

Centre de données et
d'analyse sur les transports



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

Philippe Barla
CDAT, Département d'économie
Université Laval

Denis Bolduc
CDAT, Département d'économie
Université Laval

Nathalie Boucher
CDAT, Département d'économie
Université Laval

Jonathan Watters
CDAT, Département d'économie
Université Laval

Mars 2006

REMERCIEMENTS

La présente étude a été réalisée pour le compte du ministère des Transports du Québec, à travers son programme de soutien financier à la recherche universitaire. Les travaux de l'équipe de chercheurs ont également bénéficié d'un soutien financier de Ressources Naturelles Canada. Enfin, 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.

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.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	1
INTRODUCTION.....	2
1. PROBLÉMATIQUE	3
1.1 Le secteur du camionnage.....	3
1.2 Gestion de la capacité et taux de chargement.....	4
1.3 Les déterminants du taux de chargement.....	6
1.4 Survol de la littérature	8
2. MÉTHODOLOGIE	9
2.1 Les données.....	9
2.2 La spécification empirique.....	11
2.2.1 La mesure du taux de chargement	12
2.2.2 Les variables explicatives	12
2.2.3 Les méthodes économétriques	15
3. LES RÉSULTATS	17
4. IMPLICATIONS POUR LES POLITIQUES PUBLIQUES.....	29
5. CONCLUSION	30
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	32
ANNEXE A	35
ANNEXE B	39
ANNEXE C	42
ANNEXE E	45

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Composition de la flotte et nombre de transporteurs par type d'opération au Québec (2002)	4
Tableau 2 :	Description sommaire des variables explicatives.....	13
Tableau 3 :	Moyenne (écart-type) des variables.....	17
Tableau 4 :	Taux de remplissage moyen et taux de pénétration des SGEV en fonction de quelques variables clefs	19
Tableau 5 :	Coefficients (écarts-types) pour l'échantillon ALLER	20
Tableau 6 :	Coefficients (écarts-types) pour l'échantillon RETOUR	22
Tableau 7 :	Impact des SGEV sur les TKMT et sur l'efficacité énergétique.....	28
Tableau 8 :	Taux d'adoption des SGEV suivant le port d'attache	30

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Impact des facteurs explicatifs sur le TC à partir des résultats de la colonne 2 (tableaux 5 et 6).....	25
Figure 2 :	Impact des SGEV sur le TC à partir des résultats des colonnes 4 et 6 (tableaux 5 et 6)	26
Figure 1E:	Impact des facteurs explicatifs sur le TC à partir des résultats de la colonne 1 (tableaux 5 et 6).....	46
Figure 2E :	Impact des SGEV sur le TC à partir des résultats des colonnes 3 et 5 (tableaux 5 et 6)	47

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 visons à évaluer l'impact associé à 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) d'un camion sur un déplacement donné est expliqué en fonction de différentes variables explicatives. L'analyse est effectuée sur des données recueillies lors de l'*Enquête routière nationale* sur le camionnage de 1999. Nous utilisons plus spécifiquement les observations correspondantes à des 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 du déplacement et la nature polyvalente de la remorque.
- Les camions dont le port d'attache n'est pas au Québec ont des TC significativement inférieurs aux camions québécois. Les camions provenant des États-Unis par exemple ont des TC inférieurs jusqu'à 27 points de pourcentage par rapport aux camions québécois (en supposant que les autres caractéristiques comme la distance ou la taille du camion sont similaires).
- La nature des opérations (compte propre/compte d'autrui) ou la structure de propriété du camion (propriétaire-exploitant) ont assez peu d'impacts sur le TC toutes autres choses étant constantes par ailleurs.
- La présence d'un SGEV réduit légèrement le TC sur des déplacements de type « aller ». Cet effet négatif se manifeste surtout sur des trajets de courte distance (moins de 400 kilomètres). Par contre, nous obtenons que le TC s'accroît de 5 à 10 points de pourcentage sur des déplacements « retour » lorsque le camion est équipé d'un SGEV. Cet effet est surtout présent sur des 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 sur les voyages d'aller pourrait s'expliquer par la présence d'un effet rebond limité. En effet, en augmentant la probabilité de trouver un chargement sur le retour, les SGEV réduisent le coût unitaire d'une expédition sur l'aller (les coûts fixes liés au trajet complet sont répartis sur une charge totale plus importante). Ceci peut dès lors favoriser l'acceptation par le transporteur de chargements sur l'aller qui sont soit moins remplis 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 par les camions munis de cette technologie. Pour l'ensemble de l'industrie, cela se traduit dans un accroissement des tonnes-kilomètres transportées de 0.63% et une amélioration de l'efficacité énergétique de 0.5%. L'impact relativement marginal sur l'ensemble de l'industrie s'explique principalement par un taux d'adoption des SGEV assez faible en 1999. Relativement aux États-Unis, nous notons d'ailleurs un retard significatif dans l'adoption de cette technologie au Canada.
- Ces résultats et constatations pourraient éventuellement justifier la mise en place d'un programme gouvernemental favorisant l'adoption de cette technologie. Avant de mettre en place un tel programme, il serait cependant important de vérifier sur des données plus récentes les taux d'adoption des SGEV. Il serait aussi important de tenir compte qu'un programme n'aura

d'impact qu'à la marge puisque les transporteurs pour qui les bénéfices des SGEV sont importants ont certainement déjà adopté cette technologie. Une analyse coût-bénéfice serait donc certainement nécessaire avant d'instaurer un tel programme.

INTRODUCTION

Depuis sa déréglementation dans les années quatre-vingt, 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 combinés.¹ 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 impacts importants sur le plan énergétique et 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'amélioration du taux de chargement des camions peut être une avenue intéressante pour atteindre ces deux objectifs. En effet, sur base de données provenant de l'Enquête routière nationale de 1999, environ 30% des déplacements de camions sur le réseau routier canadien s'effectuent à vide et plus de 50% des camions qui transportent une charge ne sont pas remplis à 100%.² 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 visons à évaluer l'impact associé à l'adoption de certains systèmes de transport intelligents (STI), particulièrement les systèmes de gestion électronique des véhicules (SGEV).

Ce rapport s'organise 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 de la littérature pertinente 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 termes de politiques publiques à la section 4. Nous concluons à la section 5.

¹ Selon des données du MTQ, le camionnage a contribué pour 1.53% du PIB québécois en 1998 (Ministère des Transports du Québec. *Les Transport au Québec, Recueil de données statistiques*).

² Conseil canadien des administrateurs en transport motorisé (CCATM, 2002).

1. PROBLEMATIQUE

1.1 Le 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 agissaient à titre de barrières limitant l'entrée de nouvelles entreprises.³ 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 1990.⁴ Par ailleurs, les tarifs offerts par l'industrie sont devenus plus compétitifs et connaissent une croissance stable depuis 1996.⁵ L'industrie canadienne du camionnage est aujourd'hui une industrie où la concurrence est relativement intense, ce qui pousse les transporteurs à opérer d'une manière efficace.

Il est cependant important de préciser que ce secteur est loin d'être homogène et il est, en fait, composé de plusieurs sous-segments. En effet, la demande de transport est diversifiée et requiert des services de transport 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 plus 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 Transport Canada, on distingue.⁶

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

Les transporteurs pour compte propre (ou privé): Ces entreprises possèdent des camions qui servent à transporter leurs propres marchandises (par exemple *Canadian Tire* ou *Molson* possèdent les camions qui transportent leurs produits). Notons cependant que ces entreprises peuvent, dans certaines circonstances, transporter les marchandises d'autrui moyennant rétribution. Toutefois, le transport n'est pas leur principale activité productive, mais plutôt un maillon de leur processus de production

³ Statistique Canada. *Le transport routier dans un marché sans frontière: Profil du secteur du camionnage au Canada de 1988 à 1994*.

⁴ 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.

⁵ Transport Canada. *Les transports au Canada, Rapport Annuel 2003*.

⁶ Transport Canada. *Les transports au Canada, Rapport Annuel 2003*.

et/ou de distribution. Les statistiques disponibles suggèrent que « les services de camionnage privés dominent le transport urbain et local, mais leur part de marché diminue rapidement à mesure que les distances augmentent ».⁷

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 transporteur ».⁸ 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 simultanément.⁹ 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 d'une manière similaire aux 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 livraison ».¹⁰ Des entreprises comme *Purolator* ou encore *Fedex* offrent des services de messagerie. Bien que ces entreprises requièrent parfois l'utilisation de camions de poids moyen ou lourd, la majorité de leurs déplacements sont de nature locale et se font à l'aide de véhicules légers, voire même de bicyclettes.

Selon Transport Canada, la valeur de la production associée au transport pour compte propre et pour compte d'autrui est plus ou moins similaire et évaluée à environ 20 milliards \$.¹¹ Le tableau 1 ci-dessous présente quelques statistiques valables pour le Québec.

Tableau 1 : Composition de la flotte et nombre de transporteurs par type d'opération au Québec (2002)

Type d'opération	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 la structure de son parc de véhicules. Chaque camion offre une capacité de chargement qui est contrainte

⁷ Transport Canada. *Les transports au Canada, Rapport Annuel 2003.*

⁸ Transport Canada. *Les transports au Canada, Rapport Annuel 2003.*

⁹ CCATM (2002).

¹⁰ Kaminsky (2003).

¹¹ Transport Canada. *Les transports au Canada, Rapport Annuel 2003.*

soit par le volume, soit par le poids ou encore par le type de remorque dont il est muni.¹² 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 mouvement.

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

Si on se limite à la contrainte de poids, le taux de chargement (TC) peut se définir 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 d'un transporteur et de son efficacité sur le plan énergétique et 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 sont soit fixes (par exemple le salaire versé aux conducteurs), soit augmentent moins que proportionnellement avec 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'une cargaison 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 que le niveau de production est 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 vide.¹³

Pour comprendre les difficultés auxquelles font face les transporteurs dans la gestion de leur capacité, il est important de souligner que, dans ce secteur, l'offre et la demande sont différenciées dans le temps, l'espace et la nature des équipements de transport

¹² 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 retour. On imagine mal en effet un camion citerne rempli de carburant à l'aller revenir avec du lait.

¹³ Bridgestone/Firestone Commercial Truck Tires. *Truck Tires.com*.

requis. Un transporteur doit disposer d'un camion de taille et de remorque adéquates à l'endroit et au moment requis pour répondre à la demande d'un expéditeur. Les acteurs dans ce marché font donc face à un problème d'appariement complexe qui engendre nécessairement un certain degré de sous-utilisation de la capacité qui se manifeste 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 est nécessaire de 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 expéditions complémentaires. On parle dans ce cas de *grouper* des expéditions. Ce travail de recherche de chargements complémentaires est généralement réalisé par les *courtiers de charge* (« brokers ») ou par les *répartiteurs* qui travaillent au sein des compagnies de transport pour compte d'autrui.¹⁴

Comme le souligne Baker & Hubbard (2003), le rôle des répartiteurs au sein d'une compagnie de transport est essentiel. Ceux-ci vont solliciter des expéditeurs afin d'identifier des demandes de transport complémentaires. Ils sont également en charge de la coordination quotidienne du parc et des conducteurs pour le transport des diverses expéditions. 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 Les déterminants du taux de chargement

Comme mentionné précédemment, le TC va dépendre de l'habilité d'un transporteur à : i) grouper différentes expéditions 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 compagnie de transport pour compte propre que pour un transporteur pour compte d'autrui. En effet, les compagnies pour qui le transport est l'activité principale ont probablement plus d'incitation à optimiser la gestion de leur capacité. Les compagnies 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

¹⁴ 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.

administratives et juridiques qui limitent leurs opportunités de servir des demandes externes (par exemple des restrictions imposées par les assurances ou les permis de transport). La taille d'un transporteur pourrait aussi affecter le TC puisqu'un transporteur important a certainement plus d'opportunités pour 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 notamment déterminée par l'importance de la population et du revenu disponible des régions concernées. La distance entre l'origine et la destination est également un élément déterminant dans la mesure où elle affecte positivement le coût d'opportunité (ou de renonciation) de la capacité. 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.

Au niveau des 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 à 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 fréquents.¹⁵ L'avènement des téléphones cellulaires a permis au répartiteur d'initier la communication avec ses conducteurs sur la route. Par contre, cette technologie, n'admettant qu'un échange verbal de coordonnées, n'a pas permis d'éliminer complètement l'imprécision liée à la localisation des camions en temps réel.

Depuis la fin des années 1980, certaines technologies logistiques de pointe ont fait leur apparition dans l'industrie. Parmi celles-ci, on retrouve notamment les systèmes de gestion électronique des véhicules (SGEV). Ces dispositifs offrent deux fonctionnalités particulièrement intéressantes : i) permettre au répartiteur d'initier une communication en temps réel avec ses conducteurs via un écran d'ordinateur installé à bord du camion et ii) transmettre en temps réel la localisation précise de chacun des camions du parc à partir d'un système de positionnement par satellite. À l'aide d'un SGEV, le répartiteur est donc susceptible de coordonner les activités de son parc de véhicules plus efficacement.

Cette technologie semble être particulièrement utile pour réduire les voyages de retour à vide.¹⁶ Sur les voyages d'aller, il n'est pas évident que la présence de SGEV permet d'accroître le TC. En fait, il est même possible que l'on observe l'effet opposé. En effet, en augmentant la probabilité de trouver un chargement sur le retour, les SGEV réduisent le coût unitaire d'une expédition sur l'aller : les coûts fixes liés au trajet complet (aller et retour) sont répartis sur une charge totale plus importante. Ceci peut dès lors favoriser l'acceptation par le transporteur de chargements sur l'aller qui sont soit moins importants ou encore qui exigent un déplacement initial à vide (pour l'aller

¹⁵ Hubbard (2000), page 538.

¹⁶ 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. Ceci peut être attribuable à l'ordre de déchargement des marchandises ou encore au délai de livraison à respecter.

chercher la charge) plus important. On peut donc observer que la présence de SGEV sur des déplacements de type aller réduit le TC par un effet de type « rebond ».¹⁷

1.4 Survol de la littérature

La littérature économique relative aux déterminants de la charge des camions en usage commercial est plutôt limitée. En fait, nous n'avons pas pu identifier d'étude empirique relative à 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 offrent 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 bénéfices engendrés par l'adoption de deux types de technologies rencontrés 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'attache.¹⁸ 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 d'information existant entre 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 comment certaines caractéristiques relatives aux déplacements, aux camions et aux transporteurs affectent la probabilité d'installer un tachygraphe et un SGEV. Ses principales conclusions indiquent que la probabilité d'adoption de SGEV et donc les bénéfices nets qu'engendrent ces systèmes sont supérieurs lorsque :

- les déplacements se font sur de longues distances;
- le transport de marchandises 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, le bénéfice net d'utiliser un camion muni d'un tachygraphe est plus important lorsque :

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

Dans une étude subséquente, Hubbard (2003) évalue empiriquement l'impact qu'a eu l'adoption des tachygraphes et des SGEV sur la productivité de l'industrie américaine

¹⁷ Les effets rebond sont traditionnels 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'usage du véhicule, stimuler l'usage et donc contrecarrer en partie les gains d'efficacité énergétique.

¹⁸ Par exemple les RPM, la vitesse, le nombre de démarrages et d'arrêts du moteur, les temps d'arrêt du véhicule, etc.

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 l'importance des tonnes-miles effectuées. L'une des difficultés avec cette mesure d'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 cerner si les camions munis de SGEV ont un TC plus élevé ou sont utilisés de manière plus intensive. Une autre limite de cette analyse est que les informations sont récoltées *ex post* auprès des transporteurs sondés, ce qui peut engendrer certains biais.¹⁹ Les principaux résultats de cette étude peuvent se résumer 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 opérations;
- 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 US\$ pour une industrie dont les recettes totales sont évaluées à 500 milliards de dollars;²⁰
- L'adoption des tachygraphes ne semble pas avoir d'impact significatif sur l'utilisation de la capacité;
- Les gains liés à l'adoption des SGEV sont très hétérogènes : environ 73% des bénéficiaires relatifs à une meilleure coordination profitent à 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.

2. METHODOLOGIE

2.1 Les données

Pour réaliser notre analyse empirique, nous utilisons les données recueillies lors de l'*Enquête routière nationale de 1999* (ERN99) sous la coordination du CCATM.²¹ Cette enquête a été réalisée dans le but d'obtenir un portrait de l'activité de transport par camion lourd au Canada.²² 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 d'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 compléter les deux volets du questionnaire.

¹⁹ Réalisée en fin d'année, l'enquête demande à chaque entreprise de rapporter l'activité des camions qu'elle possède. Les données souffrent donc de biais d'agrégation et sont aussi empreintes d'une certaine imprécision puisqu'elles se basent sur des données comptables plutôt que sur des données directement récoltées lors de chaque déplacement.

²⁰ 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.

²¹ Pour certaines variables, nous utilisons également des informations provenant de Statistique Canada. Les sources précises sont décrites lors de la présentation des variables dans la section 2.2.2 et l'annexe A.

²² C'est-à-dire des camions dont la masse nette en charge est d'au moins 3000 kg.

Plus spécifiquement, nous avons eu accès, via le Ministère des Transports du Québec, aux observations se rapportant aux déplacements de camions lourds qui ont été interceptés à l'un des 51 sites d'enquête situés sur le territoire québécois et à ceux qui ont été interceptés dans le reste du Canada mais qui ont effectué une partie de leur déplacement au Québec. Seuls les déplacements de longue distance ont été retenus.²³ L'un des avantages importants de ce sous-échantillon est qu'il a été soumis à un processus important de validation et de corrections.²⁴

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 se rapporte. Malheureusement, les données recueillies au Québec ne comprenaient pas l'identification précise du transporteur qui possède le camion intercepté. Ceci nous empêche donc de contrôler pour certaines caractéristiques importantes comme par exemple la taille du transporteur. Il s'agit évidemment d'une limitation dont il faut tenir compte lors de l'interprétation des résultats. Outre les données récoltées 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, tracteur routier avec une remorque ou un train routier) et le moment de leur 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 ». ²⁵

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, une expédition entre Montréal et Vancouver ne va pas être identifiée comme tel si le chauffeur (ou l'équipe) est 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);

²³ Un déplacement est considéré de longue distance si sa distance est supérieure ou égale à 80 km ou s'il implique au moins deux régions différentes. 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.

²⁴ Voir Ministère des Transports du Québec. *Les déplacements interurbains de véhicules lourds au Québec, Enquête sur le camionnage de 1999*, annexe 4.

²⁵ Voir Ministère des Transports du Québec. *Les déplacements interurbains de véhicules lourds au Québec, Enquête sur le camionnage de 1999*, page 13 et annexe 5.

- 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 considérerons donc que les camions effectuant des déplacements de type direct ;
- pour des déplacements qui s'inscrivent dans un « axe commercial » pour lequel nous disposons de moins de trente observations.²⁶

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 consiste à 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 considérant que les autres facteurs sont maintenus constants. Cela réduit donc le risque d'attribuer à une variable un effet qui résulte véritablement d'un changement concomitant dans 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 sensées, à priori, affecter l'habilité ou le niveau d'effort 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, sur un voyage d'aller, le transporteur doit éventuellement trouver des charges complémentaires pour compléter l'expédition qui justifie initialement le déplacement. Par contre, sur un voyage de retour, le défi principal est de trouver une charge pour éviter un retour à vide. L'impact des différentes variables explicatives est donc fort probablement différent suivant la nature aller ou retour du déplacement. L'ERN99 n'inclut cependant pas de question à cet égard. Par

²⁶ 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.

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 soient de type ALLER ou RETOUR. L'analyse économétrique se fait donc séparément sur les sous-échantillons des observations ALLER (6 877 observations) et RETOUR (7 145 observations).²⁷

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 possibles: 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 un approximatif et un peu subjectif.

Pour valider notre analyse, nous avons également construit une mesure du TC basé sur le poids (variable *TCP*). Plus précisément, la variable *TCP* est définie suivant la formule [1] présentée à la section 1.2 et 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 par le volume. Deuxièmement, le poids maximum de chargement du camion est évalué en faisant la différence entre le poids brut du camion en charge maximale et son poids à vide. Or ces deux mesures sont approximées puisqu'elles ne sont pas directement observées. Le poids brut du camion en charge maximale est construit 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 imputé sur base 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 *TCE* et *TCP* est assez élevé à 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 mentionné précédemment, nous sommes particulièrement intéressés à tester l'impact 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 sur les voyages de RETOUR. Sur les voyages d'ALLER, l'impact pourrait être différent comme expliqué précédemment. Nous testons aussi l'effet de la présence d'un tachygraphe

²⁷ Les tests que nous avons effectués lors du développement de la spécification du modèle nous ont confirmé la nécessité d'estimer le modèle séparément sur ces deux sous-échantillons.

même si, a priori, ces systèmes ne devraient pas affecter 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'attache</i>	
QUEBEC	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-REM	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-REM	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-CONT	Variable binaire=1 si remorque de type porte-conteneur.
FOURGON-REFRI	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).
TREMIE	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>	
CPT-AUTRUI	Variable binaire=1 si transporteur pour compte d'autrui.
CPT-PROPRE	Variable binaire=1 si transporteur pour compte propre.
PROP-EXP	Variable binaire=1 si le camion appartient à un propriétaire-exploitant.
<i>II. Caractéristiques du déplacement</i>	
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.
<i>II. Caractéristiques non observées de l'axe commercial</i>	
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 testons 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 les camions qui réalisent en tout ou en partie un déplacement au Québec, les transporteurs québécois ont certainement un avantage en termes de connaissance des conditions du marché et des opérations.

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 de retour sont certainement plus faibles (voire nulles) pour des camions munis de remorques spécialisées. Nous contrôlons pour ces dimensions en introduisant une série de variables dichotomiques (voir tableau 2) qui ont été construites en fonction des informations disponibles 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 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 ont plus d'incitation 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 sont typiquement de petite taille (en moyenne 7 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 compagnies, 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 pas.²⁸ L'effet net de la variable PROP-EXP est donc incertain.

Au niveau du 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 capturer l'importance des liens économiques entre la zone d'origine et 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 la destination. Pour le Canada, les données sont celles disponibles au niveau des divisions de recensement.²⁹ Pour les États américains compris dans la région du Nord-est tel que défini par l'ERN99 (voir carte à l'annexe A), nous utilisons les données par comté (« county ») et pour le reste des États-Unis, les données au niveau des États.³⁰ Nous contrôlons également l'importance du trafic observé 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).

²⁸ Hubbard et Baker (2003).

²⁹ Statistique Canada. *Profil pour le Canada, les provinces, les territoires, les divisions de recensement et les subdivisions de recensement, recensement de 2001*.

³⁰ Les données proviennent des trois sources du US Census Bureau présentées dans la bibliographie.

Enfin, il est bien certain que plusieurs autres caractéristiques non observables du déplacement peuvent affecter le TC (importance et nature des industries localisées le long du déplacement, liens historiques, état des infrastructures routières, etc.). Ignorer ces facteurs peut biaiser nos résultats si ceux-ci sont corrélés avec les variables explicatives incluses dans notre modèle. En effet, on va peut être conclure qu'une variable a un effet alors qu'elle capture simplement l'effet de facteurs manquants. Pour réduire ce problème, nous incluons dans notre spécification des variables binaires pour chaque axe commercial représenté dans notre échantillon. Idéalement, on voudrait définir l'axe commercial le plus finement possible. Toutefois, pour pouvoir estimer le modèle, il est nécessaire qu'il y ait suffisamment d'observations par axe.³¹ Nous définissons un axe comme un lien entre une zone d'origine et 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 canadien (Colombie Britannique, Alberta, Saskatchewan, Manitoba et Territoires du Nord-Ouest) et l'est canadien (toutes les provinces à l'est du Québec) ;
- Les États-Unis sont divisés en deux zones: la région du Nord-est et le reste des États-Unis.

Évidemment, cette division est assez grossière. Toutefois, nous avons également testé des spécifications avec des variables AXES définies à un niveau plus fin. Les principaux résultats ne semblent pas sensibles à ces modifications.

2.2.3 Les méthodes économétriques

Cette section présente succinctement la méthode d'estimation du modèle. Elle est plus technique et peut être, sans difficulté, ignorée par un lecteur qui n'a aucune familiarité avec les techniques économétriques. 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 finie.³²

³¹ 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 trente camions. Les résultats sont assez similaires si on applique un critère de cinquante observations.

³² 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 $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < \alpha_4$ 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 :

$$\begin{aligned}
 P(\text{TCE} = 0 | x) &= P(y^* < \alpha_1 | x) = P(e < \alpha_1 - x\beta | x) = \Lambda(\alpha_1 - x\beta) \\
 P(\text{TCE} = 25\% | x) &= P(\alpha_1 \leq y^* \leq \alpha_2 | x) = P(\alpha_1 - x\beta \leq e \leq \alpha_2 - x\beta | x) = \Lambda(\alpha_2 - x\beta) - \Lambda(\alpha_1 - x\beta) \\
 P(\text{TCE} = 50\% | x) &= P(\alpha_2 \leq y^* \leq \alpha_3 | x) = P(\alpha_2 - x\beta \leq e \leq \alpha_3 - x\beta | x) = \Lambda(\alpha_3 - x\beta) - \Lambda(\alpha_2 - x\beta) \\
 P(\text{TCE} = 75\% | x) &= P(\alpha_3 \leq y^* \leq \alpha_4 | x) = P(\alpha_3 - x\beta \leq e \leq \alpha_4 - x\beta | x) = \Lambda(\alpha_4 - x\beta) - \Lambda(\alpha_3 - x\beta) \\
 P(\text{TCE} = 100\% | x) &= P(\alpha_4 \leq y^* | x) = P(\alpha_4 - x\beta \leq e | x) = 1 - \Lambda(\alpha_4 - x\beta)
 \end{aligned}$$

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 :

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

avec $1[.]$ 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. 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 le sont. Nos résultats ont été estimés en utilisant la procédure *ologit* du logiciel Stata.³³

3. LES RESULTATS

Avant d'analyser les résultats de l'analyse économétrique, il est utile de présenter quelques statistiques descriptives. Dans le tableau 3, la moyenne et l'écart type des variables calculés sur 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 & 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 & 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)
US (%)	6.22 (24.16)	4.19 (20.04)
TRACTEUR-REM (%)	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)

³³ Notons également que dans le cas avec pondération, nous tenons également compte du « clustering » par site d'enquête dans le calcul des écarts-type des estimateurs.

Variables	Échantillon	Échantillon pondéré (*)
PORTEUR-REM (%)	0.79 (8.86)	1.11 (10.51)
FOURGON (%)	47.48 (49.93)	47.17 (49.92)
PORTE-CONT (%)	2.99 (17.04)	3.70 (18.32)
FOURGON-RÉFRI (%)	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)
CPT-PROPRE (%)	22.63 (41.84)	29.38 (45.53)
PROP-EXP (%)	22.63 (41.84)	18.22 (38.60)
DISTANCE (km)	719.07 (877.12)	397.18 (519.59)
POPULATION	186.11×10^6 (0.0013)	198×10^6 (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.

Concernant la structure de notre échantillon (sans tenir compte du facteur d'expansion), on peut constater que la moyenne de *TCP* est plus faible que celle de *TCE*. Ceci reflète bien entendu le fait qu'un camion peut être contraint par le volume (*TCE*=100%) mais que *TCP* peut être inférieur à 100%. Clairement, le TC est moins élevé sur les voyages de retour. Ceci s'explique essentiellement par le plus grand pourcentage de voyages vides sur le retour puisque *TCE* est plus ou moins identique si on élimine les camions vides (88.50% sur l'ALLER contre 86.60% sur le RETOUR). Notons également que les camions vides voyagent sur de plus longues distances au RETOUR puisque la distance moyenne des voyages à vide sur l'ALLER est de 278 km contre 349 km sur le RETOUR. La présence de SGEV ou de TACHYGRAPHE est assez limitée 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. En termes de 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 dans notre échantillon se déplacent pour des transporteurs privés. Ceci s'explique certainement par le fait que ce type de transporteur se concentre surtout sur des 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 longueur moyenne des déplacements est d'un peu plus de 700 km.

Si on tient compte du facteur d'expansion, on note une réduction assez marquée de *TCE* qui est probablement liée à la réduction substantielle de la distance moyenne des déplacements. On note aussi une augmentation du pourcentage de camion 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 sont consistants avec l'association de facteurs d'expansion plus importants aux déplacements de courtes distances.

Le tableau 4 croise *TCE* et le taux de pénétration des SGEV en fonction de quelques facteurs explicatifs clefs. Il appert que *TCE* est associé positivement à la présence d'un SGEV, à la taille du camion, aux opérations pour compte d'autrui, à la configuration tracteur-remorque, à la propriété du camion par le conducteur et surtout à la distance. De plus, les camions québécois seraient en moyenne moins remplis. Ce dernier résultat est cependant moins clair lorsque l'on tient compte du facteur d'expansion. Les SGEV semblent surtout être installés sur de gros camions parcourant de longues distances et opérant pour 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. En effet par exemple, 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. Ceci souligne donc 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 clefs

Variables	<i>TCE</i> moyen (%)	<i>TCE</i> 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
Province				
QUEBEC	58.7	51.5	5.5	4.3
ROC	66.7	54.6	15.8	12.2
US	61.1	54.4	19.3	17.3
TRACTEUR-REM				
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
CPT-PROPRE				
Oui	48.79	40.3	4.1	3.2
Non	64.7	57.3	10.6	7.9

PROP-EXP				
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 autorise l'impact d'un SGEV à varier suivant que le déplacement a une distance inférieure ou supérieure à 400 km. Comme l'impact 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)).³⁴ Notons que pour certaines variables, les coefficients mesurent l'impact de ces variables 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 relativement à un camion immatriculé au Québec, toute autre chose étant égale 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 & DIST ≤ 400	--	--	-0.3932** (0.2053)	-0.5338 (0.4806)	--	--
SGEV & 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)
QC	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- REM	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-REM	-0.2265 (0.3093)	-0.8077*** (0.3704)	-0.2334 (0.3091)	-0.8143** (0.3717)	--	--
FOURGON	Référence	Référence	Référence	Référence	--	--
PORTE-CONT	-0.2601	-0.0661	-0.2661	-0.0710	--	--

³⁴ Les résultats obtenus à partir d'un modèle linéaire sont disponibles auprès des auteurs. Il en va de même pour les résultats obtenus en utilisant *TCP*.

Variable	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	(0.1777)	(0.2971)	(0.1776)	(0.2952)		
FOURGON	-0.0644	-0.3016***	-0.0677	-0.3002**	--	--
REFRI	(0.0862)	(0.1162)	(0.0864)	(0.1164)		
RIDELLES	0.2199	0.2313	0.2144	0.2276	--	--
	(0.1712)	(0.3438)	(0.1711)	(0.3448)		
PLATEAU	-0.4433***	-0.4769***	-0.4425***	-0.4745**	--	--
	(0.0748)	(0.1245)	(0.0747)	(0.1221)		
TREMIE	0.0321	0.4743	0.0241	0.4678	--	--
	(0.1529)	(0.3042)	(0.1528)	(0.3028)		
BASCULANTE	-0.5560***	-0.5283**	-0.5582***	-0.5315**	--	--
	(0.1542)	(0.2839)	(0.1544)	(0.2827)		
CITERNE	-0.9184***	-0.8454***	-0.9218***	-0.8520***	--	--
	(0.1059)	(0.2507)	(0.1061)	(0.2498)		
SPECIALISÉE	-0.6264***	0.3814	-0.6226***	0.3821	--	--
	(0.2322)	(0.5345)	(0.2318)	(0.5337)		
CPT-PROPRE	-0.0370	-0.0002	-0.0390	-0.0015	0.1409	0.0141
	(0.0656)	(0.0962)	(0.0656)	(0.0962)	(0.1251)	(0.2053)
PROP-EXPL.	-0.0890	-0.2350**	-0.0848	-0.2324**	-0.1951*	-0.1859
	(0.0639)	(0.1033)	(0.0639)	(0.1032)	(0.1165)	(0.1791)
Log(DISTANCE)	0.6640***	0.7074***	0.6544***	0.6954***	0.8444***	0.9501***
	(0.0430)	(0.0733)	(0.0432)	(0.0710)	(0.0787)	(0.1348)
POPULATION	97.54***	87.62***	94.01***	84.14**	100.41***	67.69
	(25.11)	(32.41)	(25.18)	(32.61)	(59.10)	(55.39)
REVENU	0.0053	0.0087	0.0052	0.0084	0.0002	-0.0005
	(0.0033)	(0.0061)	(0.0033)	(0.0062)	(0.0056)	(0.0088)
TRAFIC	0.0006*	0.0015***	0.0007*	0.0015***	0.0014**	0.0038***
	(0.0003)	(0.0005)	(0.0003)	(0.0005)	(0.0006)	(0.0010)
α_1	5.0633	5.8529	5.0013	5.7748	6.8071	7.8052
	(0.3701)	(0.5549)	(0.3706)	(0.5557)	(0.6640)	(1.2864)
α_2	5.4099	6.1924	5.3483	6.1149	7.1491	8.1733
	(0.3709)	(0.5514)	(0.3714)	(0.5523)	(0.6668)	(1.2916)
α_3	5.7210	6.4597	5.6596	6.3823	7.4787	8.4072
	(0.3717)	(0.5579)	(0.3722)	(0.5594)	(0.6680)	(1.2995)
α_4	6.3311	6.9988	6.2698	6.9216	8.0245	8.8395
	(0.3730)	(0.5711)	(0.3734)	(0.5713)	(0.6712)	(1.3025)
Log-vraisemblance	-7288.6	--	-7286.5	--	-2384.2	--
Test du ratio de vrais.	$\chi^2(50)=1685$	--	$\chi^2(51)=1690$	--	$\chi^2(23)=514$	--
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. 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 & DIST ≤ 400	--	--	-0.3057 (0.1893)	0.1833 (0.2889)	--	--
SGEV & 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)
QC	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- REM	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-REM	-0.2026 (0.2515)	0.2549 (0.3360)	-0.2113 (0.2506)	0.2492 (0.3353)	--	--
FOURGON	Référence	Référence	Référence	Référence	--	--
PORTE-CONT	-0.2050 (0.1562)	-0.3629* (0.1883)	-0.2062 (0.1565)	-0.3589** (0.1912)	--	--
FOURGON REFRI	-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)	--	--
TREMIÉ	-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)	--	--
CPT-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)
PROP-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)
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)

Variable	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
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 vrais.	$\chi^2(49)=1561$	--	$\chi^2(50)=1565$	--	$\chi^2(24)=466$	--
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. 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).

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

- On note tout d'abord que la pondération des observations par le facteur d'expansion a un impact important sur les coefficients estimés associés à plusieurs variables. Ceci 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).
- Sur l'ALLER, la présence d'un SGEV semble avoir un effet négatif, particulièrement sur de courtes distances et pour des 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. Sur le RETOUR, le SGEV a un effet positif et significatif sur le TC. Cet effet semble surtout marqué sur des 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 sur le RETOUR, l'effet sur l'ALLER est moins net mais pointe tout de même vers la présence d'un effet de type rebond limité.
- La présence de TACHYGRAPHE a un impact positif sur l'ALLER. L'effet de cette variable est négatif sur le RETOUR mais non significatif dans plusieurs cas.
- Comme anticipé, la taille du camion est positivement liée au TC particulièrement à l'ALLER. Sur le RETOUR, l'effet n'est statistiquement significatif que pour les estimations sans pondérées.
- Contrairement à ce que l'analyse descriptive laissait entrevoir, le TC des camions immatriculés au Québec est significativement plus élevé que ceux

provenant du reste du Canada ou des États-Unis sur l'ALLER. Sur le RETOUR, seuls les camions américains ont un TC significativement moindre que les camions québécois. Ceci reflète certainement une connaissance plus limitée du marché québécois par les transporteurs américains et donc une probabilité plus faible de trouver des chargements sur les voyages de retour. Ceci peut également s'expliquer par une législation plus contraignante relativement au poids maximal permis chez nos voisins du sud. Soulignons que ces effets sont plus importants lorsque l'on utilise la pondération par le facteur d'expansion.

- 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 sur 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 trois essieux ou moins alors que les trains routiers en comptent généralement au moins huit.
- Concernant les types de remorques, on remarque que de manière générale, les remorques de type plus spécialisé comme les citernes ont des taux de remplissage moindre relativement aux remorques de type fourgon. L'effet est aussi généralement plus marqué sur le voyage de RETOUR. Il y a cependant certains cas où c'est l'opposé comme par exemple pour les remorques de type benne basculante.
- Comme anticipé, les camions associés à des transporteurs pour compte propre ont des taux de remplissage plus faibles sur le RETOUR. Cet effet n'est cependant pas statistiquement significatif pour plusieurs spécifications.
- Les propriétaires-exploitants semblent davantage prêts à accepter des charges moindres sur l'ALLER. Sur le RETOUR, la propriété du camion par le chauffeur ne semble pas jouer de rôle.
- Sans surprise, le TC est clairement positivement lié avec la distance sur les deux sous-échantillons.
- L'importance de la POPULATION et du TRAFIC affecte aussi positivement les TC. La variable REVENU n'a pas d'effet statistiquement significatif.

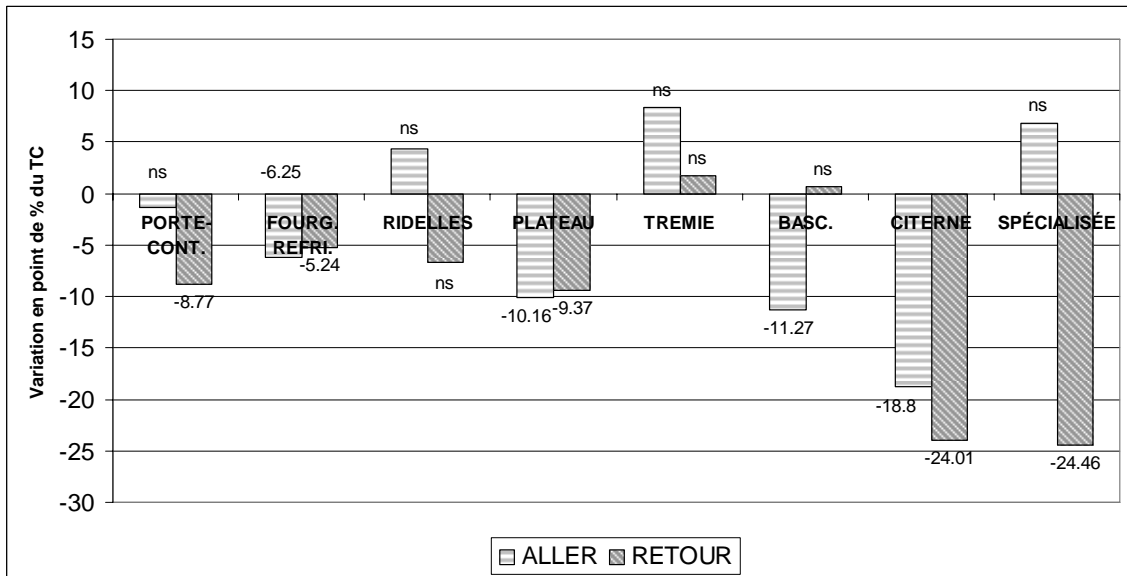
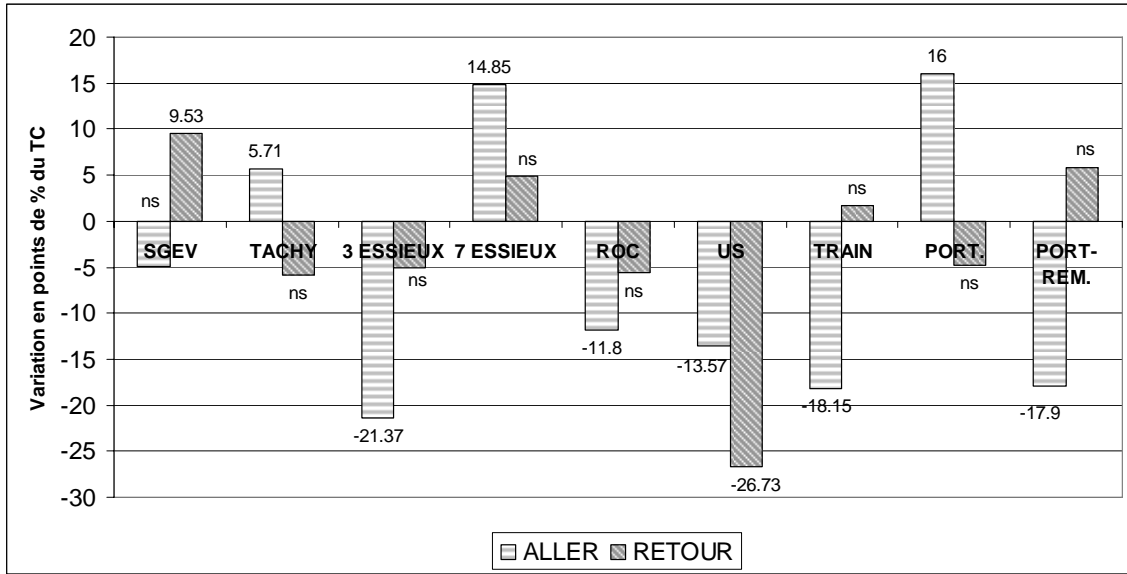
Jusqu'à présent, nous n'avons discuté que du signe et du degré de significativité statistique. Il est évidemment aussi important d'évaluer l'importance des effets des différentes variables. Pour les modèles linéaires, les coefficients fournissent directement une idée de la magnitude des impacts. Malheureusement, 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 termes de points de pourcentages 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 qui a les caractéristiques suivantes :

- Pas de SGEV ou de TACHYGRAPHE ;
- 5 essieux ;
- Immatriculé au Québec ;
- De type tracteur-remorque avec une remorque de type fourgon ;

- Opéré par un transporteur pour compte d'autrui.

La figure 1 illustre par exemple que, sur 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 E, des figures équivalentes sont présentées pour les résultats obtenus sans pondération des observations.



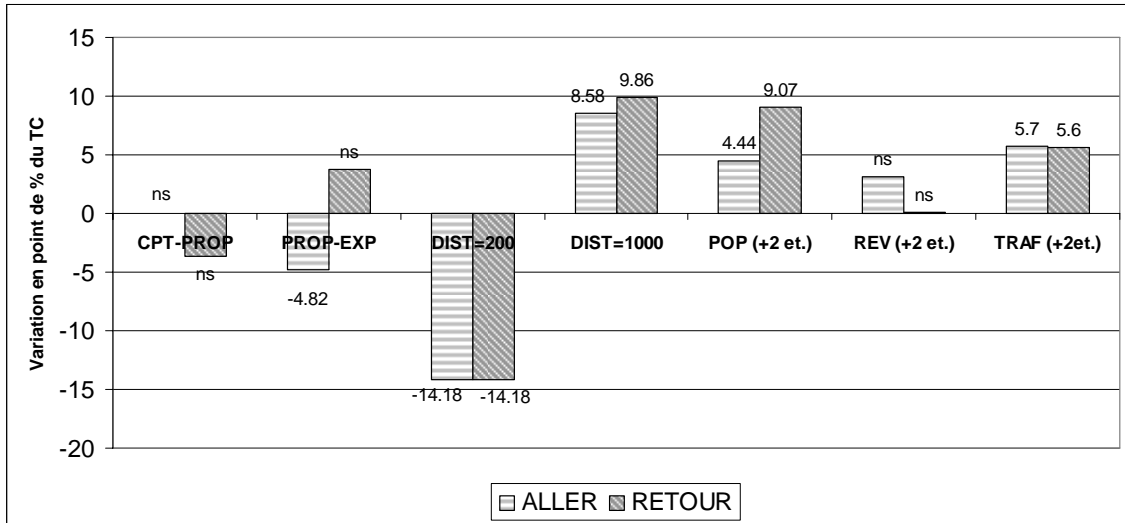


Figure 1 : Impact des facteurs explicatifs sur le TC à partir des résultats des colonnes 2 (tableaux 5 et 6).

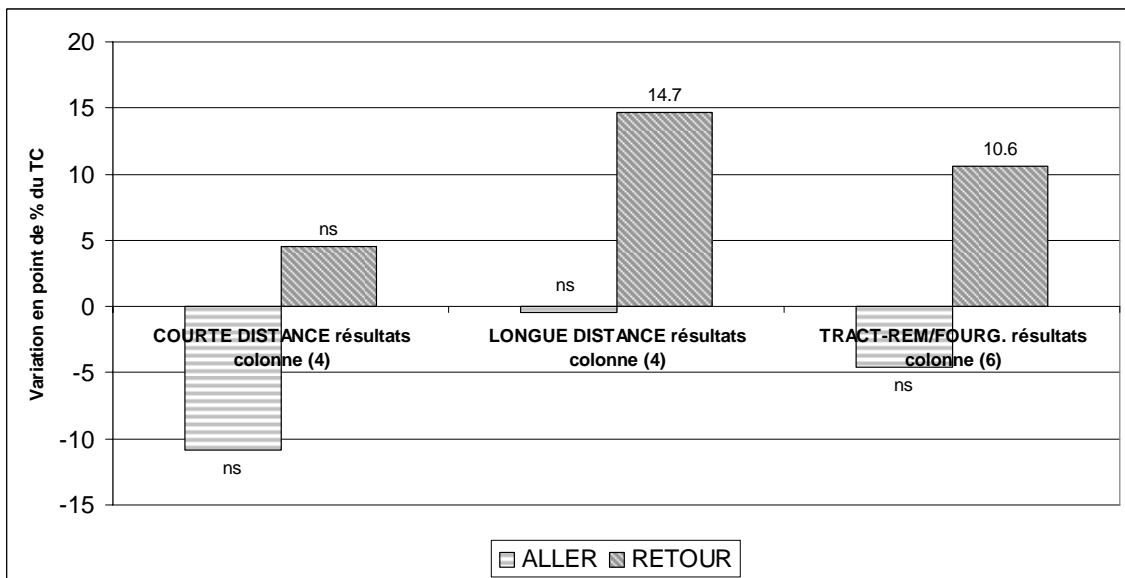


Figure 2 : Impact des SGEV sur le TC à partir des résultats des colonnes 4 et 6 (tableaux 5 et 6).

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

- La présence d'un SGEV réduit très légèrement le TC sur l'ALLER (effet non significatif) et accroît le TC de près de 10 points de pourcentage sur le RETOUR (figure 1). Sur base de la figure 2, il semble que l'effet positif sur le RETOUR se manifeste surtout sur des 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'impact positif du SGEV au RETOUR est moins

prononcé; par contre, l'effet négatif sur 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 sur l'ALLER et a un impact légèrement négatif sur le RETOUR.
- La taille du camion affecte le TC particulièrement sur l'ALLER. Ainsi par exemple, un camion de 7 essieux a un taux de remplissage moyen supérieur de près de 15 points de pourcentage par rapport à un camion de 5 essieux sur l'ALLER.
- La distance du déplacement a un impact positif important à la fois à l'ALLER et au RETOUR. Par exemple, on observe des TC supérieurs de 8 à 10 points de pourcentage si on considère une augmentation de la distance du déplacement de 500 km à 1000 km. La population a aussi un effet non négligeable puisque l'augmentation de cette variable par deux écarts-type engendre une hausse du taux de remplissage de 4 à 9 points de % sur l'aller et le retour respectivement.
- Sur l'aller, les camions provenant du reste du Canada et des États-Unis ont respectivement des taux de remplissage inférieurs de 12 et 13 points de pourcentage par rapport aux camions québécois. Sur le retour, seul 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.
- La nature des opérations (compte propre/compte d'autrui) n'a pas d'impact très important sur le TC *ceteris paribus*. Le TC des propriétaires exploitants est inférieur de 4.82 points de % sur l'ALLER. On ne note pas d'effet significatif sur le RETOUR.
- On note que la configuration TRAIN-ROUTIER est caractérisée par un taux de remplissage nettement plus faible sur l'aller. Une fois de plus, cette simulation est probablement trompeuse dans la mesure où elle suppose que le nombre d'essieux reste constant à 5 alors que ce type de configuration comprend le plus souvent 8 essieux. Si on ajuste simultanément la configuration et le nombre d'essieux, on trouve que le TC de ce type de camion est supérieur de 10 et 8.8 points de pourcentage sur l'aller et sur le retour respectivement. La même difficulté se présente avec la configuration PORTEUR. En effet, la figure 1 suggère que ces camions ont des TC nettement plus élevés sur l'aller mais si on tient compte du fait que ces camions ont en général non pas 5 essieux mais 3, on note que leur TC est supérieur de seulement 1.9 points de pourcentage sur l'aller et inférieur de 10 points sur le retour.
- L'impact 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'impact 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 dans notre échantillon. Nous avons ensuite simulé 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 base de notre modèle, les TKMT qui auraient été transportées si ces camions n'avaient pas de SGEV (toutes les autres caractéristiques étant maintenues constantes). Ceci nous permet de calculer

l'accroissement des TKMT engendrées par cette technologie pour les camions qui l'ont adoptée. Nous calculons aussi le pourcentage d'accroissement des TKMT causé par les SGEV relativement au TKMT correspondant à l'ensemble des déplacements dans 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 : Impact des SGEV sur les TKMT et sur l'efficacité énergétique

Impact des SGEV	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Δ TKMT (%) des camions qui adoptent	1.3	2.57	2.9	5.04	0.47	4.05
Δ TKMT (%)	0.21	0.32	0.47	0.63	0.09	0.7
Δ Eff. energ. (%)	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 suivant que l'on utilise les résultats avec ou sans pondération par le facteur d'expansion. Sur base des résultats sans pondération, l'impact de cette technologie est assez marginal puisqu'elle accroît les TKMT des camions qui en sont munis de +0.47% à +2.9% suivant les spécifications. Cela implique un accroissement des TKMT pour l'ensemble des camions dans 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 base des résultats avec pondération, les SGEV accroissent les TKMT des camions qui adoptent cette technologie 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 un chiffre précis mais plutôt à donner un ordre de grandeur de l'impact de ces systèmes.

L'impact que nous mesurons sur le taux d'utilisation de la capacité est plus faible que celui obtenu sur des données américaines par Hubbard. En effet, rappelons que, selon ses résultats, les SGEV auraient permis d'améliorer le taux d'utilisation de la capacité des camions qui l'adoptent de 13%. Pour l'ensemble de l'industrie, Hubbard calcule un effet positif des SGEV de l'ordre de 3%. Une partie de la différence avec nos résultats peut s'expliquer par le taux de pénétration des SGEV plus important dans l'échantillon utilisé par Hubbard (près de 25% contre seulement 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 qu'aux Etats-Unis (les données de Hubbard datent de 1997) et donc que les bénéfices retirés étaient plus faibles. Il sera particulièrement intéressant de reproduire notre analyse sur les données de la nouvelle enquête qui est prévue débuter prochainement. Il serait aussi certainement utile d'examiner si d'autres facteurs (taille des entreprises, organisation des chaînes de

distribution, densité des liens économiques...) peuvent expliquer cette différence. Évidemment, il est bon de souligner que des différences méthodologiques entre notre étude et celle de Hubbard peuvent aussi expliquer cette différence.

4. LES IMPLICATIONS POUR LES POLITIQUES PUBLIQUES

Les pouvoirs publics doivent-ils adopter un programme (subvention, crédit d'impôt etc.) en vue de favoriser l'adoption des SGEV ? Pour répondre à cette question, il est tout d'abord utile de vérifier s'il y a une raison économique qui justifie une intervention publique pour influencer une 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 engendre 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 en vue de 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 des programmes favorisant l'adoption de SGEV pourraient se justifier.³⁵ Évidemment, il faut aussi se questionner sur l'impact d'un tel programme. Nos résultats et ceux de Hubbard suggèrent que cette technologie semble avoir un impact sur le taux d'utilisation de la capacité des camions qui l'adoptent.³⁶ Toutefois, il est fort probable que les transporteurs pour lesquels cette technologie est la plus bénéfique l'ont certainement déjà adoptée. Donc, un programme n'influencerait que les transporteurs pour lesquels les SGEV sont à la marge de la rentabilité. L'effet d'un programme serait donc sans doute assez limité.³⁷

D'un autre côté, il semble bien qu'en 1999 le Canada et le Québec en particulier était à la traîne relativement aux États-Unis dans le taux d'adoption de cette technologie. En effet, le tableau 8 compare le taux d'adoption des SGEV de camions similaires (tracteur-remorque de type fourgon avec au moins 5 essieux) circulant sur des axes commerciaux comparables suivant le port d'attache du camion. Ainsi, le taux d'adoption des camions québécois circulant sur les axes commerciaux reliant le Québec et les États-Unis est de seulement 11% relativement à 43% pour les camions basés 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 les camions provenant du ROC.³⁸ Une fois encore, il sera intéressant de vérifier si ce retard reste encore vrai aujourd'hui.

³⁵ 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 de 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 bénéfices dépendent du nombre d'utilisateurs de la technologie). Voir par exemple Stoneman and Diederer (1994).

³⁶ 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% !

³⁷ Une analyse coût/bénéfice serait certainement nécessaire avant de décider d'investir dans un tel programme.

³⁸ 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).

Tableau 8 : Taux d'adoption des SGEV suivant le port d'attache

Axes	Port d'attache	% d'adoption d'un SGEV (*)
QC-USA	QC	11
	USA	43
QC-ROC	QC	12
	ROC	20

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

5. CONCLUSION

L'objectif de cette recherche était de développer un modèle économétrique en vue de mieux comprendre les déterminants du TC. Suite à cette analyse, les principaux résultats sont les suivants :

- Le TC est fortement influencé positivement par la taille du camion, la distance du déplacement et la nature polyvalente de la remorque.
- Les camions dont le port d'attache n'est pas au Québec ont des TC significativement inférieurs aux camions québécois. Les camions provenant des États-Unis par exemple ont des TC inférieurs jusqu'à 27 points de pourcentage par rapport aux camions québécois (en supposant que les autres caractéristiques comme la distance ou la taille du camion sont similaires).
- La nature des opérations (compte propre/compte d'autrui) ou la structure de propriété du camion (propriétaire-exploitant) ont assez peu d'impacts sur le TC toutes autres choses étant constantes par ailleurs.
- La présence d'un SGEV réduit légèrement le TC sur des déplacements de type « aller ». Cet effet négatif se manifeste surtout sur des trajets de courte distance (moins de 400 kilomètres). Par contre, nous obtenons que le TC s'accroît de 5 à 10 points de pourcentage sur des déplacements « retour » lorsque le camion est équipé d'un SGEV. Cet effet est surtout présent sur des 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 sur les voyages d'aller pourrait s'expliquer par la présence d'un effet rebond limité. En effet, en augmentant la probabilité de trouver un chargement sur le retour, les SGEV réduisent le coût unitaire d'une expédition sur l'aller (les coûts fixes liés au trajet complet sont répartis sur une charge totale plus importante). Ceci peut dès lors favoriser l'acceptation par le transporteur de chargements sur l'aller qui sont soit moins remplis 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 par les camions munis de cette technologie. Pour l'ensemble de l'industrie, cela se traduit dans un accroissement des tonnes-kilomètres transportées de 0.63% et une amélioration de l'efficacité énergétique de 0.5%. L'impact relativement marginal sur l'ensemble de l'industrie s'explique principalement par un taux d'adoption des

SGEV assez faible en 1999. Relativement aux États-Unis, nous notons d'ailleurs un retard significatif dans l'adoption de cette technologie.

- Ces résultats et constatations pourraient éventuellement justifier la mise en place d'un programme gouvernemental favorisant l'adoption de cette technologie. Avant de mettre en place un tel programme, il serait cependant important de vérifier sur des données plus récentes les taux d'adoption des SGEV. Il serait aussi important de tenir compte qu'un programme n'aura d'impact qu'à la marge puisque les transporteurs pour qui les bénéfices des SGEV sont importants ont certainement déjà adopté cette technologie. Une analyse coût-bénéfice serait donc certainement nécessaire avant d'instaurer un tel programme.

À partir de cette recherche, plusieurs extensions sont possibles. Premièrement, comme mentionné précédemment, il serait particulièrement important de répéter l'analyse sur des données plus récentes. Deuxièmement, il serait instructif d'analyser davantage l'effet rebond à partir d'un modèle théorique en vue de mieux comprendre son importance et ses déterminants. Troisièmement, notre spécification empirique suppose que les variables explicatives affectent le 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 le statut vide ou non vide et si le camion n'est pas vide ii) expliquer son taux de chargement. Ainsi, il se pourrait par exemple que l'on montre que la présence de SGEV affecte la probabilité de trouver une charge mais pas le taux de chargement effectif.

REFERENCES 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, MA)*, avril 2003, 40 pages.
- BRIDGESTONE/FIRESTONE COMMERCIAL TRUCK TIRES. *Truck Tires.com*, [En ligne].
[http://www.trucktires.com/us_eng/technical/bftechnical/fuel_economoy_b.asp] (25 février 2006)
- 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 Economic*, 115 (2), mai 2000, pages 533-560.
- HUBBARD, Thomas N. «Information, Decision, and Productivity: On-Board Computer and Capacity Utilization in Trucking», *The American Economic Review*, Volume 93, Issue 4, septembre 2003, pages 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].
[http://2003.fr-lo.org/actualites/actualites/30227_1lexique.doc] (25 février 2006)
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE DU QUÉBEC (2004). *Gros plan sur l'énergie*, [En ligne].
[<http://www.mrn.gouv.qc.ca/energie/energie/energie-portrait-consommation.jsp>]
(25 février 2006)
- 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 pages.
- MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC. *Les Transports au Québec, Recueil de données statistiques* [En ligne].

[\[http://www1.mtq.gouv.qc.ca/fr/publications/services/documentation/statistiques/statistiques.pdf\]](http://www1.mtq.gouv.qc.ca/fr/publications/services/documentation/statistiques/statistiques.pdf) (25 février 2006)

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.*

STATISTIQUES CANADA. *Le transport routier dans un marché sans frontière: Profil du secteur du camionnage au Canada de 1988 à 1994*, [En ligne].
[\[http://www.statcan.ca/francais/freepub/61-532-XIF/10-barzyk_f.html\]](http://www.statcan.ca/francais/freepub/61-532-XIF/10-barzyk_f.html) (25 février 2006)

STATISTIQUES CANADA. *Profil pour le Canada, les provinces, les territoires, les divisions de recensement et les subdivisions de recensement, recensement de 2001*. [Tableau en ligne].
[\[http://www12.statcan.ca/francais/census01/products/standard/profiles/ListProducts.cfm?Temporal=2001&APATH=3&RL=9&FREE=0%20\]](http://www12.statcan.ca/francais/census01/products/standard/profiles/ListProducts.cfm?Temporal=2001&APATH=3&RL=9&FREE=0%20) (20 août 2005)

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

TRANSPORTS CANADA. *Les transports au Canada, Rapport Annuel 2002, 2003 et 2004*, [En ligne].
[\[http://www.tc.gc.ca/pol/fr/rapport/anre2004/toc_f.htm\]](http://www.tc.gc.ca/pol/fr/rapport/anre2004/toc_f.htm) (25 février 2006)

TRANSPORTS CANADA. *Le site de T-Facts*, [En ligne].
[\[http://www.tc.gc.ca/pol/fr/T-Facts3/main.htm\]](http://www.tc.gc.ca/pol/fr/T-Facts3/main.htm) (25 février 2006)

US CENSUS BUREAU. *Find An Area Profile with QuickFacts*, [En ligne].
[\[http://www.census.gov/\]](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].
[\[http://www.census.gov/population/www/cen2000/phc-t4.html\]](http://www.census.gov/population/www/cen2000/phc-t4.html) (25 février 2006)

US CENSUS BUREAU. *Small Area Income & Poverty Estimates, Model-based Estimates for States, Counties & School Districts*, [En ligne].
[\[http://www.census.gov/hhes/www/saipe/county.html\]](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, No. 6, novembre 1999, p. 1385-1406.

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

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 pages.

DEFINITIONS 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 champs c25axlall de l'ERN99.
TRACTEUR-REMO	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 champs c01conf de l'ERN99.
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 champs c01conf de l'ERN99.
PORTEUR	Variable binaire = 1 si le camion c a une configuration de type camion porteur et égale à 0 sinon.	Construite à partir du champs c01conf de l'ERN99.
PORT-REM	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 champs c01conf de l'ERN99.
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 champs c05body1 de l'ERN99.
PORTE-CONT	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 champs c05body1 de l'ERN99.
FOURGON-REFRI	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 champs c05body1 de l'ERN99.
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 champs c05body1 de l'ERN99.
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 champs c05body1 de l'ERN99.

TREMIE	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 champs c05body1 de l'ERN99.
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 champs 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 champs 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 champs 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 champs 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 champs 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 champs i02owner de l'ERN99.
CPT-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 champs 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 champs totalkm de la base de données du MTQ.

AXE _{ij}	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 considérées, les champs h04toreg1 à h04toreg4 et h06tdreg1 à h06tdreg4 de l'ERN99 ont pu être utilisés pour construire les variables binaires.
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 STATCAN 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 STATCAN et le US Census Bureau. Voir références.
EXPANSION	Facteur d'expansion. Correspond à l'inverse du taux d'échantillonnage.	Construite à partir du champs 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 termes de poids.	Construite à partir des champs f08amoacb, j02_tw_typ et j02_tw_max de l'ERN99.

CLASSIFICATION ALLER/RETOUR DES DEPLACEMENTS

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).

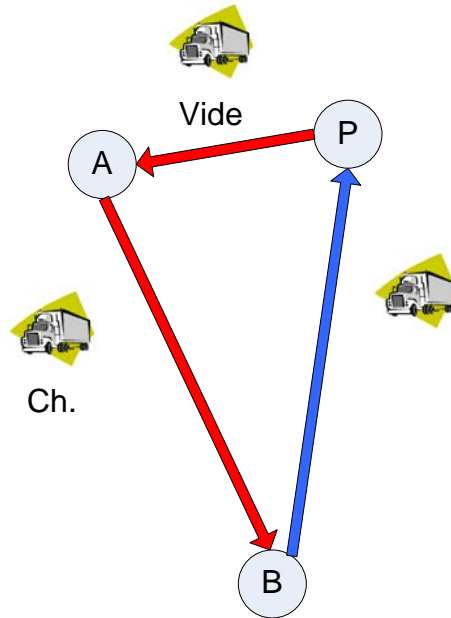
Étape 1 : si O se confond avec P, l'observation est associée à un voyage d'ALLER. Par contre si D est similaire à P, l'observation est classée comme un RETOUR.

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 peut classer toutes les observations d'où 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).

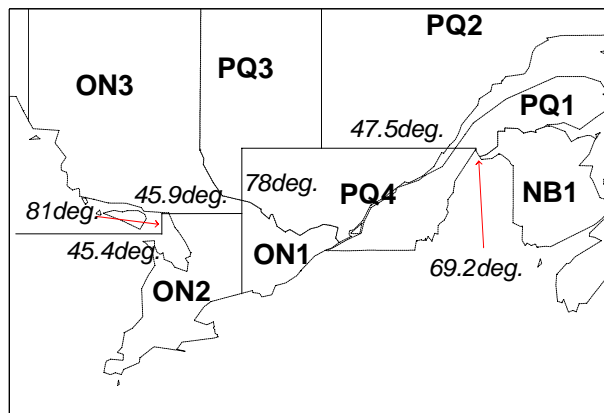
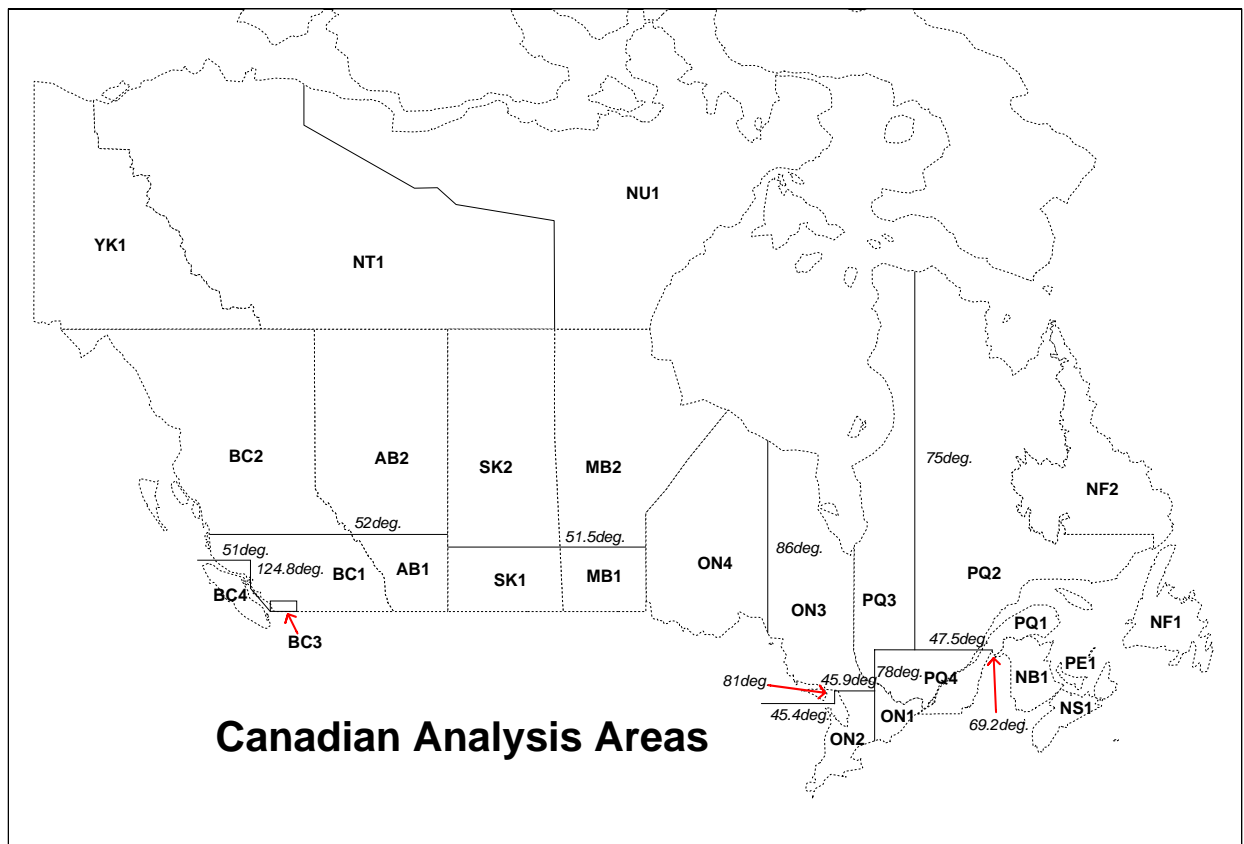


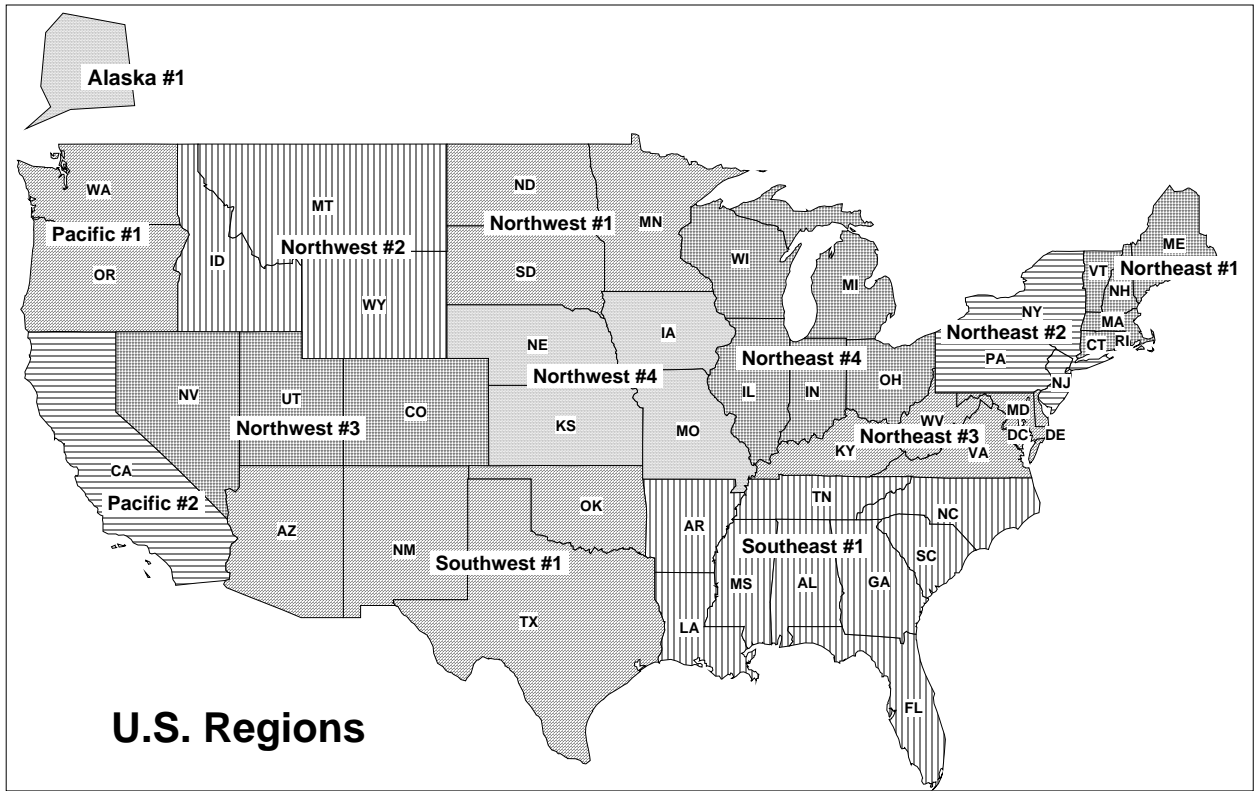
Afin d'illustrer notre procédure en trois étapes et pour mettre en évidence une des difficultés engendrées par la définition du déplacement dans l'ENR99, considérons un camion dont le port d'attache est P et qui va chercher une charge en A pour la transporter en B. Lors de son retour, on suppose qu'il 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).

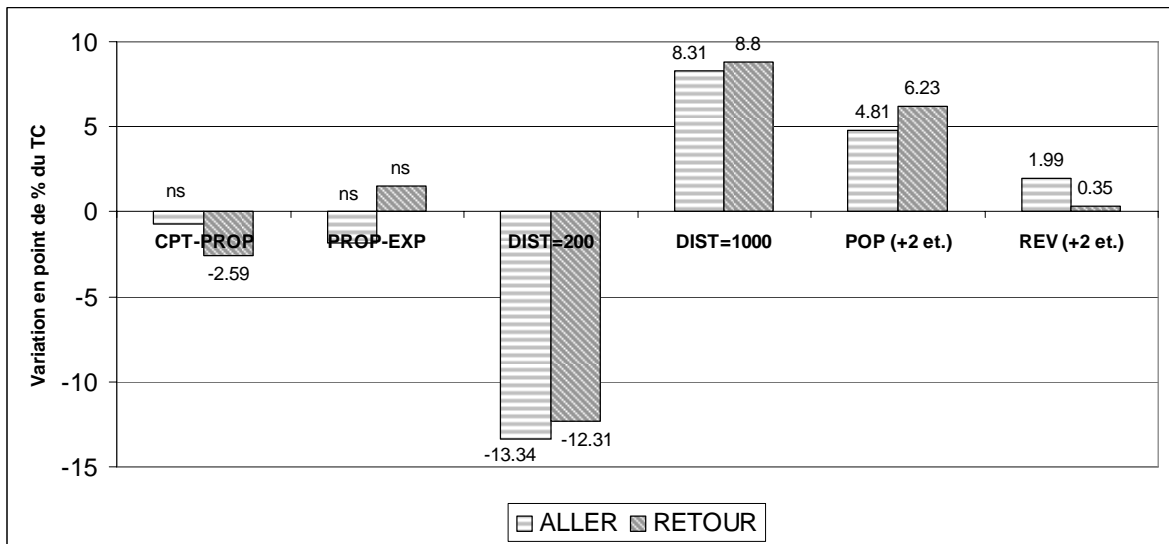
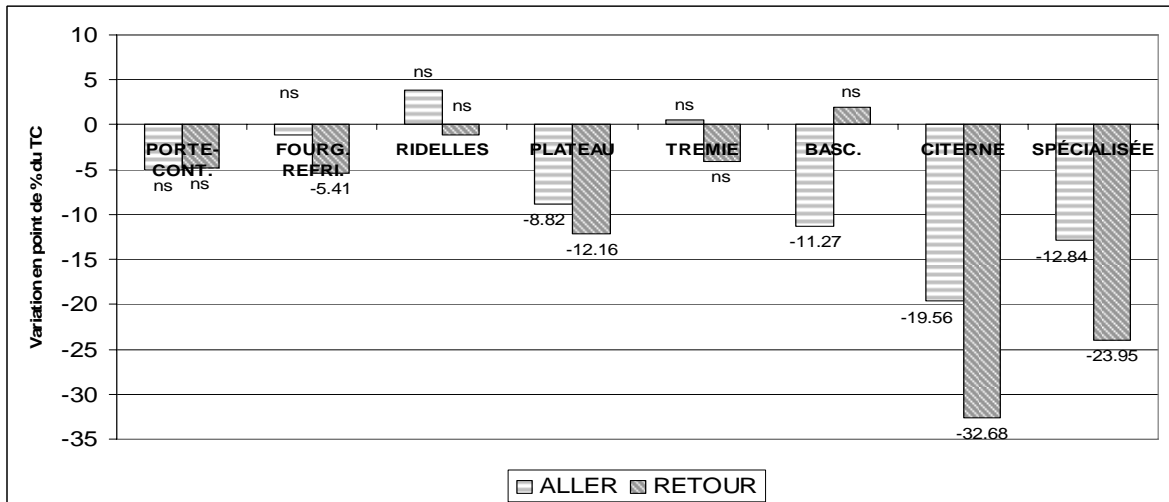
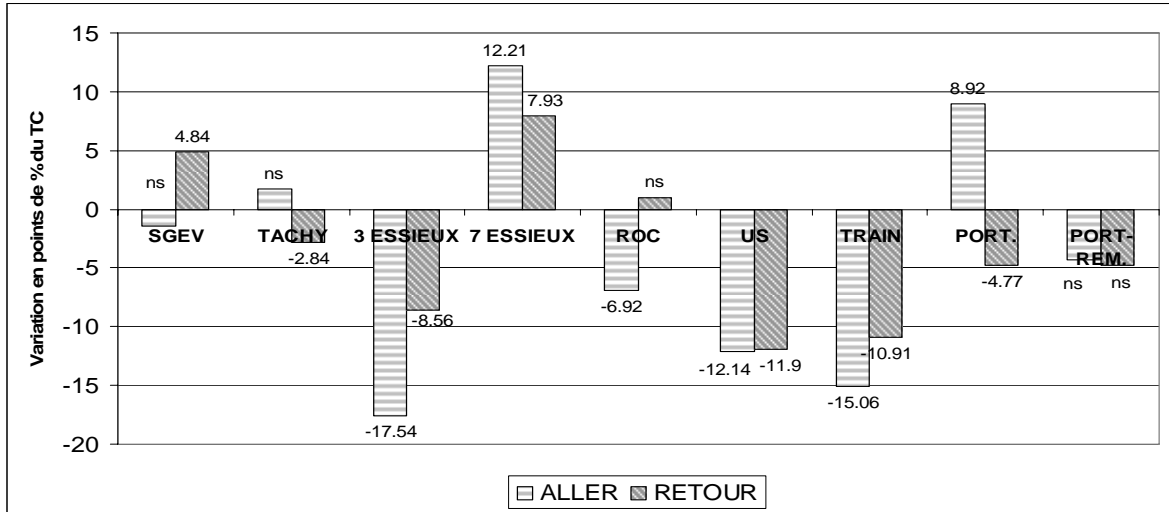
Cet exemple illustre donc une des limitations de la notion de déplacement utilisée dans l'ERN99. En effet, si le camion est intercepté entre P et A, l'ERN99 n'inclut d'informations que sur PA, alors que conceptuellement le déplacement comprend deux segments PA et AB. Ainsi, nous ne sommes pas à même de distinguer parmi les voyages de courte distance ceux qui le sont effectivement de ceux qui s'inscrivent dans les voyages plus longs mais qui comprennent plusieurs segments. En d'autres termes, parmi les déplacements de courte distance rapportés par l'ENR99, il y a une portion de voyages qui sont en fait de « fausses » courtes distances.

DÉCOUPAGES GÉOGRAPHIQUES



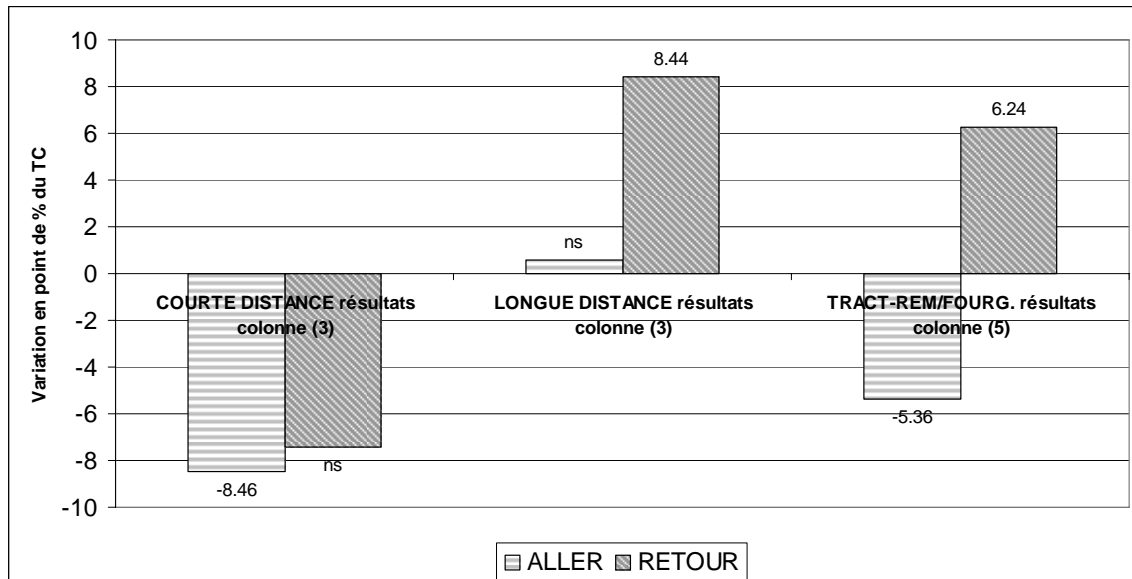


Source : CCATM (2002)



ns : non significatif

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



ns : non significatif

Figure 2E : Impact des SGEV sur le TC à partir des résultats des colonnes 3 et 5 (tableaux 5 et 6).