



HAL
open science

Transport de marchandises en ville et facteur 4 : quelles stratégies d’approvisionnement des ménages ?

Christian Ambrosini, Jesus Gonzalez-Feliu, Jean-Louis Routhier

► To cite this version:

Christian Ambrosini, Jesus Gonzalez-Feliu, Jean-Louis Routhier. Transport de marchandises en ville et facteur 4 : quelles stratégies d’approvisionnement des ménages ?. 2ème Journée de Recherche ”Mobilité, Transport et Logistique”, Jun 2010, Lyon, France. halshs-00852292

HAL Id: halshs-00852292

<https://shs.hal.science/halshs-00852292>

Submitted on 20 Aug 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Transport de marchandises en ville et facteur 4 : quelles stratégies d'approvisionnement des ménages ?

Christian Ambrosini, Jesus Gonzalez-Feliu, Jean-Louis Routhier

Laboratoire d'Économie des Transports, 14 Avenue Berthelot, 69007 Lyon (France)

jesus.gonzales-feliu@let.ish-lyon.cnrs.fr

christian.ambrosini@let.ish-lyon.cnrs.fr

jean-louis.routhier@let.ish-lyon.cnrs.fr

Résumé

Cette communication a pour objet de proposer les résultats d'une simulation de l'application de différents scénarios d'évolution de la ville, visant à réduire des trois quarts l'impact des échanges de biens dans la ville sur la production de gaz à effet de serre. Les scénarios proposés sont construits sur la base d'un état de l'art qui associe les éléments relatifs aux travaux de prospective effectués récemment sur le système de transport de la ville en France et en Europe et sur les résultats empiriques (enquêtes, travaux de modélisation). Il en ressort un ensemble de déterminants pertinents des changements potentiels dans la formation des flux de marchandises dans la ville. Partant du constat que plus de la moitié des véhicules-km équivalents voitures particulières, générés par le transport de marchandises sont le fait des particuliers réalisant leurs achats en voiture (Patier, Routhier, 1998), les scénarios obtenus sont dessinés suivant une approche systémique de la mobilité urbaine (des biens et des personnes). Ils allient des aspects organisationnels (changements du système de transport des marchandises dans la ville) et des aspects d'aménagement et d'usage des sols, notamment les générateurs de flux (industries, entrepôts, commerces, ménages). Les calculs qui permettent de mesurer les impacts de ces scénarios sur la production de gaz à effet de serre sont effectués à l'aide d'un modèle qui combine d'une part les activités économiques productrices et les déplacements d'achats des ménages (Routhier, Toilier, 2007 ; Gonzalez-Feliu et al., 2009). Il ressort de cet exercice que les modifications en termes d'organisation s'avèrent être un complément indispensable à une politique de densification du tissu urbain.

1. Introduction

La principale conclusion du comité intergouvernemental sur le changement climatique (IPCC, 2006) est que les pays industrialisés doivent réduire leurs émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050 de manière très substantielle. À l'heure actuelle, dans ces pays, on observe que si les émissions de gaz à effet de serre d'origine industrielle sont à peu près stabilisées, celles qui concernent les logements et des transports sont toujours en augmentation. À cet égard, plusieurs pays européens se sont déjà fixé des objectifs à long terme pour inverser la tendance. Ainsi, Kawase *et al.* (2006) indique que le Royaume-Uni cherche à atteindre l'objectif d'une réduction de 60 % des émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2050, de 75 %

en France et de 80 % en Allemagne et aux Pays-Bas. Comme le précise Lopez-Ruiz (2008), l'objectif français prend le nom de "facteur 4".

Bien qu'il existe déjà de nombreuses études relatives à la réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le domaine des transports, celles-là concernent essentiellement les transports de personnes et les transports interurbains de marchandises (Enerdata, 1999; Crozet *et al.*, 2001; Banister et Hickman, 2005; Criqui et Allaire, 2007; Bristow *et al.*, 2008; Crozet *et al.*, 2008; Crozet et Lopez-Ruiz, 2009a, 2009b). La contribution des mouvements de fret urbain à la pollution ne fait pas l'objet de développements particuliers. Ce papier se propose donc de combler cette lacune, en soulignant la spécificité des mouvements de fret dans les agglomérations urbaines, ainsi que celle des mesures qui peuvent être apportées à la résolution des dysfonctionnements occasionnés par ces mouvements. Pour nous (cf. Ségalou *et al.*, 2004), les TMV correspondent aux trois éléments suivants : - les déplacements inter et intra-entreprises, - les déplacements pour achats des ménages effectués en véhicules particuliers, - les autres mouvements de marchandises (déménagements, chantiers sur voiries, collecte des déchets, etc.). Selon cette définition des TMV, la contribution des déplacements urbains de marchandises aux émissions de gaz à effet de serre s'élève à 25 % du total des émissions générées par l'ensemble du secteur des transports urbains (Patier, 2002 ; Ségalou *et al.*, 2004).

Sur la base des résultats obtenus à partir de la mise en œuvre de différents outils (modèle Freturb, développé par le Laboratoire d'Économie des Transports (LET) ; différentes études françaises et européennes, portant sur l'évaluation de l'impact des innovations sur la réduction des émissions), nous nous proposons d'évaluer diverses mesures de politiques publiques à mettre en œuvre d'ici à 2050 dans le domaine des transports de marchandises en ville (TMV), pour lutter contre les émissions de gaz à effet de serre et notamment le CO₂.

2. LE CONTEXTE

Il est important, dès aujourd'hui, d'avoir une vision à long terme aussi claire et précise que possible de la situation, au regard des politiques qui doivent être mises en œuvre pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. En effet, les actions à entreprendre nécessitent un certain laps de temps avant qu'on puisse en appréhender concrètement tous les impacts, positifs et négatifs. Il peut en effet apparaître des conséquences inattendues, qui devront être éventuellement corrigées en temps réel. Par ailleurs, c'est souvent la combinaison de différents politiques qui fournira les solutions les plus efficaces, en générant des synergies efficaces. Tous ces éléments doivent être analysés, pesés et évalués de manière approfondie, afin d'apporter une aide efficace aux décideurs publics, en leur donnant des clés de compréhension cohérentes et appropriées sur ces questions de long terme.

À cet effet, la littérature scientifique propose deux catégories principales de techniques empiriques de recherche : d'une part l'approche prévisionnelle ("forecasting"), basée sur l'utilisation de séries chronologiques et très utilisée dans les études à court et moyen termes (cette méthode estime les tendances futures à partir des données actuelles disponibles), d'autre part l'approche "backcasting", qui ne cherche pas à simuler un futur tel qu'il devrait

probablement apparaître, mais analyse les conditions nécessaires pour qu'un futur désiré soit rendu possible (des situations hypothétiques sont envisagées et l'on recherche les mesures à prendre, ainsi que les actions à mettre en œuvre, pour rendre chaque scénario compatible avec la réalité).

C'est cette seconde approche qui est privilégiée par un certain nombre d'études méthodologiques récentes, en France et en Europe, visant à satisfaire les objectifs que se sont fixés les gouvernements pour réduire les émissions de gaz à effet de serre aux horizons 2020 ou 2050, dans l'optique d'un développement durable. Nous n'évoquerons brièvement ici que les travaux français de Crozet *et al.* (2001), Lopez-Ruiz (2009), Lopez-Ruiz et Crozet (2010). A noter qu'aucune étude française ou étrangère n'aborde le domaine des transports urbains de marchandises de manière spécifique.

En France, des scénarios à long terme (aux horizons 2020 et 2050) ont été élaborés selon les recommandations du "Groupe de Batz" (Crozet *et al.*, 2001). Ce groupe de chercheurs a présenté quatre scénarios extrêmes à l'horizon 2020, fondés sur l'idée que le travail de prospective envisagé n'était pas destiné à prédire l'avenir, mais à chercher à se doter d'un cadre d'intelligibilité, de façon à pouvoir mettre en lumière : - les mutations potentielles dans les contraintes qui pèsent sur la mobilité des biens et des personnes ; - les leviers sur lesquels les politiques publiques pourraient agir pour tenir compte de cette nouvelle donne. Hypothèse est posée que les questions infrastructurelles et environnementales vont gagner en importance à l'horizon 2020, de telle sorte qu'il sera impossible de les résoudre en conservant les tendances passées. Des réorientations majeures seront nécessaires. Le tableau suivant donne les grandes lignes, caricaturales, de futurs possibles à l'horizon 2020.

Les différents scénarios résumés dans le tableau 1 sont caricaturaux. Ils forcent volontairement le trait par rapport à des politiques réelles de mobilité urbaine. Au-delà de combinaisons entre les objectifs et moyens, ces scénarios s'efforcent de présenter des conceptions alternatives de l'action publique, chacun d'eux étant fondé sur des concepts caractéristiques des sociétés modernes.

Tableau 1 – Structure de base des quatre scénarios des politiques de la mobilité à l'horizon 2020.

Programmes (<i>policy</i>) Choix collectifs (<i>politics</i>)	Recours aux et à des processus collectifs de régulation	préférentiels organisations	Recours aux et à des individuelles	préférentiels marchés incitations
Maintien (ou croissance) de la mobilité des personnes et des marchandises	Scénario 1: "volontarisme technologique" (<i>homo technicus</i>).		Scénario 2: "connaissance des coûts et vérités des prix" (<i>homo oeconomicus</i>).	
Recherche d'une réduction de la mobilité des personnes	Scénario 4: "maîtrise de la mobilité par une transaction urbaine"		Scénario 3: "maîtrise de la mobilité par des transactions privées"	

et des marchandises	(<i>homo politicus</i>).	(<i>homo contractor</i>).
---------------------	----------------------------	-----------------------------

Source : Crozet *et al.*, 2001

Le scénario 1 correspond à peu près à un fil de l'eau : le développement des techniques est censé permettre la résolution des conflits économiques, environnementaux et sociaux. Dans le scénario 2, l'accent est mis sur le signal prix et sur la vérité des prix pour amener une modification des comportements des agents économiques (incitations individuelles). À strictement parler cependant, ce scénario n'est pas purement orienté marché, en ceci qu'il fait intervenir l'État de manière importante dans la détermination des coûts et des modes de tarification. Le scénario 3 se réfère aux droits de propriété (au sens de Coase), plus qu'à la tarification, pour orienter les comportements individuels et collectifs des agents de manière plus efficiente. Face à une pénurie de sources énergétiques, conduisant à une réduction de la mobilité, ce scénario s'oriente délibérément vers la mise en œuvre d'un marché des droits à circuler. Dans le scénario 4 enfin, c'est le levier politique qui est mis en avant. Dans le cas où il faudrait réduire la mobilité générale, ce scénario privilégie une voie collective de régulation, en cela que choisir une certaine forme de mobilité, c'est choisir une certaine forme de consensus social, à même de déboucher sur une dynamique collective donnée.

Après avoir précisé les références et les interdits (c'est-à-dire ce qui apparaît comme étant inacceptable ou hors de propos dans un scénario donné) de chacun des quatre scénarios, les auteurs proposent un scénario (*homo civis*) assez proche du scénario 4. L'objectif de ce scénario invite à une réflexion stratégique sur les leviers les plus efficaces de l'action publique et de l'initiative privée en vue d'une mobilité durable. Les innovations sociale, technique, organisationnelle et politique reposent sur l'appropriation des nouvelles technologies par le plus grand nombre, dans la mesure où, selon les auteurs, les individus sont dotés d'une compétence politique qui leur faire prendre en compte les effets collectifs de leurs choix individuels.

C'est à partir de ce cadre conceptuel qu'une application réaliste a été développée (Lopez-Ruiz, 2008; Crozet *et al.*, 2008; Lopez-Ruiz, 2009), pour proposer trois scénarios volontaristes à l'horizon 2050. Le premier d'entre eux (*Pegase*), a été construit dans la perspective d'un certain volontarisme technologique : s'il ne remet pas en question et grandes tendances des comportements à long terme en matière de choix modal, il introduit cependant l'hypothèse d'un usage important de véhicules motorisés plus respectueux de l'environnement que ceux d'aujourd'hui. Les deuxième (*Chronos*) et troisième (*Hestia*) scénarios trouvent leur fondement dans une maîtrise de la mobilité, assurée par des politiques réglementaires et incitatives (Crozet *et al.*, 2008; Lopez-Ruiz, 2009; Lopez-Ruiz and Crozet, 2010). Ainsi, dans le scénario *Chronos*, l'usage de modes moins rapides mais aussi moins polluants est amplifié au moyen de réglementations appropriées. Toutefois, les tendances à l'étalement urbain ne sont pas modifiées. Ces dernières le sont dans le scénario *Hestia* : les distances parcourues sont contenues, voire réduites, dans la logique d'une maîtrise de l'expansion des espaces urbains. Les trois scénarios sont appliqués aux transports de voyageurs comme aux transports de marchandises. Leurs résultats, comparés à une situation au fil de l'eau, sont établis à partir du modèle TILT (Transportation Issues over Long-Term, Lopez-Ruiz, 2009). Il s'agit d'un

modèle macroscopique d'équilibre à long terme. Dans une logique "backcasting", il combine une structure macro-économique et une structure micro-économique, dans lesquelles sont prises en compte les nouvelles technologies relatives aux moteurs des véhicules. La sensibilité du modèle et l'estimation des impacts de différentes mesures sont assurées par cinq modules, fonctionnels à des échelles géographiques différentes (urbaine, régionale et interrégionale) :

- Un module macro-économique, basé sur une refondation des structures de modélisation relatives au couplage énergie-environnement, en vue d'estimer correctement à long terme les évolutions démographiques, ainsi que les préférences sociales et culturelles associées aux besoins de transport.
- Un module micro-économique, fondé sur des choix discrets, visant à rendre compte de l'évolution de la demande, incluant les coûts de transport, la capacité des infrastructures et la qualité des services, de façon à pouvoir estimer les changements intervenus dans les choix des agents en matière de transport.
- Un module relatif aux évolutions dynamique et technologique d'une flotte de véhicules, destiné à analyser l'impact technologique et basé sur des probabilités de pénétration sur les marchés, ainsi que sur des taux de survie des véhicules associés à des technologies de moteurs différentes et à des services de transport différents (route, rail, mer, air, voie d'eau).
- Un module politiques publiques, qui associe une analyse de sensibilité à une analyse multicritères, en vue d'offrir une estimation détaillée des effets des différentes mesures prises sur les émissions de CO₂.
- Un module d'évaluation des impacts, fondé sur une analyse d'équilibres entrées-sorties, détaillant les impacts des évolutions sur l'emploi et la production, secteur par secteur.

Ce modèle fonctionne sur des types de comportements définis, en vue de fournir des estimations de la demande, à partir des flux de trafic, eux-mêmes obtenus par macro-simulation. Différentes simulations effectuées montrent que le scénario *Pegase* ne permet pas d'atteindre le facteur 4, même si l'on peut noter une petite réduction des émissions de gaz à effet de serre. Les deux autres scénarios, qui simulent des tendances plus ou moins contraintes des comportements de mobilité, permettent d'atteindre le facteur 4 si l'on considère globalement les voyageurs et marchandises. Si l'on envisage seulement ces dernières, la réduction des émissions n'est que de 60 %. En prolongement de ces analyses, Crozet (2008) et Lopez-Ruiz et Crozet (2010) ont formulé des recommandations à destination des décideurs publics, en vue de la mise en œuvre de mesures permettant d'atteindre ces niveaux de réduction. Par ailleurs, de manière plus précise, des analyses ont été menées sur le transport interurbain de marchandises (Lopez-Ruiz, 2008) et sur le transport par rail (Crozet et Lopez-Ruiz, 2009a).

Les analyses précédentes mettent l'accent sur les éléments incontournables à prendre en compte pour élaborer des scénarios de transports durables crédibles, dans le contexte des transports urbains de marchandises. Les paramètres les plus importants sont associés aux hypothèses relatives aux sources d'énergie, aux améliorations technologiques, aux aspects organisationnels, à l'aménagement urbain et aux comportements des usagers qui en découlent.

3. la logistique urbaine et le facteur 4

Depuis le milieu des années 90, de nombreuses études ont traité de la question de la planification urbaine et des politiques menées en matière de logistique urbaine (Ruske, 1994; Dablanc, 1998; Taniguchi *et al.*, 2001; Ambrosini et Routhier, 2004; Rosini, 2005; Patier *et al.*, 2007; Bestufs, 2009; Patier *et al.*, 2009; Dablanc *et al.*, 2010). Ces études insistent notamment sur le rôle déterminant de - la localisation des activités économiques dans les agglomérations urbaines, - des stratégies d'offres commerciales et des politiques publiques, - de la logistique et des aspects organisationnels de l'offre urbaine, - du rôle des nouvelles technologies.

Par rapport au transport interurbain, le transport urbain de marchandises possède des éléments spécifiques : un très grand nombre d'opérateurs et une gestion particulière des chaînes logistiques (des véhicules de livraison très divers, des organisations en tournées et en traces directes, une large part de marché dévolue au compte propre, un nombre important de sous-traitants). Ces divers éléments expliquent le caractère onéreux des mouvements associés au dernier kilomètre, encore augmenté par la congestion, par les contraintes qui pèsent de plus en plus sur le partage de la voirie et par les nouvelles orientations des réglementations et des nouvelles politiques mises en œuvre par les pouvoirs publics locaux.

Il est important de préciser quelles sont, pour nous, les composantes du transport de marchandises en ville (TMV) :

- les flux de véhicules de livraisons desservant les établissements industriels, commerciaux et de services, ainsi que ceux des véhicules utilisés par les artisans. Ces flux représentent environ 40 % du trafic total marchandises en véhicules-km (équivalent-vp).

- les flux relatifs aux livraisons à domicile, ainsi que ceux qui résultent des achats des ménages en voiture particulière (environ 50 % du trafic total marchandises en véhicules-km).

- les flux de véhicules impliqués dans la gestion urbaine (bennes à ordures, services postaux, déménagements, mouvements hospitaliers, travaux de voirie et construction de bâtiments), soit environ 10 % du trafic total marchandises en véhicules-km.

Globalement, l'ensemble des trois types de flux de marchandises listés ci-dessus représente environ 20 % (en équivalent-vp) du trafic motorisé urbain total, ce qui correspond à peu près à 25 % des émissions de CO₂. Dans la suite, on considérera les deux premiers segments précédemment définis (environ 90 % du trafic total marchandises en véhicules-km), sur lequel seront effectuées diverses simulations.

Ségalo *et al.* (2004) ont constaté que les mouvements de marchandises en milieu urbain sont loin d'être tous réalisés par de gros camions. Ainsi en France, si l'on ne tient pas compte des déplacements des ménages pour achats en voiture particulière, environ 50 % des véhicules-kilomètres sont réalisés par des véhicules de plus de 3,5 t (Routhier *et al.*, 1996-99). Par ailleurs, les services statistiques du ministère des transports français (SES, 1999) indique qu'un tiers des véhicules commerciaux légers (moins de 3,5 t de charge utile) sont affectés à

un transport de marchandises régulier. Pour cette raison, il est essentiel d'identifier très précisément la contribution des flux urbains de marchandises à la génération du trafic, en utilisant des bases de données appropriées et pertinentes. La méthode présentée dans cet article est le prolongement d'une procédure d'acquisition de données mise en place en France depuis plusieurs années, en vue de réaliser un bilan environnemental complet des flux urbains de marchandises. Il s'agit d'un modèle opérationnel (policy-oriented) destiné à apporter une aide aux prises de décisions locales pour estimer la contribution de divers acteurs de la logistique urbaine, en matière de consommation d'énergie, de congestion et de préoccupations environnementales (pollution, gaz à effet de serre, bruit).

À l'heure actuelle, dans les villes (Ambrosini et Routhier, 2004), le type d'activité est significativement relié au mode de gestion, au mode d'organisation et à la taille des véhicules. La chaîne de transport est en connexion directe avec le mode de gestion et le type d'activité. En nombre de livraisons/enlèvements, les parts du compte propre et du compte d'autrui sont similaires. Les trois-quarts des livraisons/enlèvements sont effectués en tournées (un quart en traces directes, à savoir que le véhicule effectue un mouvement de A vers B, puis revient directement en A) ; dans le même temps, les trois-quarts des tournées ne comportent qu'un seul trajet (le véhicule effectue un mouvement de A vers B, puis de B vers C et revient en A). Environ 5 % des livraisons/enlèvements sont effectués par des véhicules de moins de 3,5 t. Par ailleurs, la distance moyenne parcourue dépend fortement du mode de gestion, ainsi que de la densité urbaine.

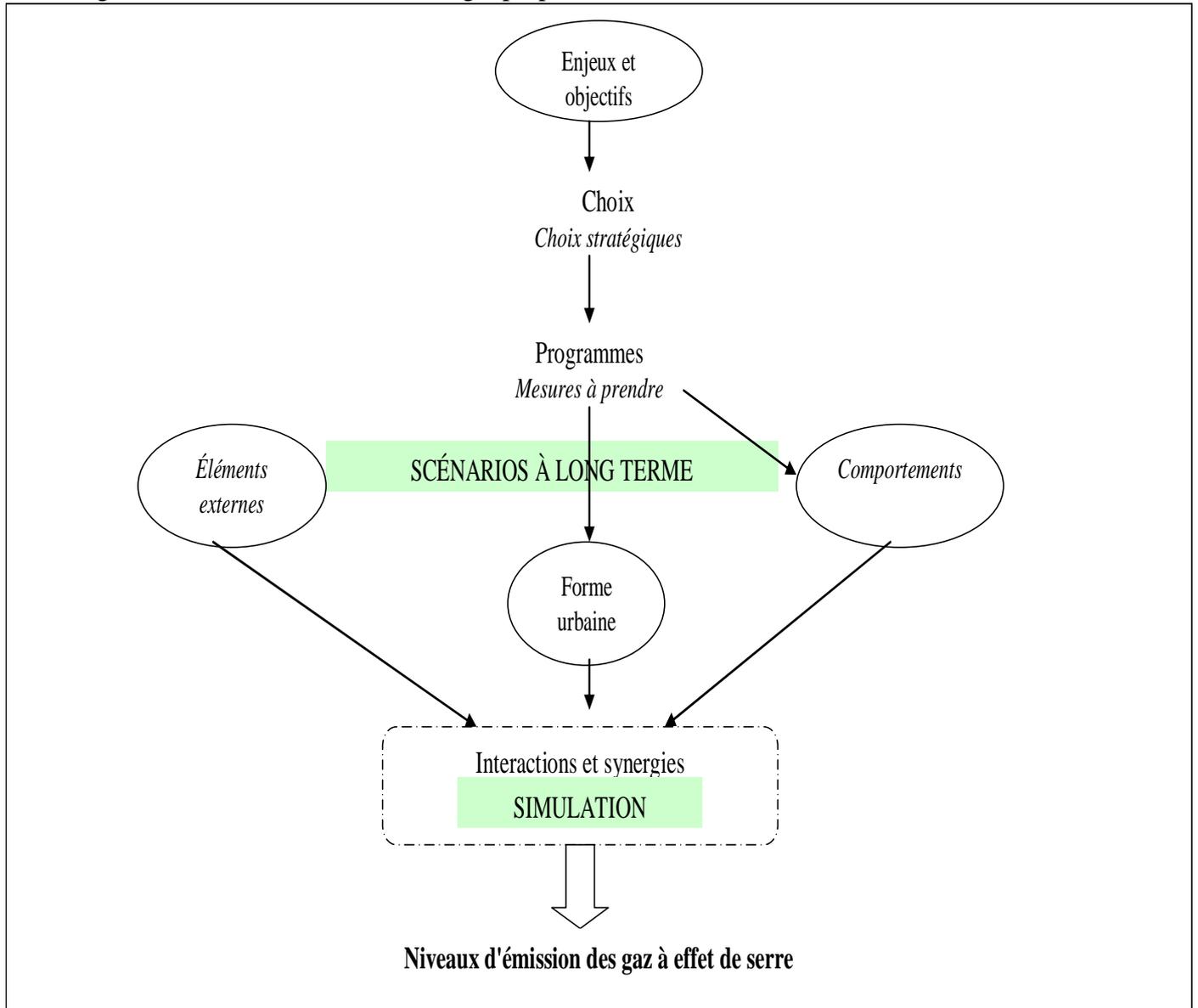
Différentes mesures peuvent être mises en œuvre pour tenter de modifier l'une ou l'autre des nombreuses organisations du transport urbain de fret, notamment l'organisation des tournées, dont l'efficacité peut encore être améliorée de manière appréciable. Il serait souhaitable de modifier les comportements des opérateurs en compte propre en vue de les orienter vers le compte d'autrui, mode de gestion plus efficient. À cet égard, un tel infléchissement devrait permettre une diminution du nombre de véhicules utilisés, ainsi qu'une baisse du nombre de kilomètres parcourus, induisant en cela une baisse des émissions polluantes.

4. La MÉTHODOLOGIE PROPOSÉE

Afin d'inclure les éléments spécifiques aux transports urbains de marchandises dans une analyse à long terme de l'évolution des émissions de gaz à effet de serre, nous proposons ici un cadre méthodologique adapté à l'élaboration d'un certain nombre de scénarios contrastés. Ce cadre correspond à la première étape d'une analyse de type backcasting et, pour cela, prend en considération les actions judicieuses à entreprendre à court terme, compte tenu des enjeux et objectifs affichés, ainsi que des programmes à mettre en œuvre.

À cet effet, la figure 1 présente, dans les grandes lignes, le processus de décision, replacé dans le contexte général d'un aménagement logistique urbain à long terme.

Figure 1 – Schéma de la méthodologie proposée



Cadre conceptuel de l'étude des transports urbains de marchandises à long terme

Les enjeux actuels sont à l'origine de la définition des principaux objectifs de l'analyse à long terme. Dans cette étude, nous fondons l'analyse sur la recherche du facteur 4, c'est-à-dire que pour satisfaire au protocole de Kyoto, la France s'est fixée comme objectif de réduire de 75 % les émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050. La principale question à élucider ici est de mesurer l'importance des transports de marchandises en ville au regard des autres sources d'émissions polluantes. Différentes orientations stratégiques sont possibles pour atteindre le but fixé. On peut distinguer :

- les actions sur le tissu urbain (localisation des entrepôts, des plates-formes, des hypers et supermarchés, des diverses activités industrielles et commerciales) ; les effets des hautes densités ;
- l'optimisation de la gestion des transports de marchandises (coopération et consolidation, emballage, camions complets, itinéraires, etc.), y compris les nouvelles localisations logistiques et l'utilisation des nouvelles technologies de l'information ;
- l'activité réglementaire des pouvoirs publics (péage urbain, incitation à des comportements "doux");
- le développement du e-commerce, des livraisons à domicile et en points relais ;
- le développement de véhicules "propres".

Dans le graphique, les éléments externes correspondent à ceux qui interagissent avec les mesures prises, mais dont les impacts ne peuvent être directement maîtrisés par les pouvoirs publics. Les plus importants d'entre ces éléments se rapportent au contexte économique et social, à tous les niveaux (mondial, européen, national, régional, locales, urbain et suburbain). On peut poser des hypothèses sur les tendances à long terme de ces éléments, mais il est difficile de donner des estimations correctes de ces tendances. En effet, concernant le contexte économique actuel, les fluctuations des prix du pétrole (Tremeac et Raux, 2009), la crise économique (Paché, 2009) et les nouvelles orientations de l'économie ont changé la donne, en modifiant substantiellement certaines tendances à moyen et long termes, il convient donc de prendre en compte avec prudence. Le contexte social, et plus précisément les réactions des agents économiques (ménages, entreprises) aux infléchissements requis par les nouvelles politiques mises en œuvre doivent également être analysés. Il en va en effet de la pertinence des scénarios, puisque ceux-ci sont élaborés en intégrant ces différents éléments de manière exogène. Les changements de comportement des agents doivent évidemment être pris en compte.

La forme urbaine correspond à la fois une configuration physique et à une configuration socio-économique de l'aire urbaine, considérée comme la résultante des choix et des trains de mesures envisagés. Elle comprend notamment les éléments suivants :

- les sources d'énergie et les technologies de motorisation ;
- les caractéristiques démographiques et socio-économiques de la population ;
- les caractéristiques démographiques et socio-économiques des activités économiques ;
- l'organisation et la gestion des agglomérations.

À partir des éléments listés ci-dessus, on peut élaborer différents scénarios, avant de les simuler. Évidemment, il faut s'attendre à des interactions et des synergies entre les principaux éléments de la forme urbaine. Les résultats de la simulation peuvent être progressivement améliorés grâce à une procédure itérative mettant à profit divers effets en retour.

Nous proposons une approche "backcasting", qui consiste à poser un certain nombre d'hypothèses, de façon à élaborer quelques scénarios qui seront ensuite simulés, en vue de faire émerger la meilleure configuration parmi celles qui auront été proposées. Ensuite, nous analyserons les actions possibles susceptibles de conduire à cette situation dans les faits.

Scenarios et hypothèses

Les scénarios que nous proposons ici sont les suivants :

S1 : scénario tendanciel (fil de l'eau), extrapolant les tendances actuelles (1999 and 2006) à l'horizon 2050 ;

S2 : scénario basé sur la localisation des activités commerciales. Nous posons l'hypothèse que la part des volumes fournis aux ménages par les hypermarchés, les supermarchés et les petits commerces de détail est similaire (soit un tiers chacun) ;

S3 : scénario basé sur l'organisation de l'offre commerciale. Nous posons l'hypothèse que la part du transport pour compte d'autrui passe de 45 % (aujourd'hui) à 75 % (en 2050) ;

S4 : scénario basé sur l'organisation des circuits de distribution des biens à destination des ménages. Nous posons l'hypothèse que la moitié des achats des ménages passe par le e-commerce ou les livraisons à domicile. Ce scénario comporte les deux composantes suivantes :

S4-1 : on conserve la distribution des activités proposée dans le scénario 1;

S4-2 : on conserve la distribution des activités proposée dans le scénario 2;

S5 : scénario mixte, basé sur une combinaison des hypothèses précédentes.

Scénario S1 : fil de l'eau

Les éléments suivants :, la démographie et les grandes tendances concernant les ménages d'une part, l'énergie et la technologie d'autre part, sont considérées comme exogènes.

La population est estimée à partir des prévisions du Grand Lyon (2006), soit un accroissement annuel de la population de 0,5 % dans l'aire urbaine de Lyon pour la prochaine décennie. Ensuite, cet accroissement se fait plus faible et la population totale de l'aire urbaine passe de 2 M d'habitants in 2006 à 2,3 M in 2050, tandis que le nombre de ménages augmente de 0,85 M à 1 M, si l'on pose l'hypothèse que le nombre de personnes par ménage reste le même pour une zone donnée. Le taux de motorisation des ménages (nombre de voitures par ménage) est donné par le Sytral (2006). La prévision de l'évolution démographique des activités économiques provient des résultats de l'étude de Routhier et al. (2009). Ce nombre de petits commerces reste similaire à celui de 2006 (mais le nombre d'employés croît proportionnellement à celui de la population totale), le nombre des autres magasins, ainsi que leurs taux d'emploi, s'accroît proportionnellement à l'ensemble de la population (Routhier et al., 2009).

Concernant les choix en matière de technologie et de consommation d'énergie, nous avons adapté les hypothèses proposées par Crozet et al. (2008) à la simulation des mouvements urbains de marchandises. Dans ce contexte, trois types de véhicules ont été pris en considération :

- Les voitures, lorsqu'elles servent aux déplacements pour achats, dont on suppose qu'elles procèdent des mêmes ratios que dans Crozet et al. (2008), c'est-à-dire 56 % de voitures hybrides diesel-électrique, 24 % de voitures hybrides essence-électrique et 20 % de voitures électriques.
- Les VUL (véhicules utilitaires légers), dont on suppose que le parc sera réparti en 20% de véhicules hybrides diesel-électrique and 80% de véhicules électriques.
- Les poids-lourds, composés à 100% de véhicules hybrides diesel-électrique.

On pose l'hypothèse que, pour chacune des catégories précédentes, les ratios sont atteints en 2050, après que les véhicules à moteur thermique auront été progressivement remplacés par des véhicules à moteur hybride.

Scénario S2 : localisation des activités commerciales

Il s'agit d'un scénario d'aménagement urbain particulier en matière de localisation des activités commerciales. Ce scénario est construit en modifiant le nombre et la localisation des commerces de détail en utilisant des tables d'équivalence (Henriot et Routhier, 2010), de telle façon qu'un tiers de la demande de fret (en tonnes) soit affectée à chaque type de commerce (petits commerces, supermarchés et hypermarchés). En 2006, les supermarchés représentaient 14 % (en tonnes) de l'offre totale aux ménages, les 86 % restants étant à peu près équirépartis entre les deux autres catégories. Selon les ratios de Henriot et Routhier (2010), nous avons appliqué des taux décroissants au nombre de petits commerces et d'hypermarchés, un taux croissant au nombre de supermarchés. On pose l'hypothèse que cette nouvelle configuration de l'offre commerciale répond à la demande des consommateurs sur l'ensemble de l'agglomération urbaine considérée.

Scénario S3 : organisation de l'offre commerciale

On pose l'hypothèse que la part du transport pour compte d'autrui passe de 45 % à 75 %. Actuellement, les mouvements de marchandises en ville sont réalisés presque autant en compte d'autrui qu'en compte propre (transport réalisé par l'expéditeur au moyen de ses propres camions ou de camions de location). Les études françaises portant sur les transports de marchandises en ville montrent clairement que le transport pour compte d'autrui est plus efficient : les tournées organisées selon ce mode de gestion comportent en moyenne 19 points de distribution, contre 13 pour le compte propre expéditeur et 5 seulement dans le cas du compte propre destinataire. De même, le nombre moyen de kilomètres parcourus entre deux points de livraison est plus important compte d'autrui (Patier, 2002). Dans ce scénario, on pose hypothèse que la distance d'un déplacement, pour un type de véhicule donné et pour chaque mode de gestion, reste à peu près la même entre 2006 et 2050. Il s'agit là d'un scénario réaliste, car on observe concrètement une hausse de la demande de transport par compte d'autrui, notamment en ce qui concerne les livraisons express.

Scénario S4 : organisation des circuits de distribution

Ici, on suppose que le e-commerce et les services de livraison de proximité sont utilisés par 50 % de la population (motorisée ou non). Plusieurs expérimentations récentes ont été mises en œuvre à Nantes, en France (Durand et al., 2010). Elles montrent que 60 % des personnes qui utilisent ces types de service se font livrer à la maison et que 40 % d'entre elles utilisent les points relais. Dans ce scénario, nous faisons nôtres ces pourcentages, en supposant aussi que les petits commerces de détail peuvent servir de points relais, dans le but de réduire les trajets motorisés des ménages.

Scénario S5 : scénario mixte

Ce scénario est envisagé comme étant la meilleure combinaison des quatre précédents, c'est-à-dire celui qui entraîne la plus forte diminution des distances totales parcourues.

Outils de simulation

La méthode de simulation est basée sur la combinaison de deux modules, selon le cadre proposé par Gonzalez-Feliu et al. (2009) : un modèle de simulation des flux inter-établissements, FRETURB (Routhier et Toilier, 2007) est une procédure de simulation des flux relatifs aux consommateurs finals, STG (Gonzalez-Feliu et al., 2010). Ces deux modèles fournissent une estimation mésoscopique des kilométrages produits par ces deux composantes fondamentales des déplacements de marchandises en milieu urbain.

Les résultats de ces simulations sont ensuite intégrés à une procédure qui permet d'estimer tout à la fois les impacts sur le trafic (nombre de kilomètres, équivalent-VP) et les émissions de gaz à effet de serre (en tonnes équivalents CO₂). Cette procédure affecte les coefficients correspondants des flux de trafic à chaque catégorie de véhicules, ainsi que les ratios d'émissions de gaz à effet de serre. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur la méthodologie proposée par l'ADEME (2003) et son logiciel IMPACT, pour l'appliquer à notre scénario de référence à l'horizon 2050. Le tableau 2 présente les hypothèses de répartition du parc de véhicules en 2050 selon la motorisation des véhicules (essence-électrique, diesel-électrique, électrique) et selon le type de véhicule (voiture particulière, VUL, poids-lourd). Les pourcentages sont tirés des travaux de Morchoine (2005) et Pinchon (2004) :

Tableau 2 – Hypothèses sur la motorisation des véhicules et sur les économies de CO₂ attendues en 2050

	Diesel-électrique	Essence-électrique	Électrique
Voitures particulières (VP)	56 %	24 %	20 %
Véhicules utilitaires légers	20 %	0 %	80 %
Poids-lourds (PL)	100 %	0 %	0 %

Économies attendues de CO ₂ à l'horizon 2050, par rapport à 2006			
VP et VUL	-44 %	-44 %	-66 %
PL	-30 %		-66 %

5. principaux résultats

Les scénarios décrits plus haut ont été simulés en vue d'estimer, pour chacun d'eux, la réduction apportée dans les émissions de gaz à effet de serre. Dans le tableau 3, nous avons reporté l'impact de chaque scénario relativement aux distances totales parcourues. Nous avons travaillé sur des millions de kilomètres, équivalent-VP, annuels (cf. les données de l'année 2006). Le tableau indique, en pourcentages, les gains ou pertes par rapport à 2006.

Tableau 3 – Impacts sur les trafics (en millions de kilomètres, équivalent-VP, annuels) par rapport à 2006.

	Inter-établissements	Consommateurs finals	Total
2006	1.088	1.225	2.313
S1	8,4%	7,5%	7,9%
S2	6,1%	12,5%	9,5%
S3	-9,8%	7,5%	-0,6%
S4-1	8,4%	-26,9%	-10,3%
S4-2	6,1%	-27,1%	-11,5%
S5	-10,4%	-27,1%	-19,2%

Dans le cas du fils de l'eau (S1), on constate que le nombre total annuel de kilomètres parcourus, équivalent-VP, s'accroît de 8 % et concerne, de manière similaire, les flux inter-établissements et les déplacements pour achats des ménages.

Le scénario S2 (localisation des activités commerciales) montre une forte augmentation des distances parcourues, due essentiellement aux mouvements des consommateurs finals. Des études récentes (Routhier et al., 2009) font apparaître que les hypermarchés et les centres commerciaux représentent le plus gros des mouvements effectués par les véhicules privés pour achats, ce qui n'est pas le cas des supermarchés périphériques. Plus précisément, dans la simulation effectuée, les distances parcourues tendent à diminuer au niveau du centre des agglomérations (du fait d'une plus grande utilisation des transports en commun et des modes non motorisés) et augmente dans les zones périphériques, là où les distances géographiques ne sont pas très éloignées de celles qui concernent les hypermarchés.

Le scénario S3 (organisation de l'offre commerciale) montre que le kilométrage moyen de réalisé pour une livraison passe de 14 à 11 km. De son côté, le trafic total inter-établissements (en kilomètres, équivalent-VP) décroît de 10 %.

Les scénarios basés sur l'organisation des circuits de distribution des biens à destination des ménages (S4) concernent successivement les scénarios S1 et S2. Le développement des organisations et des stratégies de distribution mettant en jeu le commerce électronique a pour effet une bonne diminution des distances parcourues en voiture par les consommateurs finals, de même que dans le cas de la mise en place de points relais, au regard de la situation en 2006. Le résultat est légèrement meilleur dans le cas du scénario S2.

Enfin, le meilleur scénario mixte résulte de la combinaison des scénarios S3 et S4-1. Par rapport à 2006, les distances parcourues diminuaient significativement d'environ 20 %.

Dans le tableau 4 sont reportées les tendances relatives aux émissions de gaz à effet de serre, exprimées en tonnes annuelles de CO₂ :

Tableau 4 –Émissions annuelles de gaz à effet de serre (en tonnes de CO₂), à Lyon en 2006 et impact des différents scénarios (en %)

	Inter-établissements	Consommateurs finals	Total	<i>Total, changements organisationnels seulement</i>
2006	476.118	250.214	726.332	726.332
S1	-35,1%	-44,3%	-38,2%	2,1%
S2	-35,5%	-43,5%	-38,3%	2,0%
S3	-44,1%	-48,7%	-45,7%	-10,4%
S4-1	-35,1%	-53,7%	-41,5%	-4,2%
S4-2	-35,5%	-54,3%	-42,0%	-5,3%
S5	-44,4%	-58,2%	-49,2%	-17,3%

On constate l'importance des changements technologiques qui permettent, même dans le cas du fil de l'eau, une réduction de 38 % des émissions de gaz à effet de serre.

Ces différents scénarios ne sont pas extrêmes. On peut formuler des hypothèses plus contraignantes, relatives au transport de fret dans les zones urbaines. Cependant, les mouvements de marchandises en milieu urbain ne représentent à l'heure actuelle que 24 % de l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre dans les agglomérations (Routhier et al., 2009). Aussi, un facteur 2 peut déjà être considéré comme un bon résultat, en vue d'atteindre un facteur 4 au niveau global, c'est-à-dire incluant le transport (fret et passagers) et la consommation énergétique des ménages, qui sont les deux sources principales d'émissions de gaz à effet de serre dans les zones urbaines.

6. Conclusion

Concernant les transports de marchandises en milieu urbain, cet article propose une méthodologie, ainsi que plusieurs résultats, en vue de faire face de façon pertinente, à des questions importantes renvoyant à la problématique générale du développement durable.

Après une brève revue de l'état de l'art en la matière, nous avons pu constater que l'attention est plutôt portée, soit sur l'ensemble des déplacements (voyageurs et marchandises) au niveau global d'un pays, soit au niveau urbain mais seulement sur les déplacements de voyageurs. C'est pourquoi dans un deuxième temps, nous avons proposé une méthodologie particulière, bien adaptée aux transports urbains de marchandises.

L'aire urbaine lyonnaise, en France, a servi de terrain d'expérimentation, en vue de mettre en œuvre cette méthodologie, dans une étude préliminaire dans laquelle on envisage les effets

d'actions réalistes pour influencer sur le kilométrage total parcouru annuellement par les marchandises, en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

On peut observer que les changements technologiques sont susceptibles de permettre, à eux seuls, d'atteindre une réduction de 40 % des émissions de gaz à effet de serre. Les différents scénarios envisagés tendent à améliorer l'efficacité globale des mouvements de marchandises en ville, sans pour autant pouvoir dépasser un facteur 2 dans le meilleur des cas (scénario mixte S5). Dans ce dernier cas, nous avons vu plus haut qu'en menant des actions au seul niveau de l'organisation des transports (accroissement de la part du compte d'autrui), on pouvait déjà gagner 17 % sur les émissions de CO₂ à l'horizon 2050 par rapport à l'année 2006.

Combiner des actions portant sur la localisation des activités commerciales et sur l'organisation des opérations de livraison doit permettre encore de réduire les émissions. C'est la raison pour laquelle nous nous proposons de prolonger la présente analyse en affinant les scénarios, en vue d'atteindre l'objectif français d'une réduction de 75 % des émissions de gaz à effet de serre (facteur 4), dans le cadre des déplacements urbains de marchandises.

Pour l'heure, les modifications proposées peuvent sans peine être mises en œuvre dans le contexte d'une stratégie de planification à long terme. Ainsi par exemple, une partie du transport pour compte propre peut être relativement facilement transférée au compte d'autrui, si les pouvoirs publics prennent la peine de préparer correctement une phase de concertation mettant en relation l'ensemble des opérateurs concernés. Témoin l'expérimentation menée actuellement à Parme, en Italie (Merella, 2009), qui fournit le cas le plus représentatif d'un système de distribution urbaine de denrées périssables, dans lequel les transporteurs pour compte propre sont les principaux clients des services proposés par ce nouveau système.

Pour conclure, selon nous, il semble possible, mais difficile, d'atteindre l'objectif du facteur 4. Pour cela, il convient d'une part de resituer les performances de la logistique globale dans le contexte urbain et d'autre part de considérer soigneusement les relations qui existent entre la gestion des chaînes logistiques et les approches possibles de la logistique urbaine.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier Hector Lopez-Ruiz, post-doctorant, chercheur au Laboratoire d'Économie des Transports (LET) de Lyon (France), pour son aide et ses remarques pertinentes, ainsi que Florence Toilier, ingénieur d'études à l'École Nationale des Travaux Publics de l'État (ENTPE) de Vaulx-en-Velin (France) pour son aide précieuse dans la collecte des données et la construction du scénario tendanciel.

Références

- [1] Ambrosini, C., Meimbresse B., Routhier, J.L., Sonntag, H. (2008), Urban freight policy-oriented modelling in Europe, *in*: E. Taniguchi and R.G. Thompson (eds.),

- Innovations in City Logistics, Nova Science Publishers, Inc., New York, 4th quarter 2008.
- [2] Ambrosini, C., Routhier, J.L., Toilier, F. (2005). How do urban policies work on urban goods transport flows?, World Conference on Transport Research, Selected Proceedings from the 10th WCTR Istanbul, July 4-8 2004., Elsevier Science, 17 p.
 - [3] Ambrosini, C., Routhier, J.L. (2004). Objectives, methods and results of surveys carried out in the field of urban freight transport: an international comparison, *Transport Reviews*, Vol. 24, n° 1, 57-77, January 2004, Taylor & Francis.
 - [4] Criqui, P., Mima, S., Rynikiewicz, C. (2006). Prospective énergétique à 2050, contrainte carbone et changements structurels, Atelier “Vers une représentation des économies sous contrainte carbone”, Fondri, Paris, 4 avril.
 - [5] Criqui, P., Allaire, J. (2007). Trois modèles de villes facteur 4 – Comparaisons internationales, *Les Annales de la recherche urbaine* 103, 54-63.
 - [6] Crozet Y., Orfeuil J.P., Massot M.H. (2001). Mobilité urbaine : cinq scénarios pour un débat. DRAST, Centre de la prospective et de la veille stratégique, Notes du CPVS - série Equipement 16.
 - [7] Crozet, Y., Lopez-Ruiz, H., Château, B., Bagard, V. (2008). Comment satisfaire les objectifs internationaux de la France en termes d'émissions de gaz à effet de serre et de pollution transfrontières ? Rapport final. Convention Predit 3.
 - [8] Crozet, Y., Lopez-Ruiz, H. (2009a). “Facteur 4 » et mobilité des personnes et des marchandises : vers une “tyrannie climatique” ? 17^{èmes} Rencontres Internationales du GERPISA, Paris, 18-20 juin.
 - [9] Crozet, Y., Lopez-Ruiz, H. (2009b). Le transport de fret et la contrainte du « facteur 4 » : une mission impossible pour le transport ferroviaire ?, Atelier de recherche “Transport et Logistique : histoire(s) de durabilité”, Marne-la-Vallée, 17 septembre.
 - [10] Durand, B., Gonzalez-Feliu, J., Henriot, F. (2010, résumé accepté), Pas de développement durable du B to C sans véritable e-logistique urbaine..., 8^{èmes} Rencontres Internationales de la Recherche en Logistique, Bordeaux, 29-30 septembre et 1er octobre 2010.
 - [11] Enerdata (1999). Mise en œuvre et impacts socio-économiques des scénarios de développement durable du système des transports en France. Rapport final. Contrat ADEME.
 - [12] Geurs, K., van Wee, B. (2004). Backcasting as a tool for sustainable transport policy making: the environmentally sustainable transport study in the Netherlands, *European Journal of Transport Infrastructure Research* 4 (1), 47-69.
 - [13] Grand Lyon (2006), Programme Local de l'Habitat – Diagnostic, Agence d'urbanisme pour le développement de l'agglomération lyonnaise, Lyon, France.
 - [14] Gonzalez-Feliu, J., Henriot, Fr., Routhier, J.L. (2009), Estimating traffic flows and environmental effects of urban commercial supply in global city logistics decision support, IV International Workshop on Freight Transportation and Logistics, ODYSSEUS 2009, Izmir, Turkey.
 - [15] Gonzalez-Feliu, J., Toilier, Fl., Routhier, J.L. (2010), End consumer movement generation in French medium urban areas, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, Elsevier.

- [16] Henriot, F., Routhier, J. L. (2010) Scenarios of commercial zoning for reducing impacts of freight movement in the city, 12th WCTR, July 11-15, 2010, Lisbon, Portugal.
- [17] Lopez-Ruiz, H. (2008). Facteur 4 et mobilité des personnes et des marchandises : quels scénarios pour la France en 2050 ?, Technical Report LET. Halshs-00277806 v1.
- [18] Lopez-Ruiz, H. (2009). Environment & transport 2050 : des scénarios pour le facteur 4. PhD. Thesis dissertation. Faculty of Economics. University of Lyon 2.
- [19] Lopez-Ruiz, H., Crozet, Y. (2010). Sustainable Transport In France: Is a 75% Reduction in CO₂ Emissions Attainable?. Proceedings of the 89th Transportation Research Board annual meeting, Washington, D.C., January 10-14, TRB, Washington, USA.
- [20] McKinnon, A. (2007). CO₂ Emissions from Freight Transport in the UK Report prepared for the Climate Change Working Group of the Commission for Integrated Transport (CfIT) Logistics Research Centre Heriot-Watt University Edinburgh.
- [21] Merella, A.M. (2009), A concrete example of city logistics: Ecologistics project in Parma, SUGAR project steering meeting, Athens, Greece, 06 September.
- [22] Morchoine, A. (2005). Quelles perspectives de reduction des emissions de CO₂ dans le secteur des transports ?, ADEME, BRGM, IFP, Paris, 15 septembre.
- [23] Patier D. (2002). La Logistique dans la ville, CELSE, Paris.
- [24] Philibert, C. (2005). Transports, énergies et facteur 4, Territoires 2030 2, 71-83.
- [25] Pinchon, P. (2004). Futures évolutions des motorisation dans l'automobile, IFP, Paris, 6 mai.
- [26] Radanne, P. (2004). Reducing CO₂ emissions fourfold in France: Introduction to the debate, Interministerial Task Force on Climate Change (MIES), Paris.
- [27] Raux, C., Traisnel, J.P., Pochet, P., Maizia, M. (2006). Analyse et modélisation des comportements transports-habitat-localisations. ETHEL. Rapport R3. Rapport, LET/TMU/CIREN, Action concertée energie-2003/CNRS Ministère de la recherche.
- [28] Raux, C., Traisnel, J. (2007). Habitat et déplacement dans les aires urbaines. Impacts énergétiques et environnementaux de la croissance périurbaine, Les Annales de la Recherche Urbaine : la ville dans la transition énergétique, 103, 79-85.
- [29] Routhier, J.L., Patier, D. and Ambrosini, C. (1996-1999). Transport de marchandises en ville: résultats des enquêtes quantitatives de Bordeaux, Dijon et Marseille, Final Reports for DRAST. Laboratoire d'Economie des Transports, Lyon, France.
- [30] Routhier J. L., Toilier F. (2007) FRETURB V3, a Policy Oriented Software of Modelling Urban Goods Movement, in Proceedings of the 11th World Conference on Transport Research - WCTR'07, 24-28 June 2007, Berkeley, USA.
- [31] Routhier, J.L., Traisnel, J.P., Gonzalez-Feliu, J., Henriot, F., Raux, C. (2009) ETHEL II – Rapport final. Convention ADEME.
- [32] Ségalou E., Ambrosini C., & Routhier J. L. (2004). The environmental assessment of urban goods movement. In Taniguchi, E. and Thomson, R. G., Logistics Systems for Sustainable Cities, Elsevier, Amsterdam, 207-220.
- [33] SES (1999). L'utilisation des véhicules utilitaires légers en 1996, Ministère de l'Équipement, du Transport et du Logement.
- [34] Sytral (2006), Enquête ménages déplacements 2006 de l'aire métropolitaine lyonnaise, Sytral, Lyon, France.

- [35] Tremeac Y., Raux, C., coord. (2009). FIDES : Flexibilité et Impacts de la Demande de transport des différents secteurs Economiques, et simulation de Scénarios d'évolution. Rapport Final. Contrat PREDIT.