui éviter des retards liés à la congestion.

1.3 Déterminants du taux de chargement

Comme il a été mentionné précédemment, le TC va dépendre de l'habilité du transporteur à : i) grouper différents chargements dans un même camion et ii) trouver un chargement pour le retour. Ces deux éléments dépendent à leur tour des caractéristiques :

1. Du camion et de la charge : Il est, par exemple, certainement plus difficile d'effectuer du groupage pour du transport de liquides que pour du transport de petits colis. De même, la probabilité de trouver un chargement de retour diminue avec le degré de spécialisation de la remorque.

2. Du transporteur : Il est possible que le TC soit moindre pour une entreprise de transport pour compte propre que pour un transporteur pour compte d'autrui. En effet, les entreprises pour qui le transport est l'activité principale ont probablement plus d'incitation à optimiser la gestion de leur capacité. Les entreprises pour compte propre disposent donc certainement de moins d'expertise sur le plan logistique pour commercialiser leur capacité excédentaire. De plus, elles font face à des contraintes administratives et légales qui limitent leurs occasions de répondre à des demandes externes (par exemple des restrictions imposées par les assurances ou les permis de transport). La taille du transporteur peut aussi avoir un rapport avec le TC, un transporteur important ayant certainement plus de chances de trouver des demandes complémentaires.

3. Du déplacement et de l'axe commercial : La demande de transport sur un corridor routier dépend de l'importance des liens économiques qui unissent ses différentes composantes. La vigueur des relations commerciales est

¹⁵ Ce problème d'appariement explique d'ailleurs, en partie, la structure organisationnelle de l'industrie. En effet, comme le mentionne Hubbard (2003), « les expéditeurs tendent à utiliser les services de transport pour compte d'autrui lorsque l'identification des demandes de transport complémentaires est importante, [...], et opèrent leur propre parc lorsqu'elle ne l'est pas ». C'est sans doute pourquoi les transporteurs pour compte d'autrui sont surtout présents dans le transport de longue distance, où le coût d'opportunité d'un retour à vide est élevé.

notamment déterminée par l'importance de la population et du revenu disponible dans les régions concernées. La distance entre l'origine et la destination est également un facteur déterminant, dans la mesure où le coût d'opportunité (ou de renonciation) associé à un voyage à vide s'accroît avec la distance. Un transporteur fera certainement plus d'efforts pour maximiser la charge d'expédition ou pour trouver un chargement de retour lorsque la distance est importante.

En ce qui a trait aux caractéristiques du camion et du transporteur, les nouvelles technologies de communication et de localisation par satellite sont susceptibles d'accroître le TC, en réduisant les coûts de coordination entre l'offre et la demande. Traditionnellement, les transporteurs ont eu recours à un système de « check-and-call », en fonction duquel les camionneurs devaient communiquer avec leur répartiteur chaque fois qu'ils chargeaient ou déchargeaient une marchandise, ou encore à toutes les deux ou trois heures lorsqu'ils n'effectuaient pas d'arrêts fréquents¹⁶. Depuis l'avènement du téléphone cellulaire, le répartiteur peut prendre l'initiative de communiquer avec les conducteurs sur la route. Par contre, cette technologie n'admettant qu'un échange verbal de coordonnées, elle n'a pas permis d'éliminer complètement l'imprécision liée à la localisation des camions en temps réel.

Depuis la fin des années 80, certaines technologies logistiques de pointe ont fait leur apparition dans l'industrie. Parmi celles-ci, on trouve les systèmes de gestion électronique des véhicules (SGEV). Ces dispositifs offrent deux fonctionnalités particulièrement intéressantes : i) permettre au répartiteur d'établir une communication en temps réel avec ses conducteurs à partir d'un écran d'ordinateur installé à bord du camion et ii) transmettre en temps réel l'endroit précis où se trouve chacun des camions du parc à partir d'un système de positionnement par satellite. À l'aide d'un SGEV, le répartiteur est donc en mesure de coordonner les activités de son parc de véhicules plus efficacement.

Cette technologie semble être particulièrement utile pour réduire le nombre de voyages de retour à vide¹⁷. Sur les voyages d'aller, il n'est pas évident que la présence d'un SGEV permet d'accroître le TC. En fait, on pourrait même observer l'opposé. En effet, en augmentant la probabilité de trouver un chargement pour le retour, les SGEV réduisent le coût unitaire de l'expédition à l'aller, les coûts fixes liés au trajet complet (aller et retour) étant répartis sur une charge totale plus importante. Cela peut par conséquent amener le transporteur à accepter plus facilement des chargements à l'aller qui sont soit moins importants, ou encore qui exigent un déplacement initial à vide (pour aller chercher la charge) plus important. On peut donc observer que la

¹⁶ Hubbard (2000), p. 538.

¹⁷ Comme l'indique Hubbard (2003), dans la pratique, il est rare qu'un répartiteur redirige un camion partiellement rempli pour l'envoyer prendre un chargement complémentaire, à moins que ce détour ne soit planifié avant le départ du camion. Cela peut être attribuable à l'ordre de déchargement des marchandises ou encore au délai de livraison à respecter.

présence de SGEV sur des déplacements de type aller réduit le TC par un effet de type « rebond »¹⁸.

1.4 Survol de la littérature

La littérature économique relative aux déterminants de la charge des camions utilisés commercialement est plutôt limitée. En fait, nous n'avons pas pu trouver d'étude empirique sur cette question qui utilise des données canadiennes ou québécoises. Par contre, il existe un nombre restreint de recherches américaines qui examinent plus particulièrement le rôle des différents systèmes de transport intelligents. Deux articles écrits par Thomas N. Hubbard présentent des résultats particulièrement intéressants pour la réalisation de notre étude.

Hubbard (2000) s'intéresse à la demande de nouvelles technologies dans l'industrie du camionnage. Son étude empirique examine notamment les avantages de deux types de technologies utilisées dans l'industrie moderne, à savoir les tachygraphes et les SGEV. Les tachygraphes, ou enregistreurs de bord, sont des dispositifs analogues aux boîtes noires des avions. Ils enregistrent des données qui sont téléchargées lorsque le camion retourne à son port d'attache¹⁹. Cette technologie permet aux transporteurs de contrôler la performance de leurs conducteurs sur la route et de mieux planifier l'entretien des équipements. Les enregistreurs de bord sont donc particulièrement utiles pour réduire les coûts d'agence liés à l'asymétrie entre l'information dont disposent les chauffeurs et le propriétaire de l'entreprise. Comme nous l'avons expliqué dans la section précédente, les SGEV permettent de réduire les coûts de coordination entre l'offre et la demande de transport. Hubbard analyse l'influence de certaines caractéristiques relatives aux déplacements, aux camions et aux transporteurs sur la probabilité que ces derniers décident d'installer un tachygraphe ou un SGEV sur leurs véhicules. Ses principales conclusions indiquent que la probabilité d'adoption de SGEV est plus élevée lorsque :

- les déplacements se font sur de longues distances;
- le transport ne requiert pas d'équipement spécialisé;
- le répartiteur peut coordonner sans contrainte les activités de son parc;
- la taille du parc de camions est importante.

Par ailleurs, l'avantage d'utiliser un camion muni d'un tachygraphe est plus grand lorsque :

¹⁸ L'existence d'effets de rebond est bien documentée dans la littérature sur l'efficacité énergétique. Ainsi par exemple, l'introduction de véhicules plus efficaces sur le plan énergétique peut, en réduisant le coût d'utilisation du véhicule, stimuler l'usage et par le fait même contrecarrer en partie les gains d'efficacité énergétique.

¹⁹ Par exemple, les RPM, la vitesse, le nombre de démarrages et d'arrêts du moteur, les temps d'arrêt du véhicule, etc.

- les arrêts prévus sont peu fréquents;
- le respect des horaires est important;
- la surveillance des actions du conducteur par un tiers est jugée nécessaire.

Dans une étude subséquente, Hubbard (2003) évalue empiriquement l'effet qu'a eu l'adoption des tachygraphes et des SGEV sur la productivité de l'industrie américaine du camionnage. Pour ce faire, il dispose de données sur les tonnes-miles par camion réalisées au cours d'une année pour un échantillon représentatif du parc de camions lourds basé aux États-Unis. L'auteur teste l'effet de différentes variables explicatives (caractéristiques du chargement, présence de SGEV, etc.) sur le nombre de tonnes-miles effectuées. L'un des problèmes que pose cette méthode de mesure de l'activité est qu'elle dépend non seulement du taux de chargement moyen, mais également du niveau d'utilisation du camion (c.-à-d. le nombre de jours où le camion est en déplacement). Il est donc difficile de déterminer si les camions munis de SGEV ont un TC plus élevé ou s'ils sont utilisés de manière plus intensive. Une autre des lacunes de cette méthode est que les informations sont récoltées *ex post* auprès des transporteurs sondés, ce qui peut entraîner certains biais²⁰. Les principales conclusions de cette étude peuvent être résumées comme suit :

- L'utilisation de la capacité s'est accrue de 13 % chez les transporteurs ayant adopté un SGEV. Cet accroissement serait attribuable à une coordination plus efficace de leurs activités.
- Pour l'ensemble de l'industrie, l'adoption de cette technologie aurait permis d'accroître l'utilisation de la capacité de chargement de 3,3 %, ce qui équivaut à un gain d'environ 16 milliards de dollars américains, pour une industrie dont les recettes totales sont évaluées à 500 milliards de dollars²¹.
- L'adoption des tachygraphes ne semble pas avoir d'effet significatif sur l'utilisation de la capacité.
- Les avantages liés à l'adoption des SGEV sont très variables : environ 73 % des avantages relatifs à une meilleure coordination touchent seulement 15 % des camions composant le parc américain. Ce sont en effet les camions tirant des remorques de type général sur de longues distances qui profitent essentiellement de ces systèmes.

²⁰ Réalisée en fin d'année, l'enquête demande à chaque entreprise de faire état de l'activité des camions qu'elle possède. Les données de l'enquête sont donc entachées de biais d'agrégation ainsi que d'une certaine imprécision, puisqu'elles sont basées sur des données comptables plutôt que sur des données recueillies directement, à chaque déplacement.

²¹ Le pourcentage plus faible pour l'ensemble de l'industrie s'explique par le fait que seulement environ 25 % des camions sont équipés de SGEV.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1 Données

Pour réaliser notre analyse empirique, nous utilisons les données recueillies lors de l'Enquête routière nationale de 1999 (ERN99), menée sous la coordination du CCATM²². Cette enquête a été réalisée dans le but d'obtenir un portrait du secteur du transport par camion lourd au Canada²³. Lors de sa réalisation, plus de 65 000 camionneurs ont été interceptés de manière aléatoire à l'un des 238 sites d'enquête répartis à travers les 25 200 km du réseau routier principal canadien. Les données ont été recueillies pour une semaine représentative de l'été/automne 1999 à l'aide d'un questionnaire comprenant deux sections : l'une obligatoire et l'autre facultative. Environ 88 % des camionneurs interceptés ont accepté de remplir les deux volets du questionnaire.

Plus spécifiquement, nous avons eu accès, grâce au ministère des Transports du Québec, aux observations se rapportant aux déplacements de camions lourds qui avaient été interceptés à l'un des 51 sites d'enquête situés sur le territoire québécois et à ceux qui avaient été interceptés dans le reste du Canada mais qui avaient effectué une partie de leur déplacement au Québec. Seuls les déplacements de longue distance ont été retenus²⁴. L'un des avantages importants de ce sous-échantillon est qu'il a été soumis à un processus important de validation et de corrections²⁵.

Les données de l'ERN99 contiennent de nombreuses variables qui décrivent les caractéristiques du camion, de sa charge, de l'itinéraire suivi et de l'entreprise à laquelle il appartient. Malheureusement, les données recueillies au Québec ne comprenaient pas le nom précis du transporteur qui possédait le camion intercepté. Cela nous empêche donc de vérifier certaines caractéristiques importantes, par exemple la taille du transporteur. Il s'agit évidemment d'une limitation dont il faudra tenir compte dans l'interprétation des résultats. Outre les données recueillies lors des entrevues, un comptage du trafic a été effectué à chaque site en vue d'obtenir un portrait de la population. Les camions ont été catégorisés selon leur type (porteur ou tracteur routier avec une remorque ou un train routier) et le moment de leur

²² Pour certaines variables, nous utilisons également des informations provenant de Statistique Canada. Les sources précises sont décrites dans la présentation des variables, qu'on trouvera à la section 2.2.2 et à l'annexe A.

²³ C'est-à-dire des camions dont la masse nette en charge est d'au moins 3000 kg.

²⁴ Un déplacement est considéré de longue distance si la distance parcourue est supérieure ou égale à 80 km ou si le trajet effectué passe par au moins deux régions. Pour le Québec, une « région » correspond soit à une région administrative, soit à une région métropolitaine de recensement (selon le cas le plus contraignant). Pour le reste du Canada et les États-Unis, les régions sont respectivement les provinces et les États.

²⁵ Voir ministère des Transports du Québec. *Les déplacements interurbains de véhicules lourds au Québec. Enquête sur le camionnage de 1999*, annexe 4.

passage (jour de la semaine et heure du jour). Ces informations ont permis d'associer à chaque camion intercepté un facteur d'expansion « afin de représenter le nombre réel de déplacements sur le réseau au cours d'une semaine d'automne qui ont les mêmes caractéristiques que le déplacement observé »²⁶.

Chaque observation correspond à un camion effectuant un *déplacement* entre une *origine* et une *destination*. L'ERN99 définit un déplacement comme étant « le parcours d'un camion dans son état courant de chargement au point d'enquête ». Deux états de chargement sont possibles : le camion est vide ou il ne l'est pas. Un déplacement commence ou se termine lorsqu'il y a un changement soit : i) du chauffeur (ou de l'équipe de chauffeurs), ii) de la configuration du camion (ex. ajout d'une remorque) ou iii) de l'état du chargement. Cette définition n'est sans doute pas idéale pour notre étude puisque, par exemple, un déplacement entre Montréal et Vancouver ne sera pas consigné comme tel si le chauffeur (ou l'équipe) a été remplacé à Winnipeg. En effet, le déplacement répertorié dans l'ERN99 sera soit Montréal-Winnipeg ou Winnipeg-Vancouver, suivant l'endroit où le camion est intercepté.

À partir des données fournies par le MTQ, nous avons construit notre échantillon d'analyse en appliquant des critères de sélection supplémentaires. Ainsi, nous éliminons les observations :

- pour lesquelles l'information sur l'une des variables d'analyse est manquante (par exemple le taux de remplissage, la longueur du déplacement ou encore les coordonnées géographiques de l'origine ou de la destination);
- qui correspondent à des camions dont la configuration ou le type de remorque ne permet pas le transport de marchandises (par exemple des tracteurs sans remorque, des bennes à ordures, des véhicules de service ou des camions de type inconnu);
- se rapportant à des déplacements de services de messagerie ou de charge partielle (« Less-than-Truckload »), ainsi que les déplacements de type « tournée ». En effet, pour ces déplacements, le TC observé n'est pas nécessairement très représentatif, puisqu'il varie à chaque arrêt. De plus, pour ces services, le TC est certainement une préoccupation moins importante que la fréquence ou la fiabilité des horaires de livraison. Nous ne prenons donc en compte que les camions effectuant des déplacements de type direct;

²⁶ Voir ministère des Transports du Québec. *Les déplacements interurbains de véhicules lourds au Québec. Enquête sur le camionnage de 1999*, p. 13 et annexe 5.

- pour des déplacements qui s'inscrivent dans un « axe commercial » pour lequel nous disposons de moins de trente observations²⁷.

Ces critères réduisent le nombre d'observations de 20 101 à 14 022. Cela représente 167 218 déplacements lorsque le facteur d'expansion est pris en compte. Nous décrivons dans la prochaine section la spécification empirique.

2.2 La spécification empirique

Rappelons que l'objectif de ce travail est de mettre en évidence certains des déterminants du TC des camions. Pour ce faire, nous utilisons une méthodologie basée sur des techniques économétriques, dont le principal avantage est d'isoler l'effet de chaque variable explicative en supposant que les autres facteurs sont constants. Cela réduit donc le risque d'attribuer à une variable un effet qui résulte en réalité d'un changement concomitant relatif à une autre variable. Notre modèle prend la forme générale suivante :

$$TC_{c,d} = f(C, D, E, A)$$

où $TC_{c,d}$ correspond au taux de remplissage du camion c sur le déplacement d . Ce taux est expliqué en fonction de variables qui caractérisent le camion (C), le déplacement (D), l'entreprise qui possède le camion (E) et l'axe commercial (A) dans lequel s'inscrit le déplacement. Nous testons des variables qui sont censées, *a priori*, avoir un effet sur la capacité d'un transporteur à trouver des demandes complémentaires.

Comme nous l'avons vu précédemment, les défis liés à l'optimisation du TC sont probablement fort différents suivant que le déplacement du camion correspond à un voyage d'aller ou de retour. En effet, pour un voyage d'aller, le transporteur doit éventuellement trouver des charges complémentaires pour compléter l'expédition qui justifie initialement le déplacement. Par contre, pour un voyage de retour, le défi principal est de trouver une charge pour éviter un retour à vide. L'effet des différentes variables explicatives est donc fort probablement différent suivant qu'il s'agit d'un aller ou d'un retour. L'ERN99 ne comportait cependant pas de question portant sur cette distinction. Par contre, nous disposons d'informations (nom de la localité, longitude et latitude) sur l'origine (O) et la destination (D) du déplacement ainsi que sur le port d'attache du camion (P). L'annexe B présente plus en détail la procédure en trois étapes (et ses limites) que nous utilisons pour classer les voyages selon qu'ils sont de type ALLER ou RETOUR. L'analyse économétrique se fait donc

²⁷ Ce critère est nécessaire pour assurer la fiabilité statistique de nos estimations. Voir la section 2.2.2 pour notre définition de l'axe commercial.

séparément sur les sous-échantillons des observations ALLER (6 877 observations) et RETOUR (7 145 observations)²⁸.

2.2.1 La mesure du taux de chargement

Nous utilisons comme variable dépendante l'évaluation du TC fournie aux enquêteurs par le camionneur interviewé, soit la variable *TCE* pour taux de chargement estimé. Cinq choix de réponses sont offerts : 0 %, 25 %, 50 %, 75 % et 100 %. De plus, si la réponse est 100 %, on demande de préciser si le camion est rempli en poids ou en volume. Cette mesure a donc l'avantage de tenir compte des deux contraintes (poids et volume) qui peuvent limiter la charge d'un camion. Évidemment, il faut reconnaître qu'elle a un caractère approximatif et un peu subjectif.

Pour valider notre analyse, nous avons également construit une mesure du TC basée sur le poids (variable *TCP*). Plus précisément, la variable *TCP* est définie suivant la formule [1] présentée à la section 1.2, qui, pour rappel, correspond au ratio du poids de la cargaison sur la capacité maximale de chargement du camion. Cette mesure présente deux limites. Premièrement, elle ne tient pas compte du fait qu'un camion peut être contraint sur le plan du volume. Deuxièmement, le poids maximum de chargement du camion est évalué en établissant la différence entre le poids brut du camion en charge maximale et son poids à vide. Or ces deux mesures sont estimées de façon approximative, puisqu'elles ne sont pas directement observées. Le poids brut du camion en charge maximale est établi en multipliant le nombre d'essieux par 8 500 kg (soit le poids maximal par essieu autorisé par la réglementation canadienne). Le poids du camion à vide est estimé à partir du poids de camions de même type qui ont été interceptés alors qu'ils étaient vides. Il s'agit donc d'une approximation, qui aboutit parfois à des résultats aberrants comme un *TCP* supérieur à 100 %, ce qui nécessite certains ajustements. Notons que, de toute façon, le taux de corrélation entre le *TCE* et le *TCP* est assez élevé (81,5 %).

2.2.2 Les variables explicatives

Le tableau 2 décrit de manière sommaire les différentes variables explicatives du modèle économétrique. L'annexe A fournit les détails sur la manière dont elles sont construites. Comme il a été mentionné précédemment, nous sommes particulièrement intéressés à évaluer l'effet des STI sur le TC. Si les SGEV permettent effectivement de mieux coordonner la capacité avec la demande de transport, on devrait observer que la variable *SGEV* a un effet positif et significatif sur le TC, et cela particulièrement pour les voyages de RETOUR. Pour les voyages d'ALLER, l'effet pourrait être différent, comme nous l'avons expliqué précédemment. Nous évaluons aussi l'effet de la

²⁸ Les tests que nous avons effectués pour le développement de la spécification du modèle nous ont confirmé la nécessité d'estimer le modèle séparément sur ces deux sous-échantillons.

présence d'un tachygraphe, même si, *a priori*, ce type de système ne devrait pas avoir d'incidence sur les possibilités de trouver des demandes complémentaires.

Tableau 2 : Description sommaire des variables explicatives

Variable	Description sommaire
<i>I. Caractéristiques du camion</i>	
SGEV	Variable binaire = 1 si présence d'un ordinateur de bord et d'un système de communication par satellite.
TACHIGRAPHE	Variable binaire = 1 si présence d'un tachygraphe.
ESSIEUX	Nombre d'essieux.
<i>Port d'immatriculation</i> QUÉBEC	Variable binaire = 1 si immatriculé au Québec.
ROC	Variable binaire = 1 si immatriculé dans le reste du Canada.
USA	Variable binaire = 1 si immatriculé aux États-Unis.
<i>Configuration</i> TRACTEUR-REMORQUE	Variable binaire = 1 si tracteur et une remorque.
TRAIN ROUTIER	Variable binaire = 1 si tracteur et plus d'une remorque.
PORTEUR	Variable binaire = 1 si le camion est de type porteur.
PORTEUR-REMORQUE	Variable binaire = 1 si le camion est de type porteur avec remorque.
<i>Type de remorque</i> FOURGON	Variable binaire = 1 si remorque de type fourgon.
PORTE-CONTENEURS	Variable binaire = 1 si remorque de type porte-conteneurs.
FOURGON-RÉFRIGÉRÉ	Variable binaire = 1 si remorque de type fourgon-réfrigéré.
PLATEAU	Variable binaire = 1 si remorque de type plateau droit ou tracteur de masse lourde.
RIDELLES	Variable binaire = 1 si remorque de type plateau-ridelles (transport de bois).
TRÉMIE	Variable binaire = 1 si remorque de type carrosserie à trémie ou remorque à copeaux.
BASCULANTE	Variable binaire = 1 si remorque de type benne basculante.
CITERNE	Variable binaire = 1 si remorque de type citerne.
SPECIALISÉE	Variable binaire = 1 si remorque très spécialisée (porte véhicule, animaux, bateaux).
<i>II. Caractéristiques du transporteur</i>	
COMPTE D'AUTRUI	Variable binaire = 1 si transporteur pour compte d'autrui.

Variable	Description sommaire
COMPTE PROPRE	Variable binaire = 1 si transporteur pour compte propre.
PROPRIÉTAIRE-EXPLOITANT	Variable binaire = 1 si le camion appartient à un propriétaire-exploitant.
II. Caractéristiques du déplacement	
DISTANCE	Distance totale du déplacement.
POPULATION	Mesure gravitationnelle : population dans la zone d'origine du déplacement multipliée par la population dans la zone de destination divisée par la distance du déplacement au carré.
REVENU	Revenu médian par ménage dans la zone d'origine du déplacement plus le revenu médian par ménage dans la zone de destination divisé par deux.
TRAFIC	Nombre total de camions dans l'échantillon observé circulant entre les régions d'origine et de destination du déplacement.
EXPANSION	Facteur d'expansion qui représente l'inverse de la probabilité d'être échantillonné.
II. Caractéristiques non observées de l'axe commercial	
AXE _{i,j}	Variable binaire = 1 si le camion circule sur l'axe commercial i-j.

La taille du camion est contrôlée principalement par la variable *ESSIEUX*. Dans la mesure où le coût de renonciation (c.-à-d. les revenus nets non réalisés) s'accroît avec la capacité du camion, il est probable que les transporteurs font plus d'efforts pour maximiser la charge des gros camions. Nous vérifions également si les camions immatriculés au Québec, dans le reste du Canada ou aux États-Unis ont des TC systématiquement différents. Évidemment, comme notre échantillon comprend uniquement les camions qui effectuent en tout ou en partie un déplacement au Québec, les transporteurs québécois ont certainement un avantage en ce qui a trait à la connaissance des caractéristiques du marché et des activités.

La configuration et le type de remorques déterminent la nature des chargements que le camion peut transporter. Les possibilités de groupage ou de trouver des charges pour le retour sont certainement plus faibles (voire nulles) pour des camions munis de remorques spécialisées. Nous contrôlons pour ces caractéristiques des remorques en introduisant une série de variables dichotomiques (voir tableau 2), qui ont été construites en fonction des informations dont nous disposons et en nous inspirant de Hubbard (2003).

Nous contrôlons pour le type de transporteur qui possède le camion (pour compte propre ou compte d'autrui) ainsi que pour le type de propriété (propriétaire-exploitant ou non). Une fois encore, on peut penser *a priori* que les transporteurs pour compte d'autrui et les propriétaires-exploitants sont plus motivés à trouver des demandes complémentaires que les transporteurs pour

compte propre, pour qui le transport est une activité accessoire. Évidemment, il faut aussi tenir compte du fait que les propriétaires-exploitants indépendants ont habituellement des entreprises de petite taille (en moyenne sept employés) et pourraient donc disposer de moins de moyens pour trouver des demandes complémentaires. Qui plus est, même s'ils travaillent à contrat pour de grandes entreprises, le droit de veto dont ils disposent sur l'utilisation finale de leur camion implique qu'ils peuvent refuser des chargements de retour si les conditions ne leur plaisent pas²⁹. L'effet net de la variable PROPRIÉTAIRE-EXPLOITANT est donc incertain.

En ce qui a trait au déplacement, la distance est certainement un facteur clef puisqu'elle détermine le coût de renonciation associé à un voyage à vide ou en charge partielle. Nous construisons également deux variables qui devraient permettre de saisir l'importance des liens économiques entre la zone d'origine et la zone de destination du déplacement. La variable *POPULATION* représente, suivant une formulation de type gravitaire, la force d'interaction potentielle entre les populations présentes aux deux extrémités du déplacement. La variable *REVENU* correspond à la moyenne des revenus médians par ménage à l'origine et à la destination. Pour le Canada, les données sont celles qui sont associées aux divisions de recensement³⁰. Pour les États américains compris dans la région du Nord-Est telle que définie par l'ERN99 (voir carte à l'annexe A), nous utilisons les données par comtés (« county ») et, pour le reste des États-Unis, les données associées aux États³¹. Nous évaluons également l'importance du trafic mesuré dans notre échantillon entre les régions d'origine et de destination du déplacement. Pour calculer cette variable, nous utilisons les 17 régions administratives du Québec et les régions d'analyse définies par l'ERN99 pour le reste du Canada (19 régions) et les États-Unis (13 régions) (voir les cartes à l'annexe A).

Enfin, il est bien certain que plusieurs autres caractéristiques non observables du déplacement peuvent influencer le TC (importance et nature des industries situées le long du trajet, liens historiques, état des infrastructures routières, etc.). Le fait de ne pas tenir compte de certains facteurs peut fausser nos résultats si les facteurs en question sont corrélés avec les variables explicatives incluses dans notre modèle. En effet, on pourra conclure qu'une variable a un effet, alors qu'elle ne fait que refléter l'effet de facteurs qui n'ont pas été pris en compte. Pour réduire ce problème, nous incluons dans notre spécification des variables binaires pour chaque axe commercial représenté dans l'échantillon. Idéalement, il faudrait définir l'axe commercial le plus finement possible. Toutefois, pour qu'on puisse estimer le modèle, il faut qu'il

²⁹ Hubbard et Baker (2003).

³⁰ Statistique Canada. Profil pour le Canada, les provinces, les territoires, les divisions de recensement et les subdivisions de recensement. Recensement de 2001.

³¹ Les données proviennent des trois sources du US Census Bureau présentées dans la bibliographie.

y ait un nombre suffisant d'observations par axe³². Nous définissons l'axe comme étant un lien entre une zone d'origine et une zone de destination. Les zones sont définies comme suit :

- Le Québec est divisé en quatre zones, suivant les limites établies par l'ERN99 (voir la carte reproduite à l'annexe C).
- Le reste du Canada est divisé en trois zones : l'Ontario, l'Ouest (Colombie-Britannique, Alberta, Saskatchewan, Manitoba et Territoires du Nord-Ouest) et l'Est (toutes les provinces à l'est du Québec).
- Les États-Unis sont divisés en deux zones : la région du Nord-Est et le reste du pays.

Évidemment, ces divisions sont assez grossières. Toutefois, nous avons également testé des spécifications avec des variables AXES définies plus finement. Les principaux résultats ne semblent pas révéler d'effets liés à ces différences.

2.2.3 Les méthodes économétriques

Cette section présente succinctement la méthode d'estimation du modèle. Elle est plus technique, et le lecteur qui est moins familier avec l'économétrie pourra sans problème ne pas la lire.

Par définition, les variables *TCE* et *TCP* sont bornées entre 0 et 100 %. De plus, *TCE* prend des valeurs discrètes qui sont naturellement ordonnées. Ces caractéristiques impliquent que la méthode traditionnelle des moindres carrés ordinaires (MCO) n'est pas très appropriée. Pour la variable *TCE*, une méthode plus adéquate est d'estimer un modèle logit multinomial ordonné (MLMO). Ce modèle suppose l'existence d'une variable latente sous-jacente (non observée) $y^* \in]-\infty, +\infty[$ qui dépend linéairement des variables explicatives x :

$$y^* = x\beta + e$$

avec e représentant un terme d'erreur aléatoire qui est supposé être indépendamment et identiquement distribué, suivant une loi logistique de moyenne nulle et de variance constante finie³³.

³² Pour s'assurer de la fiabilité de nos résultats sur le plan statistique, nous ne retenons que les axes sur lesquels nous observons au moins 30 camions. Les résultats sont assez similaires si on applique un critère de 50 observations.

³³ Les estimations que nous présentons plus loin ne nécessitent pas de maintenir l'hypothèse que les termes d'erreurs sont distribués de manière identique. En effet, les écart types des coefficients rapportés dans les tableaux 5 et 6 sont robustes à la présence d'hétéroscédasticité (estimateurs de Hubber et White).

On peut ensuite définir des bornes non observées **Erreur ! Des objets ne peuvent pas être créés à partir des codes de champs de mise en forme.** telles que :

TCE = 0	si $y^* < \alpha_1$
TCE = 25%	si $\alpha_1 \leq y^* \leq \alpha_2$
TCE = 50%	si $\alpha_2 \leq y^* \leq \alpha_3$
TCE = 75%	si $\alpha_3 \leq y^* \leq \alpha_4$
TCE = 100%	si $\alpha_4 < y^*$

Ces hypothèses nous permettent de dériver la probabilité d'observer une réponse particulière en fonction des variables explicatives :

$$P(\text{TCE} = 0 | x) = P(y^* < \alpha_1 | x) = P(e < \alpha_1 - x\beta | x) = \Lambda(\alpha_1 - x\beta)$$

$$P(\text{TCE} = 25\% | x) = P(\alpha_1 \leq y^* \leq \alpha_2 | x) = P(\alpha_1 - x\beta \leq e \leq \alpha_2 - x\beta | x) = \Lambda(\alpha_2 - x\beta) - \Lambda(\alpha_1 - x\beta)$$

$$P(\text{TCE} = 50\% | x) = P(\alpha_2 \leq y^* \leq \alpha_3 | x) = P(\alpha_2 - x\beta \leq e \leq \alpha_3 - x\beta | x) = \Lambda(\alpha_3 - x\beta) - \Lambda(\alpha_2 - x\beta)$$

$$P(\text{TCE} = 75\% | x) = P(\alpha_3 \leq y^* \leq \alpha_4 | x) = P(\alpha_3 - x\beta \leq e \leq \alpha_4 - x\beta | x) = \Lambda(\alpha_4 - x\beta) - \Lambda(\alpha_3 - x\beta)$$

$$P(\text{TCE} = 100\% | x) = P(\alpha_4 < y^* | x) = P(\alpha_4 - x\beta \leq e | x) = 1 - \Lambda(\alpha_4 - x\beta)$$

où $\Lambda(z)$ symbolise la fonction logistique, qui se définit comme

$$\Lambda(z) = \frac{1}{(1 + \exp(-z))}$$

Les paramètres α et β peuvent être estimés par maximum de vraisemblance (voir par exemple Wooldridge, 2002). Pour chaque observation i , le log de la fonction de vraisemblance est donné par :

$$l_i(\alpha, \beta) = \mathbb{1}[y_i = 0] \log[\Lambda(\alpha_1 - x_i\beta)] + \mathbb{1}[y_i = 25\%] \log[\Lambda(\alpha_2 - x_i\beta) - \Lambda(\alpha_1 - x_i\beta)] + \\ \mathbb{1}[y_i = 50\%] \log[\Lambda(\alpha_3 - x_i\beta) - \Lambda(\alpha_2 - x_i\beta)] + \mathbb{1}[y_i = 75\%] \log[\Lambda(\alpha_4 - x_i\beta) - \Lambda(\alpha_3 - x_i\beta)] + \\ \mathbb{1}[y_i = 100\%] \log[1 - \Lambda(\alpha_4 - x_i\beta)]$$

avec $\mathbb{1}[\cdot]$ qui représente la fonction indicatrice. Le log de la fonction de vraisemblance est donc :

$$\log L(\alpha, \beta | y) = \sum_{i=1}^N l_i(\alpha, \beta)$$

Nous estimons également le modèle en tenant compte explicitement du facteur d'expansion, qui représente en fait l'inverse de la probabilité d'échantillonnage. Dans ce cas, le log de la fonction de « pseudo-vraisemblance » est donné par:

$$\log L(\alpha, \beta | y) = \sum_{i=1}^N \omega_i l_i(\alpha, \beta)$$

avec ω_i qui représente le facteur d'expansion. Si la stratification est basée uniquement sur des variables exogènes (c.-à-d. que ω_i ne dépend que de variables exogènes), alors les estimateurs obtenus sans pondération sont consistants et généralement plus efficaces (voir Wooldridge, 1999). Par contre, si la stratification a un caractère endogène, alors les estimateurs non pondérés sont généralement inconsistants alors que les estimateurs pondérés sont consistants. Nos résultats ont été estimés en utilisant la procédure *ologit* du logiciel Stata³⁴.

³⁴ Notons également que, dans le cas avec pondération, nous tenons également compte du « clustering » par sites d'enquête dans le calcul des écarts types des estimateurs.

3. RÉSULTATS

Avant d'analyser les résultats de l'analyse économétrique, il est utile de présenter quelques statistiques descriptives. Le tableau 3 rapporte la moyenne et l'écart type des variables calculés pour l'ensemble des observations de notre échantillon. Nous présentons également les moyennes pondérées par le facteur d'expansion.

Tableau 3 : Moyenne (écart type) des variables

Variables	Échantillon	Échantillon pondéré (*)
TCE (%) ALLER ET RETOUR	61,11 (44,53)	52,31 (45,99)
ALLER	69,35 (41,21)	61,57 (44,03)
RETOUR	53,17 (46,14)	44,06 (46,14)
% CAMIONS VIDES ALLER ET RETOUR	30,28 (45,94)	38,81 (48,73)
ALLER	21,63 (41,18)	28,97 (45,36)
RETOUR	38,60 (48,68)	47,58 (49,94)
SGEV (%)	9,18 (28,88)	6,54 (24,73)
TACHYGRAPHE (%)	14,61 (35,33)	15,59 (36,28)
ESSIEUX	5,39 (1,39)	5,23 (1,59)
QUÉBEC (%)	66,48 (47,20)	75,13 (43,22)
ROC (%)	27,28 (44,54)	20,67 (40,49)
USA (%)	6,22 (24,16)	4,19 (20,04)
TRACTEUR-REMORQUE (%)	83,54 (37,08)	77,33 (41,86)
TRAIN ROUTIER (%)	6,11 (23,96)	5,98 (23,73)
PORTEUR (%)	9,54 (29,39)	15,55 (36,24)
PORTEUR-REMORQUE (%)	0,79 (8,86)	1,11 (10,51)

Variables	Échantillon	Échantillon pondéré (*)
FOURGON (%)	47,48 (49,93)	47,17 (49,92)
PORTE-CONTENEURS (%)	2,99 (17,04)	3,70 (18,32)
FOURGON RÉFRIGÉRÉ (%)	10,05 (30,07)	10,08 (30,11)
PLATEAU (%)	17,36 (37,88)	15,70 (36,38)
RIDELLES (%)	3,39 (18,10)	3,48 (18,32)
TRÉMIE (%)	4,67 (21,10)	4,51 (20,76)
BASCULANTE (%)	3,77 (19,05)	5,40 (22,61)
CITERNE (%)	8,74 (28,24)	8,59 (28,02)
SPÉCIALISÉE (%)	1,51 (12,20)	1,33 (11,46)
COMPTE PROPRE (%)	22,63 (41,84)	29,38 (45,53)
PROPR.-EXPL. (%)	22,63 (41,84)	18,22 (38,60)
DISTANCE (km)	719,07 (877,12)	397,18 (519,59)
POPULATION	186,11 x 10 ⁻⁶ (0.0013)	198 x 10 ⁻⁶ (0.0139)
REVENU (en mil. CA\$)	45,87 (9.562)	44,73 (8.904)
TRAFIC	88,47 (99,14)	100,57 (100,32)
Nbr. de déplacements	14 022	167 218

(*) : Le facteur d'expansion est utilisé pour pondérer chaque observation.

En ce qui concerne la structure de notre échantillon (sans tenir compte du facteur d'expansion), on peut constater que la moyenne du *TCP* est plus faible que celle du *TCE*. Cela reflète bien entendu le fait qu'un camion peut être contraint sur le plan du volume (*TCE* = 100 %), mais que le *TCP* peut être inférieur à 100 %. Clairement, le *TC* est moins élevé pour les voyages de retour. Cela s'explique essentiellement par le plus grand pourcentage de voyages vides au retour, puisque le *TCE* est plus ou moins identique si on élimine les camions vides (88,50 % pour l'ALLER, contre 86,60 % pour le RETOUR). Notons également que les camions vides voyagent sur de plus longues distances au RETOUR, puisque la distance moyenne des voyages à vide pour l'ALLER est de 278 km, contre 349 km pour le RETOUR. La présence d'un SGEV ou d'un TACHYGRAPHE est assez rare, ce qui

s'explique probablement par le fait que les données remontent à plusieurs années. Les camions interceptés sont principalement basés au Québec, ce qui n'est évidemment pas surprenant étant donné la structure de notre échantillon. Pour ce qui est de la configuration, c'est le tracteur-remorque qui domine largement. Pour les types de remorques, les fourgons et fourgons réfrigérés représentent près de 60 % de l'échantillon. Seulement 20 % des camions de notre échantillon roulent pour des transporteurs privés. Cela s'explique certainement par le fait que ce type de transporteurs se concentrent surtout sur les déplacements locaux (c.-à-d. de courte distance et à l'intérieur d'une même région), qui ne constituaient pas l'objet de l'enquête. Notons d'ailleurs que la distance moyenne parcourue est d'un peu plus de 700 km.

Si on tient compte du facteur d'expansion, on note une réduction assez marquée du *TCE*, qui est probablement liée à la réduction substantielle de la distance moyenne parcourue. On note aussi une augmentation du pourcentage de camions voyageant à vide, de camions dont le port d'attache est au Québec, des porteurs et des déplacements pour compte propre. Par contre, le taux de pénétration des SGEV diminue. Tous ces changements correspondent aux facteurs d'expansion plus importants associés aux déplacements de courtes distances.

Le tableau 4 croise le *TCE* et le taux de pénétration des SGEV en fonction de quelques facteurs explicatifs clefs. On constate que le *TCE* est associé positivement à la présence d'un SGEV, à la taille du camion, au transport pour compte d'autrui, à la configuration tracteur-remorque, au fait que le conducteur est propriétaire du camion et surtout à la distance. De plus, les camions québécois seraient en moyenne moins remplis. Ce dernier résultat est cependant moins clair si l'on tient compte du facteur d'expansion. Les SGEV semblent surtout être installés sur de gros camions parcourant de longues distances et exploités par des transporteurs pour compte d'autrui. De plus, le taux de pénétration des SGEV est plus important pour les camions provenant du ROC et des États-Unis. Évidemment, il est difficile de conclure quoi que ce soit sur la base de ces corrélations partielles. Ainsi, le *TCE* moyen plus élevé pour des camions provenant de l'extérieur du Québec s'explique certainement en partie par le fait que ces camions voyagent sur de plus longues distances. Cela montre l'intérêt de procéder à une analyse économétrique pour isoler les effets individuels de chaque facteur.

Tableau 4 : Taux de remplissage moyen et taux de pénétration des SGEV en fonction de quelques variables clé

Variables	TCE moyen (%)	TCE moyen (pondéré) (*) (%)	% de présence d'un SGEV	% de présence d'un SGEV (pondéré)(*)
SGEV				
Oui	75,8	67,8	--	--
Non	59,6	51,2		
ESSIEUX				
<5	27,6	26,4	0,7	0,7
>=5	65,3	57,9	10,2	7,7
QUÉBEC	58,7	51,5	5,5	4,3
ROC	66,7	54,6	15,8	12,2
USA	61,1	54,4	19,3	17,3
TRACTEUR-REMORQUE				
Oui	65,1	57,1	10,6	8,0
Non	40,5	35,7	1,7	1,4
FOURGON				
Oui	64,5	53,3	12,8	9,4
Non	58,0	51,3	5,8	3,9
COMPTE PROPRE				
Oui	48,79	40,3	4,1	3,2
Non	64,7	57,3	10,6	7,9
PROPR.-EXPL.				
Oui	67,0	56,4	7,9	4,6
Non	59,6	51,4	9,4	6,9
DISTANCE				
< 400 km	43,8	41,4	3,7	3,7
> 400 km	76,8	75,2	14,1	12,4

(*) : Le facteur d'expansion est utilisé pour pondérer chaque observation.

Les tableaux 5 et 6 présentent respectivement les résultats économétriques provenant des sous-échantillons ALLER et RETOUR. Les colonnes (1) et (2) présentent les résultats du modèle de base, sans et avec pondération des observations par le facteur d'expansion. Nous présentons ensuite dans les colonnes (3) et (4) les résultats obtenus lorsque l'on permet à l'effet d'un SGEV de varier suivant la distance du déplacement.

Comme l'effet des facteurs peut être différent suivant le type du camion et de sa remorque, nous estimons également le modèle sur un sous-échantillon ne comprenant que des camions assez standards, soit des camions qui sont de configuration tracteur-remorque et qui sont munis d'une remorque de type

fourgon (colonnes (5) et (6))³⁵. Notons que pour certaines variables, les coefficients mesurent l'effet de la variable relativement à un groupe de référence. Ainsi, par exemple, le coefficient sur la variable ROC permet de comparer le TC d'un camion immatriculé dans le reste du Canada au TC d'un camion immatriculé au Québec, toutes choses étant égales par ailleurs.

Tableau 5 : Coefficients (écarts types) pour l'échantillon ALLER

Variable	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
SGEV	-0,0760 (0,0948)	-0,2411 (0,2219)	--	--	-0,2640** (0,1338)	-0,2207 (0,3101)
SGEV ET DIST ≤ 400	--	--	-0,3932** (0,2053)	-0,5338 (0,4806)	--	--
SGEV ET DIST > 400	--	--	0,0325 (0,1099)	-0,0259 (0,1730)	--	--
TACHYGRAPHE	0,0977 (0,0789)	0,3112** (0,1280)	0,1047 (0,0790)	0,3225** (0,1272)	0,3065** (0,1455)	0,5113** (0,2334)
ESSIEUX	0,4159*** (0,0434)	0,4765*** (0,0611)	0,4163*** (0,0434)	0,4767*** (0,0610)	0,5335*** (0,0813)	0,6048*** (0,1720)
QUÉBEC	Référence	Référence	Référence	Référence	Référence	Référence
ROC	-0,3535*** (0,0993)	-0,5486*** (0,1125)	-0,3466*** (0,0993)	-0,5391*** (0,1139)	-0,2986* (0,1544)	-0,6286** (0,2713)
USA	-0,5949*** (0,1646)	-0,6245** (0,2911)	-0,5930*** (0,1649)	-0,6288** (0,2937)	-0,5969** (0,2561)	-0,9292** (0,5419)
TRACTEUR- REMORQUE	Référence	Référence	Référence	Référence	--	--
TRAIN ROUTIER	-0,7244*** (0,1487)	-0,8183*** (0,2079)	-0,7218*** (0,1487)	-0,8154*** (0,2074)	--	--
PORTEUR	0,5640*** (0,1662)	1,0570*** (0,2590)	0,5559*** (0,1661)	1,0493*** (0,2596)	--	--
PORTEUR- REMORQUE	-0,2265 (0,3093)	-0,8077*** (0,3704)	-0,2334 (0,3091)	-0,8143** (0,3717)	--	--
FOURGON	Référence	Référence	Référence	Référence	--	--
PORTE- CONTENEURS	-0,2601 (0,1777)	-0,0661 (0,2971)	-0,2661 (0,1776)	-0,0710 (0,2952)	--	--
FOURGON REFRIGÉRÉ	-0,0644 (0,0862)	-0,3016*** (0,1162)	-0,0677 (0,0864)	-0,3002** (0,1164)	--	--
RIDELLES	0,2199 (0,1712)	0,2313 (0,3438)	0,2144 (0,1711)	0,2276 (0,3448)	--	--
PLATEAU	-0,4433*** (0,0748)	-0,4769*** (0,1245)	-0,4425*** (0,0747)	-0,4745** (0,1221)	--	--
TRÉMIE	0,0321 (0,1529)	0,4743 (0,3042)	0,0241 (0,1528)	0,4678 (0,3028)	--	--
BASCULANTE	-0,5560***	-0,5283**	-0,5582***	-0,5315**	--	--

³⁵ Les résultats obtenus à partir du modèle linéaire peuvent être consultés en en faisant la demande auprès des auteurs. Il en va de même pour les résultats obtenus en utilisant TCP.

Variable	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	(0,1542)	(0,2839)	(0,1544)	(0,2827)		
CITERNE	-0,9184*** (0,1059)	-0,8454*** (0,2507)	-0,9218*** (0,1061)	-0,8520*** (0,2498)	--	--
SPECIALISÉE	-0,6264*** (0,2322)	0,3814 (0,5345)	-0,6226*** (0,2318)	0,3821 (0,5337)	--	--
COMPTE PROPRE	-0,0370 (0,0656)	-0,0002 (0,0962)	-0,0390 (0,0656)	-0,0015 (0,0962)	0,1409 (0,1251)	0,0141 (0,2053)
PROPR.-EXPL.	-0,0890 (0,0639)	-0,2350** (0,1033)	-0,0848 (0,0639)	-0,2324** (0,1032)	-0,1951* (0,1165)	-0,1859 (0,1791)
Log(DISTANCE)	0,6640*** (0,0430)	0,7074*** (0,0733)	0,6544*** (0,0432)	0,6954*** (0,0710)	0,8444*** (0,0787)	0,9501*** (0,1348)
POPULATION	97,54*** (25,11)	87,62*** (32,41)	94,01*** (25,18)	84,14** (32,61)	100,41*** (59,10)	67,69 (55,39)
REVENU	0,0053 (0,0033)	0,0087 (0,0061)	0,0052 (0,0033)	0,0084 (0,0062)	0,0002 (0,0056)	-0,0005 (0,0088)
TRAFIC	0,0006* (0,0003)	0,0015*** (0,0005)	0,0007* (0,0003)	0,0015*** (0,0005)	0,0014** (0,0006)	0,0038*** (0,0010)
α_1	5,0633 (0,3701)	5,8529 (0,5549)	5,0013 (0,3706)	5,7748 (0,5557)	6,8071 (0,6640)	7,8052 (1,2864)
α_2	5,4099 (0,3709)	6,1924 (0,5514)	5,3483 (0,3714)	6,1149 (0,5523)	7,1491 (0,6668)	8,1733 (1,2916)
α_3	5,7210 (0,3717)	6,4597 (0,5579)	5,6596 (0,3722)	6,3823 (0,5594)	7,4787 (0,6680)	8,4072 (1,2995)
α_4	6,3311 (0,3730)	6,9988 (0,5711)	6,2698 (0,3734)	6,9216 (0,5713)	8,0245 (0,6712)	8,8395 (1,3025)
Log- vraisemblance	-7288,6	--	-7286,5	--	-2384,2	--
Test du ratio de vraisemblance	$\chi^2(50)=1685$	--	$\chi^2(51)=1690$	--	$\chi^2(23)=514$	--
Test de Wald	--	F(50,50)= 179,25	--	F(51,49)= 175,8	--	F(23,63)= 109,58
Pseudo R-carré de McFadden	0,1120	0,1080	0,1122	0,1083	0,1145	0,132
Nbr. d'obs.	6877	6877	6877	6877	2537	2537

(1) : Modèle MNLO de base sans pondération.

(2) : Modèle MNLO de base avec pondération par le facteur d'expansion.

(3) : Modèle MNLO avec effet croisé SGEV et DIST sans pondération.

(4) : Modèle MNLO avec effet croisé SGEV et DIST avec pondération par le facteur d'expansion.

(5) : Modèle MNLO estimé sur le sous-échantillon des tracteurs-remorque/fourgon, sans pondération.

(6) : Modèle MNLO estimé sur le sous-échantillon des tracteurs-remorque/fourgon avec pondération par le facteur d'expansion.

* : significatif à 10 %, ** : significatif à 5 %, *** : significatif à 1%

(1), (3) et (5) : Les écarts types sont robustes à l'hétéroscédasticité (estimateurs de Hubber et White).

Tableau 6 : Coefficients (écarts types) pour l'échantillon RETOUR

Variable	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
SGEV	0,2147** (0,0897)	0,4231*** (0,1387)	--	--	0,3141** (0,1262)	0,5723*** (0,1853)
SGEV ET DIST ≤ 400	--	--	-0,3057 (0,1893)	0,1833 (0,2889)	--	--
SGEV ET DIST > 400	--	--	0,3708*** (0,1056)	0,6190*** (0,1184)	--	--
TACHYGRAPHE	-0,1211* (0,0713)	-0,2458 (0,1574)	-0,1128 (0,0715)	-0,2409 (0,1571)	0,0299 (0,1261)	-0,0085 (0,2009)
ESSIEUX	0,1795*** (0,0371)	0,1063 (0,0671)	0,1770*** (0,0371)	0,1047 (0,0675)	0,2616*** (0,0664)	0,1364 (0,1014)
QUÉBEC	Référence	Référence	Référence	Référence	Référence	Référence
ROC	0,0407 (0,0841)	-0,2313 (0,1610)	0,0448 (0,0845)	0,2305 (0,1601)	0,1132 (0,1291)	-0,2904 (0,1945)
USA	-0,4964*** (0,1710)	-1,129*** (0,2446)	-0,4887*** (0,1713)	-1,1441*** (0,2417)	-0,7648*** (0,2646)	-1,2943*** (0,4605)
TRACTEUR- REMORQUE	Référence	Référence	Référence	Référence	--	--
TRAIN ROUTIER	-0,4555*** (0,1309)	0,0702 (0,3269)	-0,4490*** (0,1308)	0,0710 (0,3268)	--	--
PORTEUR	-0,2020 (0,1484)	-0,2021 (0,2229)	-0,2251 (0,1482)	-0,2155 (0,2250)	--	--
PORTEUR- REMORQUE	-0,2026 (0,2515)	0,2549 (0,3360)	-0,2113 (0,2506)	0,2492 (0,3353)	--	--
FOURGON	Référence	Référence	Référence	Référence	--	--
PORTE- CONTENEURS	-0,2050 (0,1562)	-0,3629* (0,1883)	-0,2062 (0,1565)	-0,3589** (0,1912)	--	--
FOURGON REFRIGÉRÉ	-0,2288*** (0,0802)	-0,2181** (0,1057)	-0,2344*** (0,0801)	-0,2205** (0,1045)	--	--
RIDELLES	-0,0497 (0,1387)	-0,2791 (0,2258)	-0,0535 (0,1388)	-0,2801 (0,2266)	--	--
PLATEAU	-0,5072*** (0,0715)	-0,3874*** (0,1342)	-0,5076*** (0,0714)	-0,3858*** (0,1337)	--	--
TRÉMIE	-0,1726 (0,1442)	0,0760 (0,2593)	-0,1797 (0,1438)	0,0772 (0,2584)	--	--
BASCULANTE	0,0822 (0,1471)	0,0270 (0,2593)	0,0730 (0,1465)	0,0213 (0,2827)	--	--
CITERNE	-1,4096*** (0,0997)	-1,0055*** (0,2434)	-1,4146*** (0,0996)	-1,0258*** (0,2439)	--	--
SPECIALISÉE	-1,0030*** (0,2170)	-1,0256*** (0,2668)	-1,0091*** (0,2168)	-1,0258*** (0,2667)	--	--
COMPTE PROPRE	-0,1080* (0,0612)	-0,1505 (0,1114)	-0,1086* (0,0613)	-0,1502 (0,1274)	-0,0298 (0,1103)	-0,0386 (0,1872)
PROPR.-EXPL.	0,0632 (0,0613)	0,1590 (0,1114)	0,0628 (0,0613)	0,1585 (0,1109)	0,0985 (0,1072)	0,1271 (0,1894)

Variable	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Log(DISTANCE)	0,5526*** (0,0383)	0,6356*** (0,0733)	0,5373*** (0,0384)	0,6250*** (0,0764)	0,8338*** (0,0703)	1,0032*** (0,0759)
POPULATION	102,56*** (21,78)	147,74*** (24,88)	98,66*** (21,74)	145,20*** (25,65)	155,09*** (47,58)	192,80*** (26,559)
REVENU	0,0007 (0,0032)	0,0034 (0,0041)	0,0004 (0,0032)	-0,0000 (0,0041)	-0,0037 (0,0052)	-0,0017 (0,0062)
TRAFIC	0,0000 (0,0003)	0,0012* (0,0006)	0,0000 (0,0003)	0,0012* (0,0006)	0,0009* (0,0005)	0,0028 (0,0006)
α_1	3,6978 (0,3274)	3,8503 (0,5654)	3,5695 (0,3287)	3,7622 (0,5940)	5,5043 (0,5449)	5,8981 (0,6615)
α_2	3,9810 (0,3276)	4,1739 (0,5836)	3,8531 (0,3290)	4,0860 (0,6078)	5,7975 (0,5459)	6,2098 (0,6701)
α_3	4,1798 (0,3279)	4,3319 (0,5850)	4,0522 (0,3292)	4,2440 (0,6092)	6,0105 (0,5465)	6,3838 (0,6670)
α_4	4,5992 (0,3284)	4,6880 (0,5821)	4,4719 (0,3298)	4,6003 (0,6062)	6,3496 (0,5477)	6,6903 (0,6573)
Log-vraisemblance	-7894,0512	-7807,4	-7888,954	-7805,0	-2780,6665	-2835,9
Test du ratio de vraisemblance	$\chi^2(49)=1561$	--	$\chi^2(50)=1565$	--	$\chi^2(24)=466$	--
Test de Wald	--	F(49,51)= 176,38	--	F(50,50)= 173,5	--	F(24,58)= 59,34
Pseudo R-carré de McFadden	0,0988	0,0875	0,0994	0,087	0,0875	0,0989
Nbr. d'obs.	7145	7145	7145	7145	2656	2656

(1) : Modèle MNLO de base sans pondération.

(2) : Modèle MNLO de base avec pondération par le facteur d'expansion.

(3) : Modèle MNLO avec effet croisé SGEV et DIST sans pondération.

(4) : Modèle MNLO avec effet croisé SGEV et DIST avec pondération par le facteur d'expansion.

(5) : Modèle MNLO estimé sur le sous-échantillon des tracteurs-remorque/fourgon, sans pondération.

(6) : Modèle MNLO estimé sur le sous-échantillon des tracteurs-remorque/fourgon avec pondération par le facteur d'expansion.

* : significatif à 10 %, ** : significatif à 5 %, *** : significatif à 1 %

(1), (3) et (5) : Les écarts types sont robustes à l'hétéroscédasticité (estimateurs de Hubber et White).

À partir de ces deux tableaux, voici les principales observations que l'on peut dégager :

- On note tout d'abord que la pondération des observations par le facteur d'expansion a un effet important sur les coefficients estimés associés à plusieurs variables. Cela suggère donc que la stratification a probablement un caractère endogène. De plus, comme les estimations obtenues en tenant compte de la pondération sont moins sensibles aux problèmes de spécification, nous privilégierons ces estimations dans la suite (voir Wooldridge, 1999).

- Pour l'ALLER, la présence d'un SGEV semble avoir un effet négatif, particulièrement sur les courtes distances et pour les camions munis d'une remorque de type fourgon. Cet effet n'est cependant pas significatif dans les spécifications qui pondèrent les observations par le facteur d'expansion. Pour ce qui est du RETOUR, le SGEV a un effet positif significatif sur le TC. Cet effet semble surtout marqué sur les trajets de longue distance. De plus, on constate que les coefficients estimés sont environ deux fois plus importants lorsque l'on pondère par le facteur d'expansion. Ainsi, si clairement la présence de SGEV accroît le TC pour le RETOUR, l'effet pour l'ALLER est moins net, mais pointe tout de même vers la présence d'un effet de type rebond limité.
- La présence d'un TACHYGRAPHE a un effet positif pour l'ALLER et négatif pour le RETOUR, quoique non significatif dans plusieurs cas.
- Comme prévu, la taille du camion est liée positivement au TC, particulièrement pour l'ALLER. Pour ce qui est du RETOUR, l'effet n'est statistiquement significatif que pour les estimations non pondérées.
- Contrairement à ce que l'analyse descriptive laissait entrevoir, le TC des camions immatriculés au Québec est significativement plus élevé que celui des camions provenant du reste du Canada ou des États-Unis pour l'ALLER. Pour le RETOUR, seuls les camions américains ont un TC significativement inférieur à celui des camions québécois. Cela pourrait refléter une connaissance plus limitée du marché québécois chez les transporteurs américains, et donc une probabilité plus faible de trouver des chargements pour les voyages de retour. Il faut cependant être très prudent dans l'interprétation de ces résultats puisque le lieu d'immatriculation d'un camion détermine en grande partie l'axe sur lequel il circule. Par exemple, sur l'axe reliant l'Ontario au Québec, la très grande majorité des camions dans le sous-échantillon des voyages de type « aller » sont immatriculés dans le reste du Canada. Ainsi pour ces camions, l'effet du lieu d'immatriculation est difficilement dissociable de celui de l'AXE sur lequel ils circulent.
- Relativement à la configuration tracteur-remorque, les trains routiers sont caractérisés par des TC significativement plus faibles (ALLER et RETOUR). Par contre, les camions porteurs ont des taux plus importants pour l'ALLER. Évidemment, il faut être assez prudent lorsque l'on interprète ces résultats, puisque la configuration d'un camion ne peut pas être complètement dissociée de sa taille. En effet, les camions porteurs ont pour la plupart deux essieux, alors que les trains routiers en comptent généralement au moins huit.

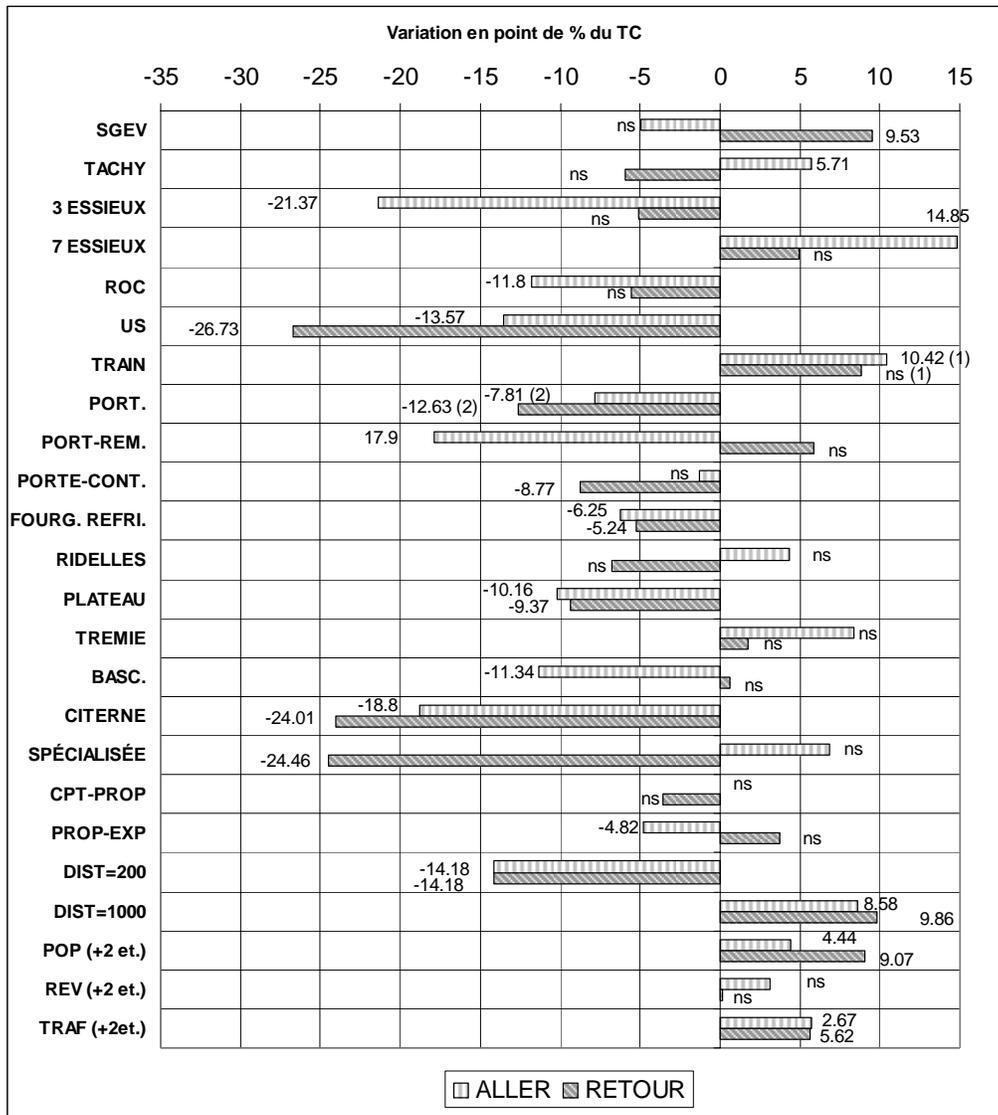
- En ce qui concerne les types de remorques, on remarque que, de manière générale, les remorques de type spécialisé, comme les citernes, ont des taux de remplissage inférieurs à ceux des remorques de type fourgon. L'effet est aussi généralement plus marqué pour le voyage de RETOUR. Il y a cependant certains cas où c'est l'opposé, par exemple pour les remorques de type benne basculante.
- Comme prévu, les camions associés à des transporteurs pour compte propre ont des taux de remplissage plus faibles pour le RETOUR. Cet effet n'est cependant pas statistiquement significatif en ce qui concerne plusieurs des spécifications.
- Les propriétaires-exploitants semblent davantage prêts à accepter des charges moindres pour l'ALLER. Pour le RETOUR, le fait que le conducteur soit propriétaire du camion ne semble pas avoir d'importance.
- On observe sans surprise que le TC est nettement lié de façon positive à la distance pour les deux sous-échantillons.
- L'importance de la POPULATION et du TRAFIC influence aussi positivement les TC. La variable REVENU n'a pas d'effet statistiquement significatif.

Jusqu'à présent, nous n'avons discuté que du signe et du degré de significativité statistique. Il est évidemment aussi important d'évaluer l'importance des effets des différentes variables. Pour les modèles linéaires, les coefficients fournissent directement une idée de la magnitude des effets. Malheureusement, l'interprétation des coefficients des modèles MLMO n'est pas aussi directe. Nous présentons donc les résultats de ces modèles sous forme de simulations.

Sur base des résultats reportés dans la colonne (2) des tableaux 5 et 6, la figure 1 présente les variations du TC en points de pourcentage associés à différents scénarios relativement au TC estimé par le modèle pour un cas de référence. Ce cas de référence correspond à un déplacement de 500 km caractérisé par une variable POPULATION et REVENU fixée à la valeur moyenne de l'échantillon complet et par un camion ayant les caractéristiques suivantes :

- pas de SGEV ou de TACHYGRAPHE;
- cinq essieux;
- immatriculé au Québec;
- de type tracteur-remorque avec une remorque de type fourgon;
- exploité par un transporteur pour compte d'autrui.

La figure 1 montre par exemple que, pour le RETOUR, l'ajout d'un SGEV fait augmenter le TCE de 9,53 points de pourcentage. La figure 2 présente l'importance des effets associés à l'ajout d'un SGEV à partir des résultats des colonnes (4) et (6). À l'annexe D, des figures équivalentes sont présentées pour les résultats obtenus sans pondération des observations.



ns : non significatif

(1) Le nombre d'essieux a été ajusté de 5 à 8.

(2) Le nombre d'essieux a été ajusté de 5 à 2.

Figure 1 : Effet des facteurs explicatifs sur le TC à partir des résultats des colonnes 2 (tableaux 5 et 6).

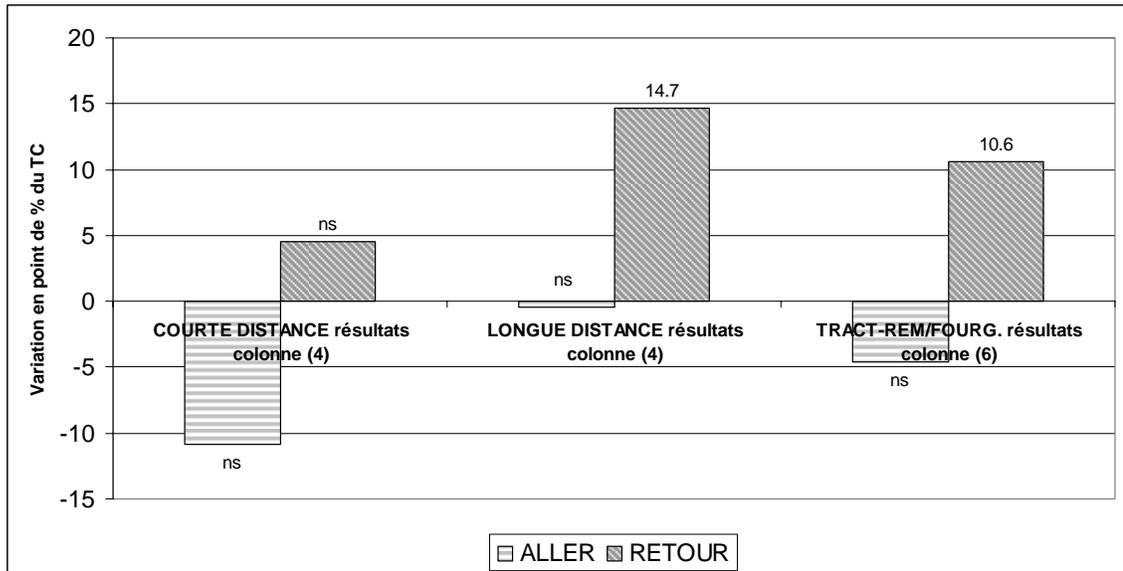


Figure 2 : Effet des SGEV sur le TC à partir des résultats des colonnes 4 et 6 (tableaux 5 et 6).

L'analyse des figures permet de dégager les constats suivants :

- La présence d'un SGEV réduit très légèrement le TC pour l'ALLER (effet non significatif) et accroît le TC de près de 10 points de pourcentage pour le RETOUR (figure 1). Sur la base de la figure 2, il semble que l'effet positif pour le RETOUR se manifeste surtout sur les déplacements de plus de 400 km (+14,7 %). Les effets ne sont pas très différents si on se limite au sous-échantillon des tracteurs-remorque/fourgon. Lorsque l'on ne tient pas compte du facteur d'expansion, l'effet positif du SGEV au RETOUR est moins prononcé; par contre, l'effet négatif à l'ALLER est statistiquement significatif dans certain cas (-8,46 % pour des déplacements de moins de 400 km).
- La présence d'un TACHYGRAPHE accroît le TC de 5,71 points de pourcentage pour l'ALLER et a un effet légèrement négatif pour le RETOUR.
- La taille du camion influence le TC particulièrement pour l'ALLER. Ainsi, par exemple, un camion de sept essieux a un taux de remplissage moyen supérieur de près de 15 points de pourcentage par rapport à un camion de cinq essieux pour l'ALLER.
- La distance parcourue a un effet positif important à la fois à l'ALLER et au RETOUR. Par exemple, on enregistre des TC supérieurs de 8 à 10 points de pourcentage si on prend en considération une augmentation de la distance de 500 km à 1000 km. La taille de population a aussi un

effet non négligeable, puisque l'augmentation de cette variable par deux écarts types entraîne une hausse du taux de remplissage de 4 à 9 points de pourcentage pour l'aller et pour le retour respectivement.

- À l'aller, les camions immatriculés dans le reste du Canada et aux États-Unis ont respectivement des taux de remplissage inférieurs de 12 et 13 points de pourcentage par rapport aux camions québécois. Au retour, seuls les camions américains se distinguent, avec des taux inférieurs de 26 points. Ces effets sont un peu moins prononcés si on ne pondère pas les observations par le facteur d'expansion. Comme mentionné précédemment, ces résultats doivent être interprétés avec une très grande prudence étant donné les liens étroits qui existent entre le lieu de l'immatriculation et l'axe de circulation.
- La nature des activités (compte propre/compte d'autrui) n'a pas d'effet très important sur le TC *ceteris paribus*. Le TC des propriétaires-exploitants est inférieur de 4,82 points de pourcentage pour l'ALLER. On ne note pas d'effet significatif pour le RETOUR.
- On note que la configuration TRAIN ROUTIER est caractérisée par un taux de remplissage plus élevé à l'aller alors que les camions de type PORTEUR sont généralement moins remplis à l'aller comme au retour. Soulignons que pour ces simulations, nous ajustons simultanément la configuration et le nombre d'essieux afin de mieux refléter la réalité.
- L'effet du degré de spécialisation de la remorque peut être assez important. Ainsi, par exemple, les camions-citernes ont des taux de remplissage inférieurs de 18 points de pourcentage à l'aller et de 24 au retour.

Afin de mieux évaluer l'ordre de grandeur associé à l'effet des SGEV, nous avons procédé à la simulation suivante. Nous avons calculé les tonnes-kilomètres transportées (TKMT) estimées par notre modèle pour tous les déplacements de notre échantillon. Nous avons ensuite cherché à savoir quelles auraient été les TKMT sans la présence des SGEV. En d'autres termes, pour les observations correspondant à des camions munis de SGEV, nous avons calculé, sur la base de notre modèle, les TKMT qui auraient été transportées si ces camions n'avaient pas eu de SGEV (toutes les autres caractéristiques étant maintenues constantes). Cette simulation nous permet de calculer l'accroissement des TKMT entraîné par cette technologie pour les camions qui l'ont adoptée. Nous calculons aussi le pourcentage d'accroissement des TKMT dû au SGEV relativement au TKMT correspondant à l'ensemble des déplacements de notre échantillon. Nous traduisons également cet effet en termes d'efficacité énergétique, en utilisant l'hypothèse qu'une augmentation du TC d'un camion de 1 % accroît la consommation de carburant de 0,2 %. Le tableau 7 présente les résultats de ces simulations en utilisant les résultats des six spécifications rapportées dans les tableaux 5 et 6.

Tableau 7 : Effet des SGEV sur les TKMT et sur l'efficacité énergétique

EFFET DES SGEV	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
VARIATION DES TKMT (%) (CAMIONS MUNIS DE SGEV)	1,3	2,57	2,9	5,04	0,47	4,05
VARIATION TKMT (%)	0,21	0,32	0,47	0,63	0,09	0,7
VARIATION EFF. ÉNERG. (%)	0,17	0,26	0,37	0,50	0,07	0,56

Les colonnes (1) à (6) présentent les simulations correspondant aux spécifications des tableaux 5 et 6.

Comme on peut le constater, l'effet estimé des SGEV est assez différent selon que l'on utilise les résultats avec ou sans pondération par le facteur d'expansion. Sur la base des résultats sans pondération, l'effet de cette technologie est assez marginal, puisqu'elle n'accroît les TKMT des camions qui en sont munis que de 0,47 % à 2,9 % suivant les spécifications. Cela implique un accroissement des TKMT pour l'ensemble des camions de l'échantillon de 0,09 % à 0,47 %, ou encore une amélioration de l'efficacité énergétique de l'ordre de 0,07 % à 0,37 %. Par contre, sur la base des résultats avec pondération, les SGEV accroissent les TKMT des camions qui en sont munis de 2,57 % à 5,04 %, ce qui se traduit dans un accroissement du taux d'utilisation de la capacité de l'industrie de 0,32 % à 0,7 %. En termes d'efficacité énergétique, on obtient une amélioration de 0,26 % à 0,56 %. Évidemment, ces simulations ne visent pas à fournir des chiffres précis, mais plutôt à donner un ordre de grandeur de l'effet de ces systèmes.

L'effet que nous mesurons sur le taux d'utilisation de la capacité est plus faible que celui qui est obtenu par Hubbard à partir de données américaines. En effet, rappelons que, selon les résultats du chercheur américain, les SGEV auraient permis d'améliorer le taux d'utilisation de la capacité des camions sur lesquels ils sont installés de 13 %. Pour l'ensemble de l'industrie, Hubbard calcule que l'effet positif des SGEV est de l'ordre de 3 %. Une partie de la différence par rapport à nos résultats peut s'expliquer par le fait que le taux de pénétration des SGEV est plus important dans l'échantillon utilisé par Hubbard (près de 25 %, contre moins de 10 % dans nos données). Ce taux plus faible peut aussi signifier que le degré d'expérience des transporteurs canadiens avec ces technologies était plus limité que chez les transporteurs américains (les données de Hubbard datent de 1997), et donc que les avantages retirés étaient plus faibles. Il sera particulièrement intéressant de reproduire notre analyse avec les données de la nouvelle enquête, qui doit débiter prochainement. Il serait aussi certainement utile de vérifier si d'autres facteurs (taille des entreprises, organisation des chaînes de distribution, densité des liens économiques...) peuvent expliquer cette différence. Évidemment, il n'est pas exclu que des différences méthodologiques entre notre étude et celle de Hubbard puissent aussi expliquer cet écart dans les résultats.

4. IMPLICATIONS POUR LES POLITIQUES PUBLIQUES

Les pouvoirs publics doivent-ils mettre sur pied un programme (subvention, crédit d'impôt, etc.) destiné à favoriser l'adoption des SGEV? Pour pouvoir répondre à cette question, il faut d'abord se demander s'il y a une raison économique qui justifie une intervention publique pour influencer une telle décision qui, au départ, est de nature privée. En d'autres termes, le taux d'adoption sans intervention est-il sous-optimal? La réponse à cette question est très certainement positive, puisqu'il est bien documenté que la consommation de carburant entraîne des coûts externes qui ne sont pas inclus dans le prix payé par les transporteurs (voir Zhang *et al.*, 2004). Ainsi, il est fort probable que si les taxes sur les carburants étaient majorées de façon à mieux refléter les coûts externes du transport routier, le taux d'adoption des SGEV augmenterait (du moins si cette technologie améliore l'efficacité énergétique). Si pour diverses raisons, l'augmentation des prix des carburants n'est pas envisageable, alors la mise en place de programmes favorisant l'adoption de SGEV pourrait se justifier³⁶. Évidemment, il faut aussi s'interroger sur l'effet d'un tel programme. Nos résultats et ceux de Hubbard suggèrent que cette technologie aurait une influence sur le taux d'utilisation de la capacité des camions qui en sont munis³⁷. Toutefois, il est fort probable que les transporteurs pour lesquels cette technologie est le plus avantageuse l'ont certainement déjà adoptée. Par conséquent, un programme incitatif n'influencerait que les transporteurs pour lesquels les SGEV sont à la marge de la rentabilité. L'effet d'un tel programme serait donc sans doute assez limité³⁸.

D'un autre côté, il semble bien qu'en 1999 le Canada, et le Québec en particulier, était à la traîne par rapport aux États-Unis pour ce qui est du taux d'adoption de cette technologie. Le tableau 8 compare le taux d'adoption des SGEV de camions similaires (tracteur-remorque de type fourgon avec au moins cinq essieux) circulant sur des axes commerciaux comparables, suivant le lieu d'immatriculation. On peut y voir que le taux d'adoption des camions québécois circulant sur les axes commerciaux reliant le Québec et les États-Unis est de seulement 11 %, comparativement à 43 % pour les camions immatriculés aux États-Unis. Sur les axes Québec–reste du Canada, le taux d'adoption est aussi de 12 % pour les camions québécois, contre 20 % pour

³⁶ Mentionnons que, même si le prix des carburants incluait tous les coûts externes, il se peut que le taux d'adoption des SGEV reste sous-optimal. En effet, la littérature économique sur l'adoption des nouvelles technologies montre que la diffusion peut être trop faible ou trop lente lorsqu'il y a des problèmes d'information, des effets d'apprentissage avec débordements (« spillover ») ou des effets de réseau (les avantages dépendent du nombre d'utilisateurs de la technologie). Voir, par exemple, Stoneman et Diederer (1994).

³⁷ L'importance de l'effet des SGEV doit cependant être nuancée puisque, selon les chiffres de Ressources naturelles Canada, le secteur du transport routier de marchandises a connu depuis 1990 une amélioration de son efficacité énergétique de l'ordre de 40 %!

³⁸ Une analyse avantages/coûts serait certainement nécessaire avant de décider d'investir dans un tel programme.

les camions provenant du ROC³⁹. Une fois encore, il serait intéressant de vérifier si ce retard est toujours observable aujourd'hui.

Tableau 8 : Taux d'adoption des SGEV suivant le lieu d'immatriculation

Axes	Lieu d'immatriculation	% d'adoption d'un SGEV (*)
QUÉBEC-USA	QUÉBEC	11
	USA	43
QUÉBEC-ROC	QUÉBEC	12
	ROC	20

(*) Moyennes pondérées par le facteur d'expansion.

³⁹ Cette observation n'est pas surprenante, puisque le Canada se caractérise par une performance en matière d'innovation qui est nettement en dessous de la moyenne des pays du G-7 (voir Industrie Canada, 2003).

5. CONCLUSION

L'objectif de cette recherche était de développer un modèle économétrique qui permettrait de mieux comprendre les déterminants du taux de chargement des camions (TC)⁴⁰. Les principaux résultats de cette analyse sont les suivants :

- Le TC est fortement influencé positivement par la taille du camion, la distance parcourue pour le déplacement et la nature polyvalente de la remorque.
- La nature des activités (compte propre/compte d'autrui) ou la structure de propriété du camion (propriétaire-exploitant) ont assez peu d'effets sur le TC, toutes choses étant égales par ailleurs.
- La présence d'un SGEV réduit légèrement le TC pour les déplacements de type « aller ». Cet effet négatif se manifeste surtout pour les trajets de courte distance (moins de 400 kilomètres). Par contre, nous observons que le TC s'accroît de 5 à 10 points de pourcentage pour les déplacements « retour » lorsque le camion est équipé d'un SGEV. Cet effet est surtout observable pour les déplacements de longue distance. Ces résultats confirment donc que ces technologies améliorent l'appariement entre l'offre et la demande sur les voyages de retour. L'effet négatif pour les voyages aller pourrait s'expliquer par la présence d'un effet rebond limité. En effet, en augmentant la probabilité de trouver un chargement pour le retour, les SGEV réduisent le coût unitaire de l'expédition à l'aller (les coûts fixes liés au trajet complet étant répartis sur une charge totale plus importante). Cela peut par conséquent amener le transporteur à accepter plus facilement des chargements pour l'aller qui sont soit moins importants, ou encore qui exigent un déplacement initial à vide plus long (pour aller chercher la charge).
- Nos simulations montrent que les SGEV sont responsables d'un accroissement allant jusqu'à 5 % des tonnes-kilomètres transportées pour les camions munis de cette technologie. Pour l'ensemble de l'industrie, cela se traduit par un accroissement du nombre de tonnes-kilomètres transportées de 0,63 % et une amélioration de l'efficacité énergétique de 0,5 %. L'effet relativement marginal sur l'ensemble de l'industrie s'explique principalement par un taux d'adoption des SGEV assez faible en 1999. Par rapport aux États-Unis, nous notons d'ailleurs un retard significatif dans l'adoption de cette technologie.
- Ces résultats et constatations pourraient peut-être justifier la mise en place d'un programme public destiné à encourager l'adoption de cette technologie. Avant de mettre en place un tel programme, il serait

⁴⁰ Le taux de chargement représente le pourcentage de la capacité maximale de chargement du camion (en poids ou en volume) qui est utilisé lors d'un déplacement donné.

cependant important de vérifier, à partir de données plus récentes, les taux d'adoption des SGEV. Il faudrait aussi tenir compte du fait qu'un programme n'aura d'effet qu'à la marge, puisque les transporteurs pour qui les avantages offerts par les SGEV sont importants ont certainement déjà adopté cette technologie. Une analyse avantages/coûts serait donc certainement nécessaire avant d'instaurer un programme de soutien.

À partir de cette recherche, plusieurs pistes peuvent être explorées. Premièrement, comme il a été mentionné précédemment, il serait particulièrement important de refaire l'analyse avec des données plus récentes⁴¹. Deuxièmement, il serait intéressant d'analyser plus en profondeur l'effet rebond, à partir d'un modèle théorique, afin d'essayer de mieux comprendre son importance et ses déterminants. Troisièmement, notre spécification empirique suppose que les variables explicatives influencent un changement dans le TC de 0 % à 25 % de la même manière qu'un changement de 25 % à 50 %. Il serait sans doute plus intéressant d'estimer un modèle en deux étapes : i) expliquer d'abord si le camion est vide ou non et, s'il n'est pas vide, ii) expliquer son taux de chargement. Cette analyse permettrait de mieux comprendre encore comment la présence d'un SGEV affecte le taux de chargement d'un camion.

⁴¹ Signalons à cet égard qu'une nouvelle enquête routière sur le camionnage a débuté en août 2006 et se déroulera jusqu'au printemps 2007.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BAKER, George F. et Thomas N. HUBBARD. « Contractibility and Asset Ownership: On-Board Computers and Governance in U.S. Trucking », *National Bureau of Economic Research*, Cambridge, Massachusetts, avril 2003, 40 p.

BRIDGESTONE/FIRESTONE COMMERCIAL TRUCK TIRES. *Truck Tires.com* [En ligne, 25 février 2006];
[http://www.trucktires.com/us_eng/technical/bftechnical/fuel_economoy_b.asp]

CCATM. *1999 National Roadside Study, Truck Traffic Estimate Software Package* [cédérom], Canada, Conseil canadien des administrateurs en transport motorisé, janvier 2002.

HUBBARD, Thomas N. «The Demand for Monitoring Technologies: The Case of Trucking», *Quarterly Journal of Economics*, 115 (2), mai 2000, p. 533-560.

HUBBARD, Thomas N. «Information, Decision, and Productivity: On-Board Computer and Capacity Utilization in Trucking», *The American Economic Review*, vol. 93, n° 4, septembre 2003, p. 1328-1353.

INDUSTRIE CANADA (2003). *Profile and Key Challenges of the Canadian Economy*, [En ligne].[http://strategis.ic.gc.ca/epic/internet/ineas-aes.nsf/vwapj/srmem200309e.pdf/\\$FILE/srmem200309e.pdf](http://strategis.ic.gc.ca/epic/internet/ineas-aes.nsf/vwapj/srmem200309e.pdf/$FILE/srmem200309e.pdf).

KAMINSKY, Philippe. *Petit lexique du Transport Routier de Marchandises*, version du 22 octobre 2003, [En ligne, 25 février 2006];
[http://2003.fr-lo.org/actualites/actualites/30227_1lexique.doc]

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE DU QUÉBEC (2004). *Gros plan sur l'énergie*, [En ligne, 25 février 2006].
[<http://www.mrn.gouv.qc.ca/energie/energie/energie-portrait-consommation.jsp>]

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC. *Les déplacements interurbains de véhicules lourds au Québec. Enquête sur le camionnage de 1999*, ministère des transports du Québec, avril 2003, 147 p.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC. *Les transports au Québec. Recueil de données statistiques* [En ligne, 25 février 2006].
[<http://www1.mtq.gouv.qc.ca/fr/publications/services/documentation/statistiques/statistiques.pdf>]

SOCIÉTÉ DE L'ASSURANCE AUTOMOBILE DU QUÉBEC. *Registre des propriétaires et exploitants de véhicules lourds de la Commission des transports du Québec au 30 septembre 2002*.

STATISTIQUE CANADA. *Le transport routier dans un marché sans frontière: Profil du secteur du camionnage au Canada de 1988 à 1994*, [En ligne, 25 février 2006];

[http://www.statcan.ca/francais/freepub/61-532-XIF/10-barzyk_f.html] .

STATISTIQUE CANADA. *Profil pour le Canada, les provinces, les territoires, les divisions de recensement et les subdivisions de recensement. Recensement de 2001*, [Tableau en ligne, 20 août 2005].

[<http://www12.statcan.ca/francais/census01/products/standard/profiles/ListProducts.cfm?Temporal=2001&APATH=3&RL=9&FREE=0%20>]

STONEMAN, P. et P. DIEDEREN. « Technology Diffusion and Public Policy », *The Economic Journal*, 104, juillet 1994, p. 918-930.

TRANSPORTS CANADA. *Les transports au Canada. Rapports annuels 2002, 2003 et 2004*, [En ligne, 25 février 2006];

[http://www.tc.gc.ca/pol/fr/rapport/anre2004/toc_f.htm]

TRANSPORTS CANADA. *Le site de T-Facts*, [En ligne, 25 février 2006].

[<http://www.tc.gc.ca/pol/fr/T-Facts3/main.htm>]

US CENSUS BUREAU. *Find an Area Profile with QuickFacts*, [En ligne].

[<http://www.census.gov/>].

US CENSUS BUREAU. *Ranking Tables for Counties: Population in 2000 and Population Change from 1990 to 2000 (PHC-T-4), Counties in Alphabetic Sort Within State, 1990 and 2000 Population, and Numeric and Percent Change: 1990 to 2000*, [En ligne, 25 février 2006];

[<http://www.census.gov/population/www/cen2000/phc-t4.html>]

US CENSUS BUREAU. *Small Area Income & Poverty Estimates, Model-based Estimates for States, Counties & School Districts*, [En ligne].

[<http://www.census.gov/hhes/www/saipe/county.html>].

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. « Asymptotic Properties of Weighted M-Estimators for Variable Probability Samples », *Econometrica*, vol. 67, n° 6, novembre 1999, p. 1385-1406.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2001, 752 p.

ZHANG A., A.E. BOARDMAN, D. GILLEN et W.G. WATTERS II. *Toward Estimating the Social and Environmental Costs of Transportation in Canada*. A Report for Transport Canada, août 2004, 460 p.

ANNEXE A

Définitions des variables et liens avec l'ENR99

VARIABLES	DESCRIPTION SOMMAIRE	CONSTRUCTION
ESSIEUX	Variable indiquant le nombre d'essieux du camion c.	Construite à partir du champ c25axlall de l'ENR99.
TRACTEUR-REMORQUE	Variable binaire = 1 si le camion c a une configuration de type tracteur et une remorque, et égale à 0 sinon.	Construite à partir du champ c01conf de l'ENR99.
TRAIN ROUTIER	Variable binaire = 1 si le camion c a une configuration de type tracteur et 2 ou 3 remorques, et égale à 0 sinon.	Construite à partir du champ c01conf de l'ENR99.
PORTEUR	Variable binaire = 1 si le camion c a une configuration de type camion porteur, et égale à 0 sinon.	Construite à partir du champ c01conf de l'ENR99.
PORTEUR-REMORQUE	Variable binaire = 1 si le camion c a une configuration de type camion porteur et remorque, et égale à 0 sinon.	Construite à partir du champ c01conf de l'ENR99.
FOURGON	Variable binaire = 1 si la remorque tirée par le camion c est de type fourgon ou de type fourgon à côtés relevables, et égale à 0 sinon.	Construite à partir du champ c05body1 de l'ENR99.
PORTE-CONTENEURS	Variable binaire = 1 si la remorque tirée par le camion c est de type porte-conteneurs, et égale à 0 sinon.	Construite à partir du champ c05body1 de l'ENR99.
FOURGON RÉFRIGÉRÉ	Variable binaire = 1 si la remorque tirée par le camion c est de type fourgon réfrigéré, et égale à 0 sinon.	Construite à partir du champ c05body1 de l'ENR99.
PLATEAU	Variable binaire = 1 si la remorque tirée par le camion c est de type plateau droit ou de type tracteur de masse lourde, et égale à 0 sinon.	Construite à partir du champ c05body1 de l'ENR99.
RIDELLES	Variable binaire = 1 si la remorque tirée par le camion c est de type plateau-ridelles, et égale à 0 sinon.	Construite à partir du champ c05body1 de l'ENR99.
TRÉMIE	Variable binaire = 1 si la remorque tirée par le camion c est de type carrosserie à trémie ou de type remorque à copeaux, et égale à 0 sinon.	Construite à partir du champ c05body1 de l'ENR99.

VARIABLES	DESCRIPTION SOMMAIRE	CONSTRUCTION
BASCULANTE	Variable binaire = 1 si la remorque tirée par le camion c est de type benne basculante, et égale à 0 sinon.	Construite à partir du champ c05body1 de l'ERN99.
CITERNE	Variable binaire = 1 si la remorque tirée par le camion c est de type citerne, et égale à 0 sinon.	Construite à partir du champ c05body1 de l'ERN99.
SPÉCIALISÉE	Variable binaire = 1 si la remorque tirée par le camion c est de type porte-véhicules, de type transporteur d'animaux ou de type porte-bateaux, et égale à 0 sinon.	Construite à partir du champ c05body1 de l'ERN99.
SGEV	Variable binaire = 1 si le camion c est muni simultanément d'un ordinateur de bord et d'un système de communication par satellite, et égale à 0 sinon.	Construite à partir des champ e13comput et e15satell de l'ERN99.
TACHYGRAPHE	Variable binaire = 1 si le camion c est muni d'un tachygraphe, et égale à 0 sinon.	Construite à partir du champ e11tachog de l'ERN99.
PROP.-EXP.	Variable binaire = 1 si le camion c appartient à un propriétaire-exploitant, et égale à 0 sinon.	Construite à partir du champ i02owner de l'ERN99.
COMPTE PROPRE	Variable binaire = 1 si le camion c se rapporte à un transporteur pour compte propre, et égale à 0 sinon.	Construite à partir du champ g01ctype de l'ERN99.
RETOUR	Variable binaire = 1 si le déplacement du camion c est un voyage de retour, et égale à 0 sinon.	Construite à partir des champs (selon les étapes de création) : i) e01tbpla, h04topla et h06tdpla; ii) e01tbreg1, h04toreg1 et h06tdreg1 et iii) h04tolon, h06tdlon, e01tblon, h04tolat, h06tdlat et e01tblat.
DISTANCE	Longueur du déplacement réalisé par le camion c.	Construite à partir du champ totalkm de la base de données du MTQ.
AXE _{i,j}	Variables binaires prenant la valeur unitaire si le camion c se déplace sur l'axe commercial i-j.	Dépendamment du nombre de points d'origine et de destination considérés, les champs h04toreg1 à h04toreg4 et h06tdreg1 à h06tdreg4 de l'ERN99 ont pu être utilisés pour construire les variables binaires.

VARIABLES	DESCRIPTION SOMMAIRE	CONSTRUCTION
POPULATION	Variable égale à la population au point d'origine du déplacement du camion c multipliée par la population au point de destination du déplacement du camion c , le tout divisé par la longueur du déplacement au carré.	Construite à partir de statistiques publiées par Statistique Canada et le US Census Bureau. Voir références.
REVENU	Variable égale au revenu médian par ménage au point d'origine du déplacement du camion c plus le revenu médian par ménage au point de destination, le tout divisé par deux.	Construite à partir de statistiques publiées par Statistique Canada et le US Census Bureau. Voir références.
EXPANSION	Facteur d'expansion. Correspond à l'inverse du taux d'échantillonnage.	Construite à partir du champ $z03_nw_rk$ de l'ERN99.
TCE	Variable égale au taux de remplissage du camion tel qu'indiqué par le camionneur intercepté lors de l'ERN99.	Construite à partir des champs $f01cargob$ et $f02capuse$ de l'ERN99.
TCP	Variable égale au taux de remplissage calculé en poids.	Construite à partir des champs $f08amoacb$, $j02_tw_typ$ et $j02_tw_max$ de l'ERN99.

ANNEXE B

Classification ALLER/RETOUR des déplacements

Pour classer chaque observation comme un déplacement de type ALLER ou RETOUR, nous utilisons une procédure en trois étapes successives. Ces étapes utilisent l'information sur l'origine du déplacement (O), sur sa destination (D) et sur le port d'attache du camion (P).

Étape 1 : si O se confond avec P, l'observation est associée à un voyage d'ALLER. Par contre si D est similaire à P, l'observation est classée comme un RETOUR.

Comme il y a de nombreuses observations pour lesquelles P est différent de O et de D, il est nécessaire de procéder à l'étape 2.

Étape 2 : si O et P sont dans la même province mais pas D, le voyage est classé ALLER. Pour un RETOUR, D et P doivent être dans la même province mais pas O.

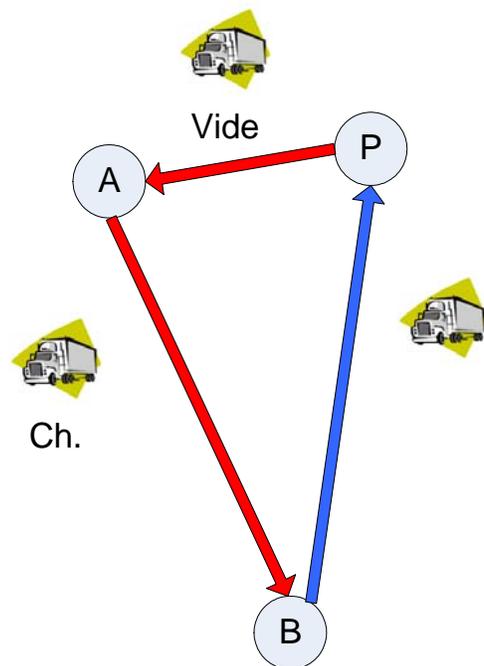
Une fois de plus, cette procédure ne permet pas de classer toutes les observations, d'où la nécessité de l'étape 3.

Étape 3 : si la distance entre O et P est plus petite (grande) qu'entre D et P, le voyage est assimilé à un ALLER (RETOUR).

Afin d'illustrer notre procédure en trois étapes et pour mettre en évidence une des difficultés engendrées par la définition de la notion de déplacement dans l'ENR99, considérons un camion dont le port d'attache est P et qui va chercher une charge en A pour la transporter en B. À son retour, on suppose qu'il revient directement à la base (avec ou sans un chargement).

Si le camion est intercepté entre P et A, l'ENR99 rapporte $O=P$ et $D=A$. Nous classerons ce déplacement PA comme un voyage d'aller (étape 1). Si le camion est intercepté entre A et B alors $O=A$ et $D=B$, nous classerons aussi ce déplacement dans la catégorie aller (étape 2 ou 3). Enfin, s'il est intercepté entre B et P, $O=B$ et $P=D$ et le voyage est classé retour (étape 1).

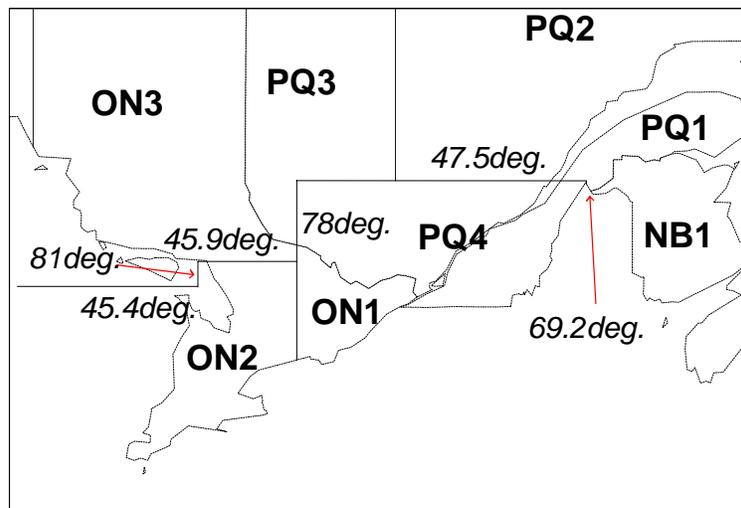
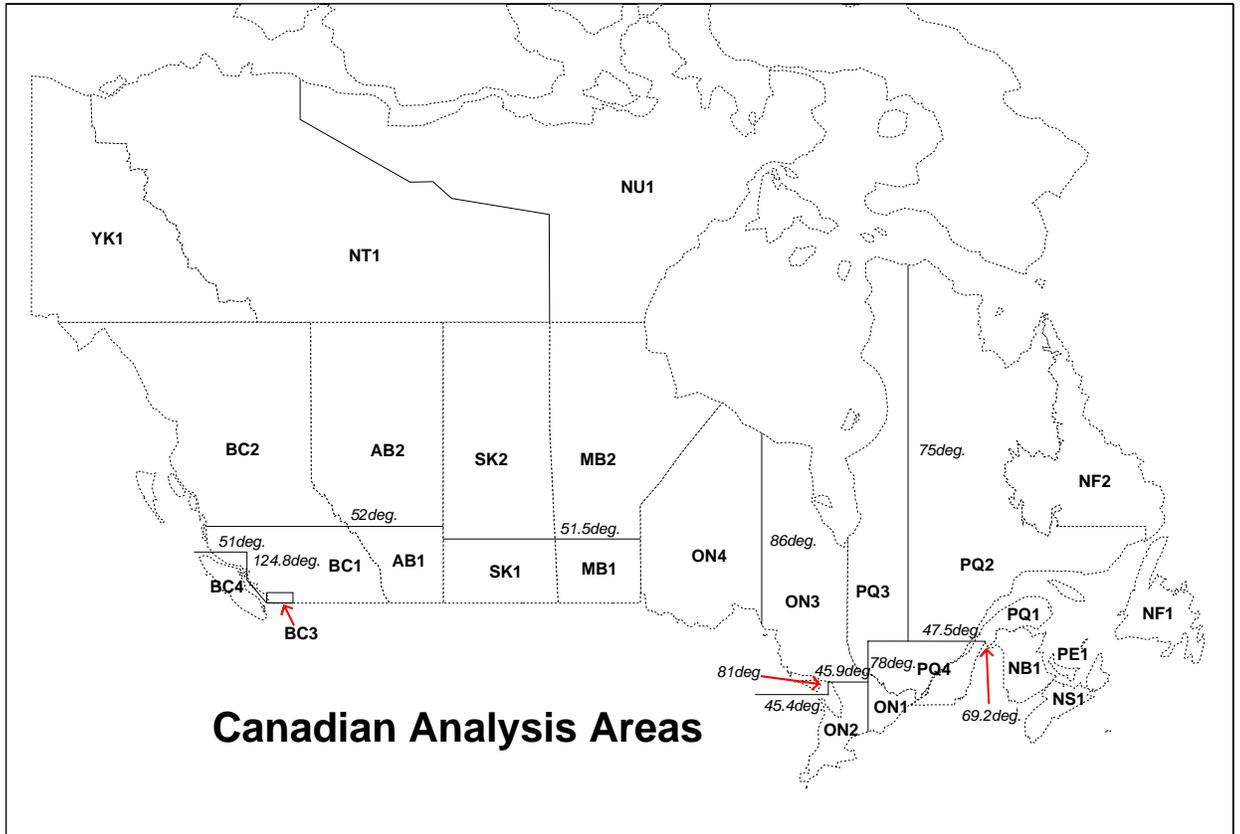
Cet exemple met donc en lumière une des limitations de la notion de déplacement utilisée dans l'ENR99. En effet, si le camion est intercepté entre P et A, l'ENR99 n'inclut d'informations que sur PA, alors que conceptuellement le déplacement comprend

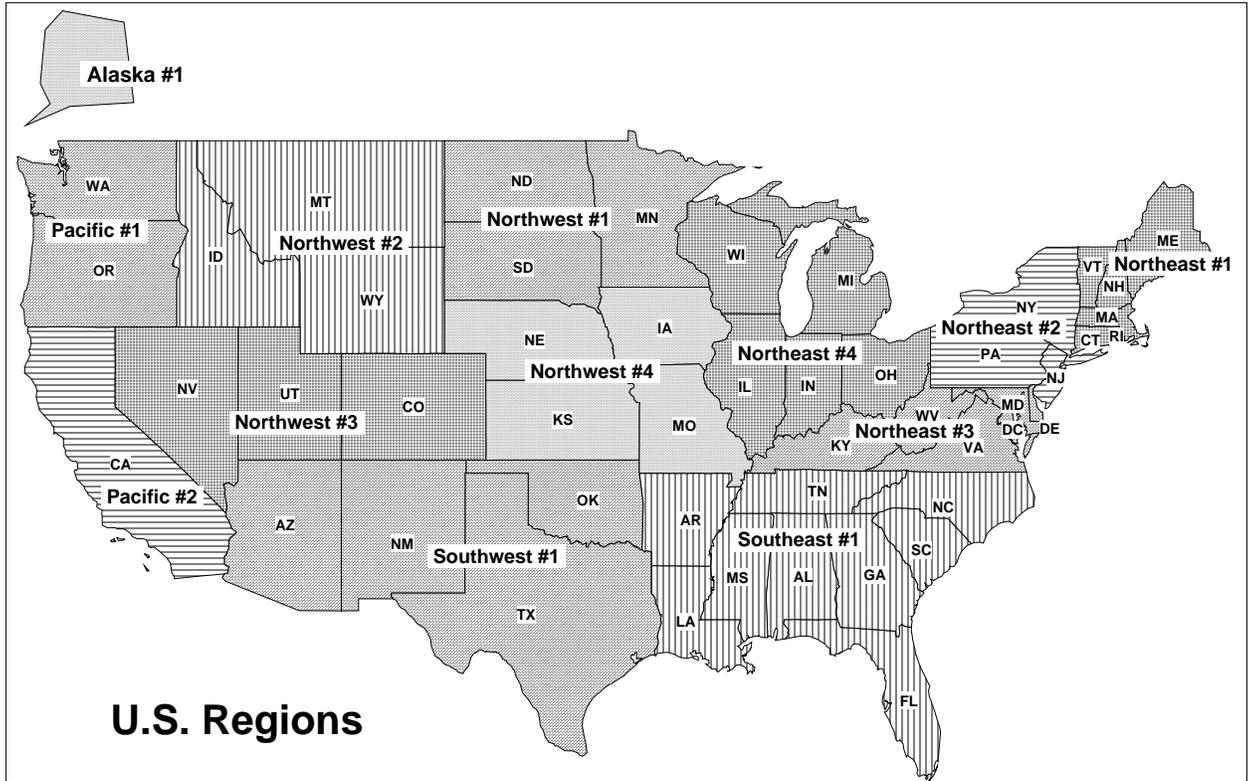


deux segments PA et AB. Ainsi, nous ne sommes pas à même de distinguer parmi les voyages de courte distance ceux qui le sont effectivement de ceux qui s'inscrivent dans la catégorie des voyages longs mais qui comprennent plusieurs segments. En d'autres termes, parmi les déplacements de courte distance répertoriés par l'ENR99, il y en a une portion qui sont en fait de « fausses » courtes distances.

ANNEXE C

Découpages géographiques

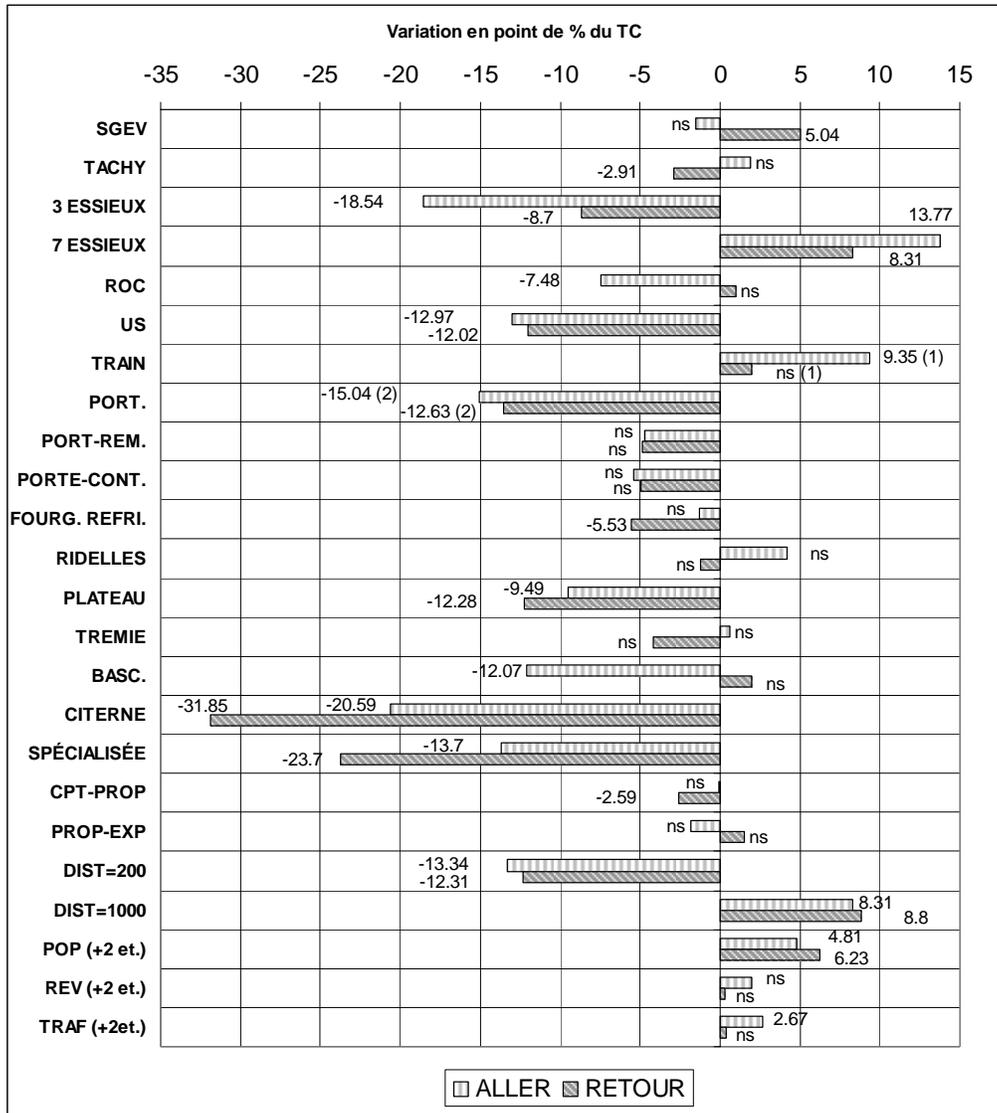




Source : CCATM (2002)

ANNEXE D

Analyse des variations du taux de chargement, sans pondération

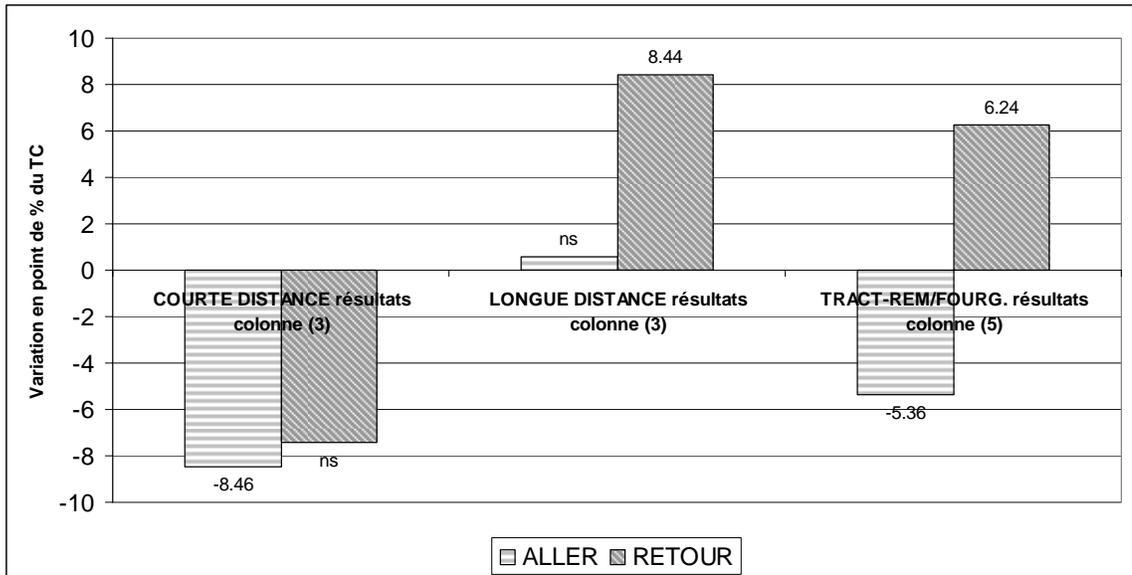


ns : non significatif

(1) Le nombre d'essieux est ajusté de 5 à 8.

(2) Le nombre d'essieux est ajusté de 5 à 2.

Figure D1 : Effet des facteurs explicatifs sur le TC à partir des résultats des colonnes 1 (tableaux 5 et 6).



ns : non significatif

Figure D2 : Effet des SGEV sur le TC à partir des résultats des colonnes 3 et 5 (tableaux 5 et 6).

