



ORGANISATION  
FOR ECONOMIC  
CO-OPERATION AND  
DEVELOPMENT



18<sup>TH</sup> MADRID 2009

INTERNATIONAL       
TRANSPORT RESEARCH SYMPOSIUM

Document de référence n° 2009-25

*Novembre 2009*

## **Les perspectives du transport interurbain de personnes Rapprocher les citoyens**

**SESSION 4 : INNOVATIONS ET INTERACTIONS ENTRE  
SYSTEMES DE TRANSPORTS**

***Voies réservées, péages et STI***

*par*

**Robin Lindsey**

Faculté des Sciences Economiques  
Université de l'Alberta  
Edmonton - Canada

*Les points de vue exposés dans ce rapport sont ceux de son auteur et ne  
représentent pas nécessairement ceux de l'Université de l'Alberta, de l'OCDE  
ou du Forum International des Transports.*

## TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION.....	3
2. MÉRITES DE LA SÉPARATION DES VÉHICULES : ÉTUDES EMPIRIQUES .....	5
2.1. Trafic hétérogène .....	5
2.2. Interdiction d'accès à certaines voies de circulation.....	6
2.3. Différenciation des limitations de vitesse .....	7
3. MÉRITES DE LA SÉPARATION DES VÉHICULES : MODÉLISATION .....	7
4. OBSERVATIONS COMPLÉMENTAIRES .....	12
4.1. Valeur du temps de déplacement, valeur de la fiabilité et utilisation de l'informatique.....	12
4.2. Choix des itinéraires .....	14
4.3. Horaire des déplacements .....	14
4.4. Type de véhicule, logistique et implantation .....	15
5. CONCLUSIONS .....	16
NOTES .....	18
BIBLIOGRAPHIE .....	19
TABLEAU ET FIGURES.....	22

Les mérites de la séparation des voitures et des camions occupent les esprits depuis longtemps. La fluidification du trafic, la diminution du nombre d'accidents, l'amélioration de la qualité de l'air et la réduction des coûts de construction et d'entretien des infrastructures routières sont certains des avantages qu'elle peut présenter. Les poids lourds sont souvent bannis des voiries urbaines et relégués sur certaines voies de nombreuses routes, mais il n'existe pas d'infrastructures exclusivement réservées aux camions. L'aménagement de voies et de routes à péage réservées aux camions fait toutefois aujourd'hui l'objet de réflexions attentives. Les péages pour voitures et camions entrent aussi de plus en plus dans les mœurs et pourraient contribuer à distribuer plus rationnellement la circulation des voitures et des camions sur le réseau routier.

La présente étude analyse les avantages potentiels de la réservation, dans un réseau d'infrastructures routières donné, de voies et de routes différentes aux voitures et aux camions. Diverses études américaines portant sur les conditions d'écoulement des trafics hétérogènes, la réservation de certaines voies à certains véhicules et la différenciation des limitations de vitesse ne permettent pas de déterminer avec certitude si la séparation des voitures et des camions fluidifie le trafic et réduit le nombre d'accidents. L'utilisation d'un modèle économique apprend que les avantages potentiels dépendent du nombre relatif de voitures et de camions, du degré d'indivisibilité des capacités et de l'impédance ainsi que des risques pour la sécurité dont chaque type de véhicule est porteur. La différenciation des péages peut aider à rationaliser la distribution des voitures et des camions entre les différentes voies. La réservation de voies à péages aux voitures, d'une part, et aux camions, d'autre part, est une solution hybride potentiellement intéressante. Les systèmes de transport intelligents (STI) peuvent contribuer à améliorer la sécurité routière et la fiabilité des temps de déplacement et aider les usagers à faire leur choix entre routes à péage et routes gratuites.

## 1. INTRODUCTION

La plupart des routes sont accessibles à la fois aux voitures et aux camions, alors même que ces véhicules peuvent accuser des différences considérables en termes de dimensions, de masse, de maniabilité et autres paramètres<sup>1</sup>. Les poids lourds sont souvent bannis des voiries urbaines et relégués sur certaines voies dans de nombreuses routes, mais il n'existe pas d'infrastructures exclusivement réservées aux camions. Plusieurs projets d'aménagement de voies ou routes à péage réservées aux camions ont toutefois été avancés aux États-Unis (Reich *et al.*, 2002 ; Administration Fédérale des Routes, 2003 ; *Transportation Research Board*, 2003 ; Poole, 2007 ; Killough, 2008 ; Service d'audit, d'évaluation et d'enquête du Congrès américain, 2008). Plusieurs études portent également sur la réservation de certains corridors américano-canadiens et de certaines routes britanniques, italiennes et néerlandaises aux camions.

Beaucoup de projets de voies et routes pour camions postulent la perception de péages. Les camions doivent acquitter des péages sur 8 000 kilomètres de routes américaines et dans plus de 20 pays européens (Broadus et Gertz, 2008). Ces péages ont des finalités diverses allant de la gestion de la demande à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la génération de recettes, mais ne visent pas spécifiquement à séparer les véhicules lourds des véhicules légers. Il a cependant été montré que la séparation des voitures et des camions pouvait présenter certains avantages : l'homogénéisation des flux de circulation peut atténuer la congestion en réduisant le besoin de freinage, d'accélération, de dépassement et de changement de voie, les voitures peuvent être moins ralenties par des camions plus lents qui limitent leur champ de vision, la décongestion des routes peut rendre les temps de déplacement plus prévisibles, la diminution du nombre de collisions entre des véhicules lourds et légers peut faire diminuer le nombre d'accidents et de morts, tandis que l'augmentation et l'uniformisation des vitesses de circulation peut être bénéfique à la qualité de l'air. Il est possible aussi de concevoir des infrastructures pour camions adaptées aux trains routiers de grande longueur exploitant les économies de taille (Samuel *et al.*, 2002) et il est vraisemblable par ailleurs que la concentration progressive des camions sur des installations qui leur sont réservées fera diminuer le besoin d'entretien des autres routes et permettra de rogner sur la solidité des nouvelles routes à construire pour les voitures (Holguin-Veras *et al.*, 2003).

L'aménagement d'infrastructures réservées à des types de véhicules particuliers oblige à prendre de nombreux facteurs en compte, tels que la densité du trafic des voitures et des camions, l'existence ou absence d'obstacles à la circulation, la localisation des accès et des sorties, le nombre et la largeur des voies, l'épaisseur des revêtements, les limitations de vitesse, la présence ou non d'aires d'arrêt, de stations d'essence et d'autres services et la possibilité d'hétérogénéisation du trafic de certaines voies, notamment celles qui sont réservées aux véhicules à haut taux d'occupation (Chu et Meyer, 2008). La question de la perception de péages pour les voitures et/ou les camions et de la différenciation de ces péages sur la base du type de véhicule, du tronçon de route, de l'heure de la journée et d'autres paramètres pose également problème.

La présente étude ne vise pas à aborder toutes ces questions. Elle analyse les avantages de la séparation des véhicules induite par la réservation de certaines voies ou routes à certaines catégories d'entre eux et/ou la perception de péages en laissant dans l'ombre les coûts d'investissement et d'entretien afférents à ces infrastructures, les coûts de perception des péages et beaucoup d'autres questions pratiques. Elle vise à déterminer : 1) si la séparation des véhicules est source de gains au niveau de l'exploitation et de la sécurité ; 2) si la répartition d'équilibre non réglementée des voitures et des camions entre les voies et les routes est optimale ; et 3) quelles sont les meilleures mesures à prendre si cette répartition n'est pas optimale.

Le chapitre 2 passe en revue les quelques rares études empiriques existantes des avantages et inconvénients de la séparation des voitures et des camions. Le chapitre 3 fait la synthèse d'une étude de De Palma *et al.* (2008) qui analyse les avantages de cette séparation et compare l'efficacité des restrictions d'accès aux voies de circulation, de la différenciation des péages dus par les voitures et les camions et de la réservation de certaines voies aux voitures ou aux camions. Le chapitre 4 traite de quelques questions importantes qui n'ont pas été prises en compte dans le modèle et le chapitre 5 formule quelques remarques en guise de conclusion.

## 2. MÉRITES DE LA SÉPARATION DES VÉHICULES : ÉTUDES EMPIRIQUES

Il n'y a pas encore de voies de circulation réservées aux camions, mais plusieurs études des effets de l'hétérogénéité du trafic, des restrictions d'accès aux voies de circulation et de la différenciation des limitations de vitesse jettent quelque lumière sur les avantages et les inconvénients de la séparation des voitures et des camions.

### 2.1. Trafic hétérogène

Les camions contribuent, pour diverses raisons, davantage à la congestion que les voitures : ils occupent plus d'espace sur la route, accélèrent et décélèrent moins vite, négocient les virages plus lentement et limitent davantage le champ de vision des autres usagers. Cette plus grande impédance des camions s'exprime normalement en « unités voiture particulière » (UVP) : le bilan s'élève à 1.5-2 UVP pour les camions isolés et à 2 ou 3 UVP pour les véhicules articulés et monte plus haut sur les routes en pente. Le facteur UVP présente deux faiblesses pour l'évaluation des mérites de la séparation des voitures et des camions. La première réside dans le fait que l'impact d'un véhicule peut dépendre de la composition du trafic (Demarchi et Setti, 2003). Plusieurs chercheurs ont ainsi constaté que la valeur UVP des camions est une fonction croissante de la proportion du flux constituée par ces camions (Yun *et al.*, 2005). La seconde, plus fondamentale, découle du fait que la valeur UVP permet de mesurer l'impédance globale des camions, mais ne met pas l'inégalité de leur incidence, mal connue à ce jour, sur les voitures et les camions en lumière (Peeta *et al.*, 2004).

Les camions ne se contentent pas de générer de la congestion, mais sont aussi à l'origine de risques pour la sécurité d'autres véhicules. Plusieurs caractéristiques des camions donnent à penser que ces risques sont plus sérieux dans le cas des camions que dans celui des voitures. Les très longs camions sont truffés d'angles morts et leurs conducteurs peuvent avoir quelque difficulté à repérer les véhicules plus petits qui les longent ou les suivent. Ils réduisent le champ de vision des automobilistes, surtout s'ils circulent en colonne sur une même voie. Les camions cachent d'autres véhicules ainsi que les signaux routiers installés en bordure ou au dessus de la route, mais la gravité de ce problème reste encore à étudier (TRB, 2003). Ils soulèvent, sur les mauvaises routes et par mauvais temps, des nuages de gouttelettes et des débris qui peuvent endommager les autres véhicules et obscurcir la vision de leurs conducteurs. Ils créent des obstacles et des dangers quand ils crèvent ou perdent des parties de leur chargement. Ceux qui ont une charge à l'essieu élevée endommagent les routes au point, à terme, de réduire la vitesse à laquelle il peut être roulé en sécurité et d'accélérer l'usure des voitures.

Les camions présentent aussi des caractéristiques qui les rendent plus sûrs. Le perfectionnement des systèmes de prévention du blocage des roues a amélioré leurs performances au freinage, à tel point que leur distance de freinage sur sol mouillé est aujourd'hui comparable à celle des voitures (TRB, 2003). Il s'y ajoute que les chauffeurs de camion sont assis plus haut que les automobilistes et peuvent

donc voir plus loin et réagir plus rapidement à un danger et, ce qui est sans doute plus important encore, que la plupart d'entre eux sont des professionnels chevronnés fortement incités à conduire sagement.

Les études empiriques des accidents impliquant des voitures et des camions témoignent d'une réalité diversifiée et assez complexe. Le nombre total d'accidents par 100 millions de véhicules/kilomètre est, aux États-Unis, un peu plus faible pour les poids lourds que pour les voitures, mais le taux d'accidents mortels est un peu plus élevé et l'issue des collisions entre camions et voitures risque beaucoup plus d'être fatale pour l'automobiliste qui y est impliqué (Adelakun et Cherry, 2009). Les accidents impliquant un camion sont en règle générale la conséquence de déplacements latéraux plutôt que de l'emboutissage d'une voiture par l'arrière ou d'une sortie de route (Golob et Regan, 2004). Les caractéristiques des routes (déclivité, largeur des voies, distances de vision latérales, courbes) affectent les performances des camions et influent sur le risque d'accident. Il en est de même de la densité du trafic : des modèles de simulation (Garber et Liu, 2007) révèlent que le taux d'accident par véhicule/kilomètre augmente avec la densité du trafic, mais aussi que les coûts diminuent parce que les accidents perdent en gravité. Le nombre de changements de voie par véhicule/kilomètre, qui est corrélé avec le taux d'accident, augmente avec la part du trafic représentée par les camions jusqu'à ce que celle-ci atteigne 25 pour cent, seuil au-delà duquel il recommence à diminuer (Siushi et Mussa, 2007). Les chercheurs ne sont pas d'accord quant à l'incidence de la variance des vitesses sur le taux d'accident.

La circulation des camions a, sur le comportement des automobilistes, des effets qui peuvent être dommageables à la sécurité. Il s'avère ainsi que les automobilistes tendent à suivre les camions de moins près que les voitures, inclinent plus à dépasser les camions que les voitures, tendent à les dépasser plus rapidement et éprouvent un sentiment de malaise en présence de camions, surtout quand le temps est mauvais et que le trafic est de densité moyenne, deux conditions dans lesquelles le risque d'accident et la gravité potentielle des accidents augmentent (Peeta *et al.*, 2004).

## **2.2. Interdiction d'accès à certaines voies de circulation**

Les poids lourds sont interdits d'accès à certaines voies sur de nombreuses routes. Aux États-Unis, cette interdiction s'applique 24 heures sur 24, afin de faciliter sa mise en œuvre et son respect par les routiers. Les « interdictions » sont parfois de simples recommandations et beaucoup d'États renoncent à faire respecter celles qui sont impératives (TRB, 2003).

Tous les chercheurs ne sont pas d'accord sur l'incidence de ces interdictions sur l'écoulement du trafic. Rakha *et al.* (2005) observent, en s'aidant de modèles de simulation, que la réservation de certaines voies aux camions améliore les performances en termes de vitesse, de consommation et d'émissions. Les véhicules affectés au transport de voyageurs tirent, ce qui n'a rien pour étonner, plus d'avantages de la séparation des véhicules pendant les heures de pointe au cours desquelles la congestion est forte (Siushi et Mussa, 2007 ; Ministère des Transports de Floride, 2008) ainsi que sur les routes entrecoupées de longues pentes. Les interdictions d'accès à certaines voies s'avèrent aussi donner de meilleurs résultats sur les autoroutes à péage ainsi que sur les routes à deux fois trois voies au moins que sur celles qui n'en comptent que deux par sens (Stanley, 2009) ainsi que sur les routes à accès limité. L'opportunité de la relégation des camions sur la voie de dépassement (Ministère des Transports de Floride, 2008) ou sur celle de circulation normale (Adelakun et Cherry, 2009) est une question qui divise les chercheurs.

Il manque de données sur les accidents survenus avant et après l'instauration d'une interdiction d'accès des camions à certaines voies en certains endroits précis pour évaluer son incidence sur la sécurité et il a donc fallu effectuer par ordinateur des simulations sur modèles réduits. Les conclusions tirées des simulations et de l'analyse des statistiques des accidents divergent et rien ne démontre de façon péremptoire que cette interdiction a des effets positifs ou négatifs sur la sécurité (TRB, 2003).

### 2.3. Différenciation des limitations de vitesse

Les limitations de vitesse sont, sur beaucoup de routes, différentes pour les voitures et les camions. La pratique suscite des controverses et il y a des arguments qui plaident tant en faveur qu'en défaveur de cette différenciation. La moindre maniabilité et capacité de freinage des camions milite en faveur de l'abaissement de leur vitesse, à tout le moins en situation de trafic hétérogène, bien que, comme il l'a déjà été souligné précédemment, leurs conducteurs aient un champ de vision plus étendu et une technique de conduite qui sont de nature à améliorer la sécurité de leur camion. La différenciation des limitations de vitesse peut amplifier la variance des vitesses et induire une multiplication des changements de voie entraînant une augmentation du nombre de déportements latéraux et d'encastres de voitures dans l'arrière de camions, mais aussi une diminution du nombre d'autres accidents tels que l'écrasement de voitures par des camions (Harkey et Mera, 1994). Il n'y a que relativement peu de données qui permettent d'évaluer l'incidence de la différenciation des limitations de vitesse sur la sécurité. Celles qui existent font apparaître peu de différence entre le nombre et la gravité des accidents enregistrés dans les États américains où les limitations de vitesse sont uniformes, d'une part, et différenciées, d'autre part, même si la nature des collisions et le rôle qu'y jouent les camions et les voitures n'y sont pas les mêmes (TRB, 2003).

En résumé, les faits mis en lumière par les études américaines portant sur l'écoulement des trafics hétérogènes, les interdictions d'accès à certaines voies et la différenciation des limitations de vitesse n'indiquent pas clairement si la séparation des voitures et des camions facilite cet écoulement ou réduit le taux d'accidents. Ils varient en fonction de la composition et de la densité du trafic, de la nature des routes et du relief, de la localisation des voies réservées sur la gauche ou la droite de la chaussée et d'autres facteurs.

## 3. MÉRITES DE LA SÉPARATION DES VÉHICULES : MODÉLISATION

De Palma *et al.* (2008) ont étudié récemment, en s'appuyant sur un modèle microéconomique, les avantages potentiels de la séparation des voitures et des camions. Le présent chapitre fait la synthèse de l'exercice de modélisation et présente les conclusions analytiques et chiffrées les plus intéressantes qui peuvent en être tirées.

Le modèle distingue deux types de véhicules, à savoir les véhicules *légers* (*L*) et les véhicules *lourds* (*H*)<sup>2</sup>. Chaque type de véhicules accomplit un nombre donné de déplacements entre une même origine et une même destination en empruntant soit la route 1, soit la route 2 qui peuvent en fait être

des routes différentes ou deux voies contiguës d'une même route. Les véhicules de type  $g$  accomplissent  $N_g$  déplacements au total et  $N_{gr}$  déplacements sur la route  $r$ .

Le coût privé total d'un déplacement accompli par un véhicule de type  $g$  sur la route  $r$  est une fonction linéaire croissante du nombre total de véhicules de chaque type parcourant la même route :

$$C_r^L = \underbrace{F_r^L}_{(a)} + \underbrace{c_{Lr}^L N_{Lr}}_{(b)} + \underbrace{c_{Hr}^L N_{Hr}}_{(c)} + \underbrace{\tau_r^L}_{(d)}, \quad r = 1, 2, \quad (1)$$

$$C_r^H = \underbrace{F_r^H}_{(a)} + \underbrace{c_{Lr}^H N_{Lr}}_{(b)} + \underbrace{c_{Hr}^H N_{Hr}}_{(c)} + \underbrace{\tau_r^H}_{(d)}, \quad r = 1, 2. \quad (2)$$

Le terme (a) apparaissant dans les deux équations (1) et (2) représente le coût fixe d'un déplacement, le terme (b) le surcoût imputable aux véhicules *légers* parcourant la même route, et le terme (c) le surcoût imputable aux véhicules *lourds*. Les coefficients  $c_{Lr}^L$  et  $c_{Hr}^L$ ,  $r = 1, 2$ , appelés *coefficients de coûts propres* spécifient les coûts externes dont chaque véhicule grève les véhicules de même type circulant sur la même route, tandis que les coefficients  $c_{Hr}^L$  et  $c_{Lr}^H$ , appelés *coefficients de coûts croisés*, spécifient les coûts externes dont chaque véhicule grève les véhicules de l'autre type. Ces deux coefficients dépendent de la capacité des routes. Le terme (d), enfin, représente le péage (éventuel). Les péages sont censés pouvoir varier selon le type de véhicule et la route.

Les conducteurs de véhicules *légers* et de véhicules *lourds* sont libres, en l'absence de péages ou d'interdiction d'accès à certaines voies, de choisir l'une ou l'autre route. Les trois types possibles de configurations d'usage d'équilibre sont l'équilibre *intégré* dans lequel les véhicules *légers* et les véhicules *lourds* circulent sur les deux routes, l'équilibre *partiellement séparé* dans lequel le premier type de véhicule circule sur les deux routes et le second sur une seule et l'équilibre *séparé* dans lequel chacun des deux types de véhicule ne circule que sur une route. La nature de l'équilibre est fonction du nombre  $N_L$  et  $N_H$  de véhicules de chaque type ainsi que de la valeur des coefficients de coût  $c_{hr}^g$ , qui est elle-même fonction de la capacité de la route. Définir  $c_{h^g}^g = c_{h1}^g + c_{h2}^g$ ,  $g = L, H$ ,  $h = L, H$ . De Palma *et al.* (2008) montrent que l'équilibre ne peut être *intégré* que si :

$$\frac{c_{H\bullet}^L}{c_{L\bullet}^L} < \frac{c_{H\bullet}^H}{c_{L\bullet}^H}. \quad (3)$$

La formule (3) indique que le rapport des coûts externes dont un véhicule *lourd* grève un véhicule *léger* aux coûts dont un véhicule *léger* grève un autre véhicule *léger* ( $c_{H\bullet}^L/c_{L\bullet}^L$ ) doit être inférieur au rapport correspondant des coûts supportés par un véhicule *lourd* ( $c_{H\bullet}^H/c_{L\bullet}^H$ ). Si la réalité postulée par la formule (3) se vérifie, les véhicules *légers* préfèrent circuler sur une route empruntée par des véhicules *lourds* et les véhicules *lourds* sur une route empruntée par des véhicules *légers*. La formule (3) peut se vérifier même si les véhicules *lourds* génèrent des coûts de congestion, des coûts d'accidents et d'autres coûts externes beaucoup plus élevés que les véhicules *légers*. Le paramètre le plus important est constitué par les coûts **relatifs** que les véhicules *légers* et *lourds* s'imposent mutuellement.

La demande de mobilité étant censée être fixe, la répartition optimale des véhicules entre les routes est celle qui minimise les coûts externes totaux. L'optimum peut, à l'image de l'équilibre non réglementé, être intégré, partiellement séparé ou totalement séparé. Le coût social d'un déplacement effectué par l'un et l'autre type de véhicule diffère toutefois du coût privé donné dans les équations (1) et (2) en ce sens qu'il : a) exclut les péages au motif qu'il s'agit de transferts ; et b) inclut les coûts

externes (émissions, bruit, vibrations et détérioration des revêtements) subis, pour leur plus grande partie, par l'ensemble de la population plutôt que par les seuls usagers de la route. Ces coûts sont, par souci de simplification, appelés coûts *environnementaux*.

La répartition optimale des véhicules entre les routes diffère de l'équilibre non réglementé pour diverses raisons, notamment parce que les conducteurs ignorent les coûts environnementaux de leurs déplacements et préfèrent emprunter la route qui minimise les coûts fixes<sup>3</sup>. Comme les coûts tant environnementaux que fixes afférents aux différentes voies d'une même route sont sans doute comparables, sinon identiques, cette préférence pourrait ne pas jouer. Les coûts externes dont les coefficients de coûts propres et de coûts croisés rendent compte ne sont en revanche généralement pas identiques d'une route à l'autre ou pour deux voies d'une même route. Palma *et al.* (2008) montrent que la répartition optimale ne peut être intégrée que si :

$$c_{L\bullet}^L \cdot c_{H\bullet}^H > c_{H\bullet}^L \cdot c_{L\bullet}^H + \frac{1}{4} (c_{H\bullet}^L - c_{L\bullet}^H)^2. \quad (4)$$

En partant de l'équation (3), la répartition non réglementée ne peut de même être intégrée que si :

$$c_{L\bullet}^L \cdot c_{H\bullet}^H > c_{H\bullet}^L \cdot c_{L\bullet}^H. \quad (5)$$

Étant donné que le terme quadratique du membre de droite de l'équation (4) est positif, la condition qu'exprime cette équation (4) est plus stricte que celle qu'exprime l'équation (5) et la répartition optimale peut être partiellement ou totalement séparée, même si l'équilibre non réglementé est intégré. Il suffit, pour en comprendre le pourquoi, de poser  $c_{H\bullet}^L > c_{L\bullet}^H$ . Les coûts externes dont les *véhicules lourds* grèvent les *véhicules légers* sont dans ce cas plus élevés que ceux dont les *véhicules légers* grèvent les *véhicules lourds*. Les *véhicules lourds* préfèrent donc circuler avec des *véhicules légers* et l'optimum consiste à séparer les *véhicules lourds* des *légers*. Si de même  $c_{L\bullet}^L < c_{H\bullet}^H$ , les *véhicules légers* préfèrent circuler avec des *véhicules lourds* et il y a avantage à séparer les uns des autres. Si la route n'a pas une capacité plus ou moins suffisante pour accueillir les *véhicules lourds* et *légers*, il ne sert à rien d'éliminer les conflits entre ces deux types de véhicules, quoique leur séparation partielle puisse se justifier.

Si la répartition non réglementée d'équilibre des *véhicules légers* et *lourds* entre les routes n'est pas optimale, il est possible d'envisager l'adoption de plusieurs mesures de régulation de la circulation telles que : 1) l'interdiction d'accès à certaines voies ; 2) la perception de péages sur les deux types de véhicules et les deux voies ; et 3) la réservation d'une voie à péage à un seul type de véhicules. Comme les *véhicules légers* et *lourds* génèrent des coûts externes et environnementaux différents sur les deux routes, l'optimum est inatteignable avec des péages indifférenciés, mais des péages différenciés sur la base des types de véhicules et des routes suffisent pour y arriver<sup>4</sup>.

L'interdiction d'accès à certaines voies s'avère ne pouvoir guère contribuer à la rationalisation de la répartition du trafic. L'optimum peut, s'il est séparé, être atteint en cantonnant simplement chaque type de véhicule sur la route qui lui est attribuée. Une telle limitation de l'accès ne marche toutefois manifestement pas si l'optimum est intégré. Elle ne marche normalement pas non plus si l'optimum est partiellement séparé, parce qu'il est certes possible de cantonner un type de véhicule sur la route qui lui est attribuée, mais illusoire d'attendre des véhicules de l'autre type qu'ils optimisent leur répartition entre les routes. Il s'en suit que si l'optimum est intégré, le bannissement d'un type de véhicules de certaines voies peut en fait faire augmenter les coûts totaux de déplacement<sup>5</sup>.

La troisième mesure, en l'occurrence la voie à péage, consiste à réserver une voie à un type de véhicule et à percevoir un péage sur cette voie. Elle est hybride en ce sens qu'elle associe l'interdiction d'accès à certaines voies au péage. Une voie à péage unique ne permet pas d'atteindre l'optimum s'il est intégré, mais peut, dans certaines conditions, décentraliser l'optimum s'il est totalement ou partiellement intégré<sup>6</sup>. Le propos peut s'illustrer en partant de l'hypothèse d'un optimum partiellement séparé avec circulation des seuls véhicules *légers* sur la route 1. La perception d'un péage sur cette route 1 contribue à l'atteinte de l'optimum si les véhicules *légers* préfèrent ne pas emprunter la route 2 (c'est-à-dire si  $c_{H2}^L > c_{L2}^H$ ), parce que cette préférence peut être réduite à néant par l'imposition d'un péage positif aux véhicules *légers* empruntant la route 1. Si les véhicules *légers* préfèrent en revanche ne pas emprunter la route 1 (c'est-à-dire si  $c_{H2}^L > c_{L2}^H$ ), la perception d'un péage sur la route 1 ne ferait que dégrader encore la répartition.

Pour mieux cerner les avantages potentiels de la séparation des voies, des péages généralisés et des voies à péage, De Palma *et al.* (2008) ont élaboré une version spéciale du modèle général dans laquelle les coûts externes de la mobilité sont générés par la congestion et les accidents et qui donne  $c_{hr}^g = cong_{hr}^g + acc_{hr}^g$ ,  $g = L, H$ ;  $h = L, H$ ;  $r = 1, 2$ , équation dans laquelle  $cong_{hr}^g$  et  $acc_{hr}^g$  représentent les coefficients des coûts de congestion et des coûts des accidents. Les coûts relatifs de congestion dont les véhicules *lourds*, d'une part, et *légers*, d'autre part, grèvent les véhicules *légers* sont donnés par :

$$\frac{cong_{Hr}^L}{cong_{Lr}^L} = \lambda_H^L PCE_{cong}, \quad r = 1, 2, \quad (6)$$

équation dans laquelle  $PCE_{cong}$  est un UVP générique pour la congestion créée par les véhicules *lourds* et  $\lambda_H^L \geq 1$  un facteur d'échelle rendant compte de la plus forte charge dont les véhicules *lourds* peuvent grever les véhicules *légers* pour les raisons exposées dans le chapitre 2. Le coût relatif des accidents que les véhicules *lourds* et *légers* font porter par les véhicules *légers* est donné par l'équation analogue :

$$\frac{acc_{Hr}^L}{acc_{Lr}^L} = \phi_H^L PCE_{acc}, \quad r = 1, 2, \quad (7)$$

dans laquelle  $PCE_{acc}$  est un UVP générique pour le coût des accidents généré par les véhicules *lourds* et  $\phi_H^L \geq 1$  un facteur d'échelle rendant compte du risque disproportionné d'atteinte à la sécurité auquel les véhicules *lourds* peuvent exposer les *légers*. Les valeurs de base des paramètres figurent dans le Tableau 1. Elles sont valables pour une route à trois voies dont deux voies constituent la route 1 et la troisième la route 2. Les coefficients  $cong_{Lr}^L$  et  $acc_{Lr}^L$  sont calibrés de telle sorte qu'en situation d'équilibre non réglementé, les coûts externes marginaux de congestion, d'une part, et d'accidents, d'autre part, d'un véhicule *léger* s'élèvent à respectivement 0.044 euro/km (0.10 USD/mille) et 0.009 euro/km (0.02 USD/mille) environ<sup>7</sup>.

De Palma *et al.* (2008) calculent des équilibres et des optima non réglementés pour une gamme étendue de valeurs des paramètres. Il ne sera ici prêté attention qu'aux quelques cas politiquement les plus intéressants. Le premier est celui où la valeur du temps est fixée à 53 euros/heure (75 USD/h) pour les véhicules *lourds*. La condition représentée par l'équation (3) est remplie et l'équilibre non réglementé est intégré, mais la condition représentée par l'équation (4) ne l'est pas et l'optimum n'est donc pas intégré. Étant donné que la valeur du temps des véhicules *lourds* est plus de six fois plus

élevée que celle des véhicules *légers* (8.48 euros/heure), l'intervention a pour principal avantage d'allouer plus d'espace routier aux véhicules *lourds* et de réduire les pertes de temps que la congestion leur fait subir.

Le « L1 » figurant au sommet de la Figure 1 montre que si la fraction  $f$  du trafic représentée par les véhicules *lourds* est inférieure à 0.14, la route 1 (deux tiers de la capacité totale) est affectée aux véhicules *légers*, tandis que les véhicules *lourds* sont confinés sur la route 2. Pour  $f \in (0.14, 0.24)$ , la route 2 est réservée aux véhicules *lourds* (H2) et la 1 aux véhicules *légers*. Pour  $f \in (0.24, 0.39)$ , la route 2 est affectée aux véhicules *légers* (L2). Si la fraction  $f$  se situe dans la marge étroite  $f \in (0.39, 0.41)$ , la ségrégation est optimale avec une route 2 réservée aux véhicules *légers* et une route 1 aux véhicules *lourds* (L2 + H1). Pour  $f > 0.41$ , enfin, la route 1 est réservée aux véhicules *lourds* (H1), tandis que les véhicules *légers* sont rassemblés sur la voie qui constitue la route 2. Comme  $f$  varie entre 0 et 1, la répartition du trafic entre les routes se modifie quatre fois, ce qui témoigne du rôle important joué par la proportion des véhicules *lourds* dans la rationalisation de l'utilisation de l'espace routier<sup>8</sup>. Comme il l'a déjà été souligné précédemment, il est possible de décentraliser l'optimum en différenciant les péages. L'amélioration, illustrée dans la Figure 1, présente deux sommets avec un minimum local de  $f = 0.24$  obtenu quand les véhicules *lourds* sont transférés de la route 1 vers la route 2 et la répartition des différents types de véhicules entre les routes présente relativement moins d'importance.

La configuration la plus efficace des voies à péage se situe juste sous l'optimum proche du sommet de la Figure 1. Pour  $f < 0.10$ , il y a trop peu de véhicules *lourds* pour justifier la création d'une voie à péage. Pour  $f \in (0.10, 0.33)$ , il est avantageux de réserver une voie à péage aux véhicules *lourds* sur la route 2 (H2) et le mieux, si  $f > 0.33$ , est de créer une voie à péage sur la route 1 (H1). La configuration des voies à péage se confond avec la configuration optimale sur deux sous-intervalles de  $f$  et la voie à péage contribue à l'optimum sur une grande partie de cette fourchette. En revanche, la séparation n'est optimale que sur l'étroite plage  $f \in (0.39, 0.41)$  identifiée ci-dessus et n'est avantageuse (sans être optimale) que sur les deux plages relativement étroites  $f \in (0.11, 0.18)$  et  $f \in (0.33, 0.48)$  où la proportion des véhicules *lourds* est plus ou moins proportionnelle à la capacité des routes 2 ou 1.

La Figure 2 schématise les résultats d'une seconde expérience dans laquelle la valeur  $v^H$  du temps de déplacement des véhicules *lourds* et leur impédance relative  $\lambda^L_H$  varient simultanément, tandis que la proportion des véhicules *lourds* se maintient au niveau de 20 pour cent. L'avantage généré par l'intervention s'exprime sous la forme d'une fonction en U de  $v^H$ . Il s'avère intéressant, pour des valeurs peu élevées de  $v^H$ , d'empêcher les véhicules *lourds* de se mêler aux *légers* et, pour des valeurs élevées de  $v^H$  (53 euros/heure dans la première expérience), d'empêcher les véhicules *légers* de se mêler aux *lourds*. Pour des valeurs intermédiaires de  $v^H$  proches de 17.7 euros/heure, la condition formulée dans l'équation (4) est remplie et tan l'équilibre optimal et non réglementé est intégré. Comme les coûts fixes des déplacements et les coûts environnementaux sont les mêmes pour les deux routes dans l'exemple numérique, la répartition d'équilibre du trafic n'est pas biaisée et aucune intervention ne peut être bénéfique. Cette région est représentée dans la Figure 2 par l'aire où la surface est horizontale et le bénéfice nul.

En ce qui concerne l'effet du paramètre  $\lambda^L_H$ , le pli qui traverse la surface de la Figure 2 montre que l'avantage tiré de l'intervention est maximal quand  $\lambda^L_H$  est légèrement supérieur à l'unité et qu'il diminue quand le paramètre s'écarte, vers le plus ou vers le moins, de cette valeur. Quand  $\lambda^L_H$  prend des valeurs supérieures à l'unité, les coefficients  $cong^L_{Hr}$  des coûts croisés de congestion augmentent de même que l'avantage procuré par la séparation des véhicules *lourds* et des véhicules *légers*. Quand  $\lambda^L_H$  excède une valeur seuil, l'équilibre non réglementé devient séparé et se rapproche de la répartition

optimale du trafic. Il en ressort que les effets bénéfiques de l'intervention dépendent des configurations tout à la fois non réglementées et optimales de la répartition du trafic. Les variations du paramètre  $\phi^L_H$ , représentant le risque relatif de collision auquel les véhicules *légers* sont exposés, ont un effet similaire en forme de V inversé sur les avantages.

Le modèle de De Palma *et al.* (2008) apprend deux choses importantes au moins au sujet de la séparation des véhicules, à savoir : 1) que les interdictions d'accès à certaines voies ou routes sont dans l'ensemble moins productives que des péages adéquats et peuvent même n'avoir aucun effet positif ; et 2) que l'indivisibilité de la capacité des voies empêche de répartir efficacement la capacité entre les différents types de véhicules. La construction d'infrastructures réservées aux camions ne présente un bon rapport coûts/efficacité que si le nombre de camions est suffisamment élevé. Il peut en être dit autant de la réservation de voies aux véhicules à haut taux d'occupation (Small, 1983 ; Dahlgren, 1998).

## 4. OBSERVATIONS COMPLÉMENTAIRES

Le modèle analysé dans le chapitre 3 se limite au choix d'une voie ou route effectué par des conducteurs amenés à parcourir un corridor où la demande de mobilité reste invariable et passe par-dessus plusieurs facteurs pratiques potentiellement importants tels que l'imprévisibilité de la durée des déplacements et le choix du moment où les déplacements s'effectuent. Le présent chapitre passe certains de ces facteurs en revue.

### 4.1. Valeur du temps de déplacement, valeur de la fiabilité et utilisation de l'informatique

#### 4.1.1. Valeur du temps de déplacement

Le chapitre 3 a clairement montré que la valeur du temps de déplacement des personnes et des marchandises est un déterminant clé de l'utilité de la séparation des voitures et des camions. De nombreuses études traitent de la valeur que les automobilistes attachent au temps<sup>9</sup>. Elle varie en fonction de l'objet du déplacement, du taux d'occupation des véhicules, des revenus et d'autres facteurs. Pour évaluer correctement un projet spécifique, il est nécessaire de déterminer la proportion des déplacements effectués à des fins professionnelles, dans le cadre de migrations alternantes et en qualité d'activités de loisirs ainsi que le profil socio-économique de ceux qui les effectuent.

Les études qui traitent de la valeur du temps dans le transport de marchandises, dont l'importance est aujourd'hui pourtant largement reconnue, vont moins loin que celles qui s'intéressent au transport de voyageurs. Dans le transport de marchandises, la valeur du temps dépend de nombreux facteurs, tels que le type et le chargement des véhicules, l'importance de la ponctualité des livraisons, le statut du transport (pour compte propre ou pour compte de tiers) ou encore les salaires et horaires de travail des conducteurs. La valeur du temps est en règle générale plus élevée pour les chargeurs que pour les

transporteurs et dépend de la mesure dans laquelle les destinataires interviennent dans la programmation des livraisons (Hensher et Puckett, 2008). Les estimations, extrêmement biaisées, de la valeur estimative du temps varient considérablement d'un pays développé à l'autre (Kawamura, 2000).

Les ouvrages spécialisés s'interrogent depuis longtemps sur l'incidence que la durée du transport et l'importance des gains de temps réalisables en la matière peuvent avoir sur la valeur du temps, une question particulièrement intéressante dans le cas des transports effectués sur des infrastructures spécialisées dont la longueur peut aller de quelques kilomètres à plusieurs centaines de kilomètres sur des réseaux nationaux ou internationaux. La valeur du temps peut en théorie augmenter avec la distance sous l'effet de la fatigue ou de l'ennui ou diminuer, parce que les déplacements ne sont pas programmés avec autant de rigueur quand ils sont longs<sup>10</sup>. La valeur attribuée aux petits gains de temps varie entre autres dans la mesure où le temps gagné suffit, ou ne suffit pas, pour effectuer une livraison supplémentaire pendant les heures normales de travail d'un conducteur. Cette possibilité varie d'un conducteur à l'autre et s'annule sans doute au total.

#### **4.1.2. Valeur de la fiabilité**

La variabilité du temps de déplacement n'est pas prise en compte dans le modèle déterministe présenté dans le chapitre 3. Une étude de Cambridge Systematics (2005)<sup>11</sup> constate que la congestion routière est due à des goulets d'étranglement (40 pour cent), des accidents (25 pour cent), des travaux (10 pour cent), du mauvais temps (15 pour cent), un mauvais réglage des feux de signalisation (5 pour cent) et diverses circonstances particulières et autres facteurs (5 pour cent). Selon les informations dont les personnes qui se déplacent peuvent disposer au sujet des incidents, des conditions atmosphériques, etc., un quart à une moitié environ des pertes de temps engendrées par la congestion sont imprévisibles.

Les études qui traitent de la fiabilité du temps de transport ont beaucoup gagné en profondeur ces dix dernières années, mais n'ont pas encore pu lui attribuer une valeur monétaire unanimement reconnue. Dans les études de la demande de mobilité, la valeur de la fiabilité est fréquemment représentée par le coefficient de l'écart-type du temps de déplacement et la valeur du temps par le coefficient du temps moyen de déplacement. Le taux  $\rho$  de fiabilité est donné par le rapport de la valeur de la fiabilité à la valeur du temps. Si le coefficient de variation du temps de déplacement ( $CV$ ) est posé constant, l'effet de la variabilité de ce temps peut être estimé en multipliant simplement la valeur du temps par  $1 + \rho * CV$  (Institute for Transport Studies, 2008, p. 21). Ce genre de calcul a ceci de contraignant que  $CV$  augmente en proportion de la congestion, parce que la congestion amplifie l'effet des incidents et autres perturbations et diminue quand les déplacements s'allongent (Arup, 2003). Il semble ressortir de ce qui précède que la fiabilité ne contribue que peu aux coûts totaux des déplacements sur les routes longues et moins encombrées. La réduction de la congestion que les interdictions d'accès à certaines voies et/ou les péages peuvent induire va de pair avec la réduction de la valeur unitaire des gains de temps réalisés, ce qui ne manque évidemment pas de compliquer l'évaluation des projets et des mesures prises.

#### **4.1.3. Utilisation de l'informatique**

Le coût du manque de fiabilité du temps de déplacement dépend de l'aptitude des opérateurs à influencer sur les conditions dans lesquelles les déplacements s'effectuent et des informations dont les conducteurs disposent pour programmer leurs déplacements. Les systèmes de transport intelligents (STI) progressent sur ces deux fronts (TRB, 2003). Le comptage des véhicules pénétrant sur les voies d'accès aux grands axes est une technologie établie et relativement simple qui réduit la congestion en

régulant les flux d'accès aux routes à accès limité. La modulation progressive des limitations de vitesse contribue à fluidifier le trafic et à réduire le nombre d'embouteillages par l'arrière. Les panneaux à message variable et le comptage ciblé des flux d'accès permettent de diriger les poids lourds vers certaines voies et donnent des résultats comparables en quelque sorte à ceux des interdictions classiques d'accès. La sûreté des camions a également tout à gagner de STI, tels que les dispositifs avertisseurs utiles pour les longues descentes et les virages ou les systèmes embarqués de prévention des collisions. Les panneaux à message variable servent depuis longtemps à guider les usagers de la route. Il devient aussi possible de recueillir de plus en plus d'informations par téléphone, par Internet ou en des lieux accessibles au public avant de se mettre en route. Les STI peuvent également informer les voyageurs des montants des péages ainsi que de la durée de parcours des routes à péage ou gratuites (FHWA, 2009). Les conducteurs pourront à l'avenir programmer leurs systèmes embarqués de guidage pour qu'ils leur tracent l'itinéraire le plus court, le plus rapide ou le moins coûteux (Chorus et Timmermans, 2008).

#### **4.2. Choix des itinéraires**

Le modèle du chapitre 3 se limite à deux routes ou faisceaux de voies tracés dans un même corridor et ne donne aux conducteurs à choisir qu'entre ces deux routes ou faisceaux de voies. D'autres routes seront toutefois souvent envisageables. La relégation des camions sur certaines voies et/ou leur soumission au paiement de péages lourds pourrait avoir pour inconvénient d'orienter les routiers vers des routes secondaires ou des voiries urbaines qui ne sont pas conçues pour accueillir des poids lourds et où la congestion, les accidents et les nuisances environnementales sont plus graves. La taxe allemande sur les poids lourds n'a pas engendré de forts transferts de trafic, parce que beaucoup d'itinéraires alternatifs potentiels sont fermés aux camions (Broaddus et Gertz, 2008) et que plusieurs autoroutes, comme au demeurant bon nombre de celles d'Atlanta, n'ont pas de bons itinéraires « bis » de délestage (Chu et Meyer, 2008). Les transferts de trafic posent toutefois problème dans certains pays tels que la France. Le prélèvement de péages sur des routes que d'autres routes gratuites peuvent remplacer ou compléter est un problème classique de tarification qui oblige à se rabattre sur l'optimum de second rang. Il postule la collecte de données détaillées sur la demande de mobilité et les coûts même sur les réseaux routiers simples et la fixation des péages à des niveaux sub-optimaux peut avoir des conséquences sérieuses<sup>12</sup>.

#### **4.3. Horaire des déplacements**

Le modèle du chapitre 3 est statique et pose implicitement en hypothèse que les voitures et les camions circulent en même temps. Étant donné que ces véhicules peuvent circuler sur les mêmes routes à des moments différents, il peut ne pas être nécessaire d'affecter des infrastructures aux voitures et aux camions pour les séparer. Les flux de trafic voyageurs et marchandises s'inscrivent dans des structures chronologiques quotidiennes et hebdomadaires différentes (Rakha *et al.*, 2005) et les routiers préfèrent naturellement éviter les périodes de migrations alternantes (Fischer *et al.*, 2003). Les heures pendant lesquelles les routiers peuvent rouler sont toutefois limitées par les règles qui régissent les heures d'ouverture des entreprises, les horaires de travail des terminaux maritimes, les couvre-feux locaux et les horaires de travail négociés avec les organisations syndicales.

Les plages horaires pendant lesquelles les camions peuvent effectuer des livraisons dépendent aussi dans une large mesure des horaires des chargeurs (Vilain et Wolfrom, 2001). La gestion des stocks en flux tendus veut que les marchandises soient livrées en temps et en heure et certaines

marchandises sensibles au temps, notamment celles qui sont véhiculées par les services express, ne souffrent aucun retard de livraison. Beaucoup de destinataires qui se conforment à des horaires de travail normaux devraient s'accommoder d'une augmentation de leurs coûts de main-d'œuvre s'ils acceptaient de se faire livrer en dehors des heures normales et la somme de ces surcoûts pourrait encore être amplifiée du fait que beaucoup de camionneurs livrent plusieurs clients par tournée (Holguin-Veras, 2005). L'élasticité des prix en fonction de l'heure de la journée est donc moindre pour les camions que pour les voitures. C'est ainsi que l'instauration en 1991, par les autorités des ports de New York et du New Jersey, d'une taxe anti-congestion frappant les camions qui s'y présentaient pendant les heures de pointe n'a conduit que 6 pour cent des camionneurs à rouler pendant les heures creuses. Deux tiers des camionneurs qui ont continué à travailler pendant les heures de pointe excipent des horaires de travail des chargeurs pour justifier leur décision (Congressional Budget Office, 2009). Tillema *et al.* (2008) font état de conclusions analogues d'une enquête menée auprès de firmes néerlandaises. Il en ressort que les possibilités de séparation chronologique des voitures et des camions sont assez limitées.

#### **4.4. Type de véhicule, logistique et implantation**

La plupart des entreprises de transport de marchandises par route ne seraient guère tentées de modifier leur parc, si leurs camions devaient circuler sur des infrastructures particulières ou acquitter des péages dans certains corridors. L'utilisation de grands véhicules articulés pourrait toutefois être source de gains de productivité considérables sur les réseaux régionaux ou nationaux (Samuel *et al.*, 2002). Le système suisse de taxation des poids lourds instauré en 2001 qui s'applique sur toutes les routes a eu un impact profond sur le nombre de camions et induit la mise en circulation de véhicules plus grands et plus lourds (Broaddus et Gertz, 2008). La taxe allemande sur les poids lourds, qui varie selon les catégories d'émission, a induit la mise en circulation de véhicules plus écologiques et débouché sur une nette diminution du nombre de déplacements à vide. Si les péages et la réservation future de certaines infrastructures aux seuls camions pouvaient contribuer à réduire les pertes de temps imputables à la congestion, les entreprises de transport de marchandises pourraient effectuer avec chacun de leurs véhicules un plus grand nombre de livraisons quotidiennes et auraient besoin de moins de camions pour exercer leurs activités (Hensher et Puckett, 2008).

Les entreprises pourraient aussi, à long terme, réagir à la création d'équipements réservés aux camions et à la taxation de ces camions en déménageant et en installant des terminaux ailleurs. Ces changements pourraient influencer sur l'accès de ces entreprises à leurs fournisseurs, leurs clients et leur main-d'œuvre et induire encore d'autres changements de lieu d'implantation (Tillema *et al.*, 2008). L'ampleur possible de ces changements reste mal connue, de même que leur incidence sur la circulation des camions (Roorda *et al.*, 2009). Tant que l'optimum se maintient ailleurs, ces complications n'enlèvent toutefois rien à la validité de l'analyse des quantités données de déplacements de camions et de voitures proposée dans le chapitre 3.

## 5. CONCLUSIONS

Il a été proposé de réserver certaines voies ou routes aux camions pour réduire la congestion routière, améliorer la sécurité et réduire les externalités de la circulation. La présente étude s'intéresse aux avantages que la séparation des voitures et des camions peut présenter avec des infrastructures routières et des coûts d'exploitation donnés. Comme il n'a pas encore été construit d'infrastructures réservées aux camions, rien ne peut encore se savoir de ce qu'elles apportent à l'exploitation et à la sécurité. Diverses études traitant des trafics hétérogènes, des interdictions d'accès à certaines voies et de la différenciation des limitations de vitesse donnent néanmoins quelque idée des avantages et inconvénients de la séparation des voitures et des camions. Les conclusions, divergentes, d'études américaines donnent à penser que l'impact de la séparation est fonction du nombre de voitures et de camions, de la nature des routes et du relief, de la localisation des voies réservées sur les routes multivoies et d'autres facteurs.

Un modèle économique simple dans lequel les automobilistes et les camionneurs ont à choisir entre deux voies ou routes a été utilisé pour montrer quand il est avantageux de séparer les véhicules. Les routes peuvent différer en termes de coûts (propres et croisés) fixes, environnementaux et externes et chaque différence peut fausser la répartition d'équilibre non réglementée du trafic entre les routes. Si les coûts externes dont les voitures grèvent les camions diffèrent des coûts externes dont les camions grèvent les voitures, il est indiqué de séparer partiellement ou totalement les voitures des camions. La répartition optimale peut être décentralisée en faisant varier les péages par type de véhicule et par route. Les interdictions d'accès à certaines voies sont moins souples et pourraient, eu égard à l'indivisibilité des capacités, ne pas se justifier. C'est ainsi que la réservation d'une voie aux camions ne présentera vraisemblablement pas un rapport coût/efficacité satisfaisant, si les camions ne représentent qu'une fraction minime du trafic total. Les voies à péage, solution hybride mariant l'interdiction d'accès à certaines voies à la perception de péages, donnent dans l'ensemble de meilleurs résultats, parce qu'elles offrent la possibilité de procéder à un contrôle continu plutôt qu'au coup par coup.

Les progrès des technologies du transport routier et divers autres changements peuvent renforcer ou affaiblir le bilan économique des infrastructures réservées. Dans la plupart des pays développés, le trafic routier de marchandises augmente plus rapidement que le trafic voyageurs et cette évolution ajoute à l'intérêt économique de la construction de nouvelles infrastructures réservées aux camions ou à la réservation de certaines voies de routes existantes aux véhicules lourds. L'amélioration continue de la sécurité des véhicules pourrait toutefois faire baisser le taux d'accidents et atténuer la menace que les camions font planer sur la sécurité des voitures. A long terme, les routes automatisées pourraient amplifier de façon radicale la capacité des routes et réduire à la fois la congestion et les accidents<sup>13</sup>.

Il convient aussi de prendre en compte que toutes les voitures et tous les camions pourraient être soumis dès ces prochaines années à un système de tarification de l'usage des infrastructures routières. L'Allemagne use de technologies satellitaires pour taxer les poids lourds qui circulent sur les autoroutes fédérales et pourrait étendre le système aux autres routes, aux utilitaires légers et aux

véhicules affectés au transport de voyageurs. En 2008, le Parlement néerlandais a approuvé la mise en œuvre d'un système national de tarification au kilomètre qui fait varier les montants dus par les voitures et les camions en fonction de l'heure de la journée et des émissions des véhicules. La technologie, qui devrait permettre de faire varier les droits à acquitter en fonction du type de véhicule, de la voie empruntée, de l'heure de la journée et des conditions de circulation, est de nature à faciliter la séparation des véhicules par voie de perception de péages, comme le propose le présent rapport.

## NOTES

1. Les véhicules affectés au transport de personnes vont des petites voitures électriques aux gros tout-terrain, camionnettes et autres pick-up et diffèrent considérablement les uns des autres. Les véhicules affectés au transport de marchandises sont encore plus différents. Les termes génériques de « voiture » et « camion » sont utilisés ici pour des raisons de simplification.
2. Les *légers* et les *lourds* correspondent aux voitures et aux camions dont il est question ailleurs dans la présente étude.
3. Beaucoup d'auteurs, dont Verhoef *et al.* (1996), ont conscience de cette préférence.
4. Voir proposition 3 *in* De Palma *et al.* (2008). La constatation reste valable si la demande de mobilité est élastique. Les péages n'internalisant toutefois pas des paramètres tels que la vitesse de conduite et les changements de voies, les limitations de vitesse et les autres règles conservent donc un rôle à jouer dans le contrôle de ces facettes du comportement des conducteurs.
5. Voir De Palma *et al.* (2008), proposition 5.
6. Voir De Palma *et al.* (2008), propositions 6 et 7.
7. Voir pour plus de précisions De Palma *et al.* (2008), chapitres 3 et 4.
8. De Palma *et al.* (2008) évoquent d'autres structures plus complexes de répartition.
9. Small et Verhoef (2007) et Intervistas Consulting Inc. (2008) proposent des études bibliographiques récentes de la question.
10. Dans le transport de marchandises, la valeur moyenne du temps pourrait augmenter avec la distance, parce que beaucoup de camions ont deux chauffeurs.
11. L'information est tirée de Congressional Budget Office (2009, Figure I-1).
12. Voir Small et Verhoef (2007, section 4.2).
13. Le fait que les routes automatisées « fonctionneraient » mieux avec des véhicules homogènes plaide en faveur, plutôt qu'en défaveur, de la séparation des véhicules.

## BIBLIOGRAPHIE

- Adelakun, A. et C. Cherry (2009), “*Exploring truck driver perceptions and preferences: Congestion and conflict, managed lanes, and tolls*”, 88<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C. Conference CD Paper No. 09-1324.
- Administration fédérale des routes, (2009), *Technologies That Complement Congestion Pricing - A Primer* ([www.ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08043/cp\\_prim3\\_00.htm](http://www.ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08043/cp_prim3_00.htm), site consulté de 21 avril 2009).
- Arup (2003), *Frameworks for modeling the variability of journey times on the highway network*. Londres: Arup. [Cité dans Institute for Transport Studies (2008, p.51)].
- Broadbuss, A. et C. Gertz (2008), “*Tolling heavy goods vehicles: Overview of European practice and lessons from German experience*”, Transportation Research Record 2066, 106-113.
- Cambridge Systematics (2005), *Traffic Congestion and Reliability: Trends and Advanced Strategies for Congestion Mitigation*, rapport destiné au Ministère Fédéral des Transports, Administration Fédérale des Routes, 1er septembre.
- Chorus, C.G. et H.J.P. Timmermans (2008), “*Personal Intelligent Travel Assistants*”, forthcoming in A. de Palma, R. Lindsey, E. Quinet et R. Vickerman, eds., Handbook in Transport Economics, Edward Elgar.
- Chu, H-C. et M.D. Meyer (2008), “*Screening process for identifying potential truck-only toll lanes in a metropolitan area*”, Transportation Research Record 206, 79-89.
- Congressional Budget Office (2009), *Using pricing to reduce traffic congestion*, Mars.
- Dahlgren, J. (1998), “*High occupancy vehicle lanes: Not always more effective than general purpose lanes*”, Transportation Research Part A 32(2), 99-114.
- Demarchi, S.H. et J. R. Setti (2003), “*Limitations of passenger- car equivalent derivation for traffic streams with more than one truck type*”, Transportation Research Record 1852, Paper No. 03-3496, 96-104.
- De Palma, A., M. Kilani et R. Lindsey (2008), “*The merits of separating cars and trucks*”, Journal of Urban Economics 64(2), 340–361.
- Fischer, M.J., D.N. Ahanotu et J.M. Waliszewski (2003), “*Planning truck-only lanes: Emerging lessons from the Southern California Experience*”, 82<sup>nd</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, Conference CD Paper No. 002048.

- Garber, N.J. et Q. Liu (2007), “*Identifying impact of truck-lane restriction strategies on safety by using simulation*”, 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., Conference CD Paper No. 07-0885.
- Golob, T.F. et A.C. Regan (2004) “*Traffic conditions and truck accidents on urban freeways*”, UCI-ITS-WP-04-3, July ([www.its.uci.edu/its/publications/its.html](http://www.its.uci.edu/its/publications/its.html), accessed May 30, 2008).
- Harkey, D.L. et R. Mera (1994), *Safety impacts of different speed limits on cars and trucks: Final Report*, Report No. FHWA-RD-93-161, Federal Highway Administration.
- Hensher, D. et S. Puckett (2008), “*Behavioural responses of freight transporters and shippers to road-user charging schemes: An empirical assessment*”, in E.T. Verhoef, M. Bliemer, L. Steg et B. van Wee, eds., *Pricing in Road Transport: A Multi-disciplinary Perspective*, Cheltenham, UK; Northampton, MA: Edward Elgar, pp. 29-62.
- Holguín-Veras, J. (2007), “*Necessary conditions for off-hour deliveries and the effectiveness of urban freight road pricing and alternative financial policies in competitive markets*”, *Transportation Research Part A*, doi:10.1016/j.tra.2007.10.008.
- Holguín-Veras, J., D. Sackey, S. Hussain et V. Ochieng (2003), “*Economic and financial feasibility of truck toll lanes*”, *Transportation Research Record* 1833, 66-72.
- Institute for Transport Studies, University of Leeds, Imperial College and John Bates Services (2008), *Multimodal Travel Time Variability: Final Report*, November 11, 2008 ([www.dft.gov.uk/pgr/economics/rdg/jtv/](http://www.dft.gov.uk/pgr/economics/rdg/jtv/), consulté le 28 avril 2009).
- InterVISTAS Consulting Inc. (2008), *Value of Time and Reliability for Local Trips in Canada*, rapport final destiné à Transports Canada, mars 2008.
- Kawamura, K. (2000), “*Perceived value of time for truck operators*”, *Transportation Research Record* 1725, 31-36.
- Killough, K. (2008), “*Value analysis of truck toll lanes in Southern California*”, 87<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C. Conference CD Paper No. 08-0140.
- Ministère des Transports de Californie (2008), *Evaluating the effectiveness of various truck lane restriction practices in Florida: Phase II*, BD543-10 (1/08) ([http://www.dot.state.fl.us/research-center/Completed\\_Proj/Summary\\_TE/FDOT\\_BD543\\_10.pdf](http://www.dot.state.fl.us/research-center/Completed_Proj/Summary_TE/FDOT_BD543_10.pdf), site consulté le 20 février 2009).
- Peeta, S., W. Zhou et P. Zhang (2004), “*Modeling and mitigating of car-truck intersections on freeways*”, *Transportation Research Record* 1899, 117-126.
- Poole, R.W. (2007), *Miami Toll Truckway: Preliminary Feasibility Study*, Reason Foundation Policy Study 365, November 1, 2007 (<http://reason.org/areas/topic/319.html>, accessed June 13, 2009).
- Rakha, H., A.M. Flintsch, K. Ahn, I. El-Shawarby et M. Arafah (2005), “*Evaluating alternative truck management strategies along I-81*”, *Transportation Research Record* 1925, 76-86.

- Reich, S., J. Davis, M. Catalá, A. Ferraro et S. Concas (2002), *The potential for reserved truck lanes and truckways in Florida*, Center for Urban Transportation Research, University of South Florida.
- Roorda, M., R. Cavalcante, H. Abdelgawad, B. Abdulhai et C. Woudsma (2009), “*Exclusive truck facilities in the Toronto area: Rationale and model development*”, Proceedings of the 44<sup>th</sup> Annual Conference of the Canadian Transportation Research Forum, Victoria, 24-27 mai.
- Samuel, P., R.W. Poole Jr. et J. Holguín-Veras (2002), *Toll truckways: A new path toward safer and more efficient freight transportation*, Reason Public Policy Institute ([www.rppi.org](http://www.rppi.org)).
- Service d’audit, d’évaluation et d’enquête du Congrès américain (2008), *Approaches to Mitigate Freight Congestion*, GAO-09-163R, Washington D.C., November 20. ([www.gao.gov/new.items/d09163r.pdf](http://www.gao.gov/new.items/d09163r.pdf), consulté le 25 novembre 2008).
- Siuhi, S. et R. Mussa (2007), “*Simulation analysis of truck-restricted and high-occupancy vehicle lanes*”, *Transportation Research Record* 2012, 127-133.
- Small, K.A. (1983), “*Bus priority and congestion pricing on urban expressways*”, in T.E. Keeler, ed., *Research in Transportation Economics* 1, JAI Press, Greenwich, Conn., pp. 27-74.
- Small, K.A., et E.T. Verhoef (2007), *The Economics of Urban Transportation*, Second Edition, Routledge, Londres et New York.
- Stanley, J. (2009), “*Passenger car equivalents of trucks under lane restriction and differential speed limit policies on four lane freeways*”, thesis submitted to the Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, May (<http://etd.lsu.edu/docs/available/etd-01212009-023639/unrestricted/stanleythesis.pdf>, consulté le 23 mai 2009).
- Tillema, T., B. van Wee, J. Rouwendal et J. van Ommeren (2008), “*Firms: Changes in trip patterns, product prices, locations and in the human resource policy due to road pricing*”, in E.T. Verhoef, M. Bliemer, L. Steg et B. van Wee, eds., *Pricing in Road Transport: A Multi-disciplinary Perspective*, Cheltenham, UK; Northampton, MA: Edward Elgar, pp. 106-127.
- Transportation Research Board (2003), *Freight capacity for the 21st century*.
- Verhoef, E.T., P. Nijkamp et P. Rietveld (1996), “*Second-best congestion pricing*”, *Journal of Urban Economics* 40(3), 279-302.
- Vilain, P. et P. Wolfrom (2001), “*Value pricing and freight traffic: Issues and industry constraints in shifting from peak to off-peak movements*”, *Transportation Research Record* 1707, 64-72.
- Yoo, H. et P. Green (1999), “*Driver behavior while following cars, trucks, and buses*”, [www.umich.edu/~driving/publications/UMTRI-99-14.pdf](http://www.umich.edu/~driving/publications/UMTRI-99-14.pdf), consulté le 30 mai 2009).
- Yun, S., W.W. White, D.R. Lamb et Y. Wu (2005), “*Accounting for the impact of heavy truck traffic in volume/delay functions within transportation planning models*”, 84<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, Conference CD Paper No. 05-2163.

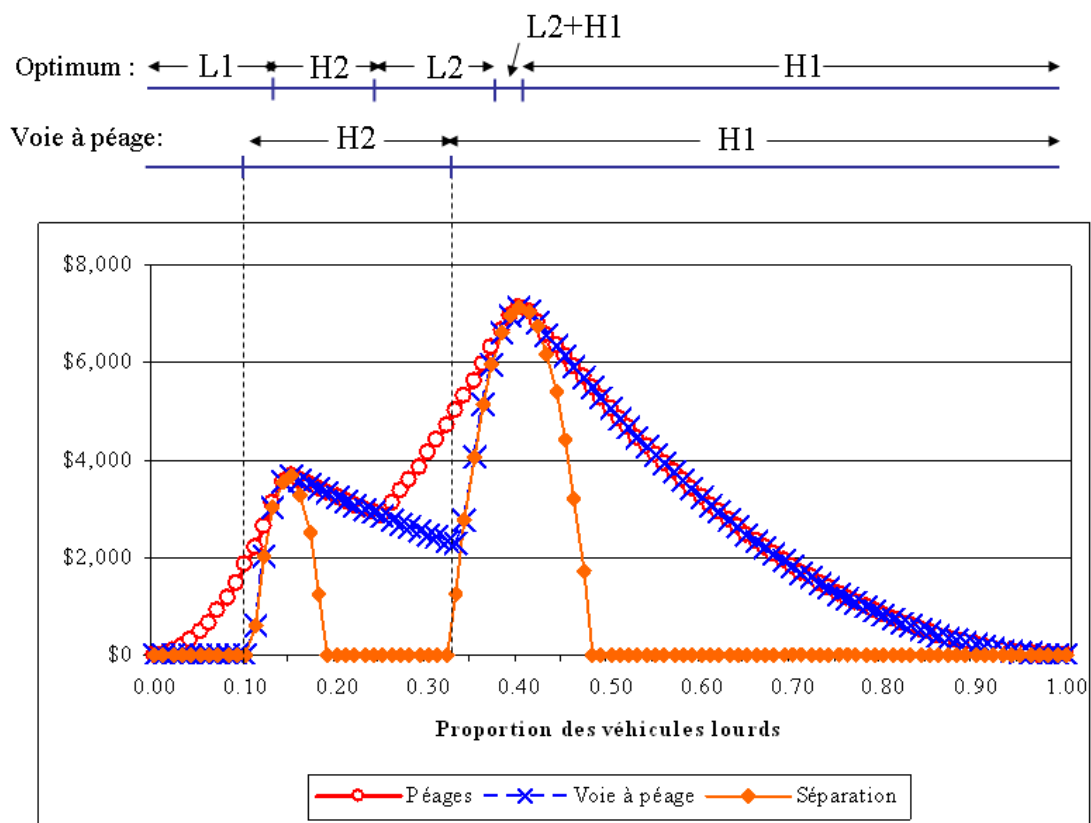
## TABLEAU ET FIGURES

Tableau 1. Valeur des paramètres de base

	Route 1	Route 2
Capacité	4 000 UVP/heure	2 000 UVP/heure
Limitation de vitesse	104 km/h	104 km/h
Longueur	52 km	52 km
Nombre de déplacements		40 000
Proportion des <i>véhicules lourds</i>		de 0 à 100 %
Coûts de la mobilité		
Coûts fixes	0.194 USD/mille	0.42 USD/mille
Valeur du temps	12 USD/heure	variable
UVP congestion pour <i>véhicules lourds</i> ( $UVP_{cong}$ )		2
Impact relatif des <i>véhicules lourds</i> sur les <i>véhicules légers</i> ( $\lambda_H^L$ )	1	
UCP accidents pour les <i>véhicules lourds</i> ( $UVP_{acc}$ )		0.75
Risque relatif d'accident pour les <i>véhicules légers</i> ( $\phi_H^L$ )	1	
Coût relatif des accidents pour les <i>véhicules lourds</i>		1
Coûts environnementaux	0.0223/mille	0.2153 USD/mille

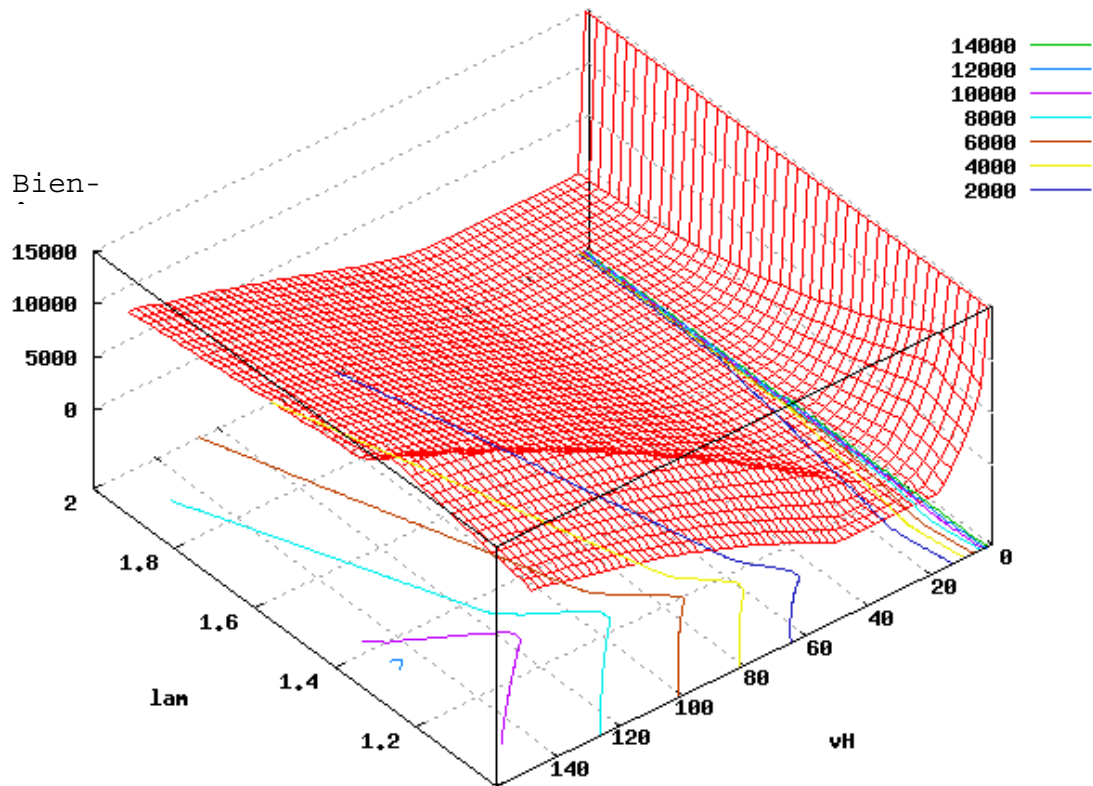
Source : De Palma *et al.* (2008, Tableau 1).

Figure 1. Variation des avantages procurés par les péages, la voie à péage et la séparation en fonction de la proportion des véhicules lourds



Source : calculs de l'auteur.

Figure 2. Rapport entre les avantages procurés par l'intervention, la valeur du temps pour les véhicules lourds et l'impact relatif des véhicules légers (20 pour cent de véhicules lourds)



Source : De Palma *et al.* (2008, Figure 3).