



HAL
open science

Urbanisme commercial et approvisionnement des ménages : Impacts sur la mobilité de quatre scénarios extrêmes

Jesus Gonzalez-Feliu, Frédéric Henriot, Florence Toilier

► **To cite this version:**

Jesus Gonzalez-Feliu, Frédéric Henriot, Florence Toilier. Urbanisme commercial et approvisionnement des ménages : Impacts sur la mobilité de quatre scénarios extrêmes. Atelier de Recherche: "Transport et Logistique: Histoire(s) de durabilité, Sep 2009, France. halshs-01056133

HAL Id: halshs-01056133

<https://shs.hal.science/halshs-01056133>

Submitted on 15 Aug 2014

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.

**Urbanisme commercial et approvisionnement des ménages :
Impacts sur la mobilité de quatre scénarios extrêmes**

**GONZALEZ-FELIU Jesús
HENRIOT Frédéric
TOILIER Florence**

**Laboratoire d'Economie des Transports
UMR CNRS n°5593**

Auteur principal :
GONZALEZ-FELIU Jesús
Laboratoire d'Economie des Transports
Institut des Sciences de l'Homme
14, Avenue Berthelot
F-69363 Lyon Cedex 07

Tél : 04 72 72 64 44
Fax : 04 72 72 64 48
Courriel : jesus.gonzales-feliu@let.ish-lyon.cnrs.fr

Résumé

Avec comme objectif central de réduire l'impact des transports de marchandises en ville en agissant sur les comportements, nous proposons une démarche de simulation intégrée de la logistique urbaine, qui tient compte des déplacements liés à l'approvisionnement des ménages, en plus de considérer l'approvisionnement des commerces de détail. Nous étudions ainsi conjointement le dernier maillon de la chaîne de distribution et le maillon supplémentaire lié aux achats des ménages, avec utilisation de la voiture particulière ou mobilisation d'un véhicule de livraison. Nous mesurons la contribution à la congestion urbaine des deux éléments ensemble, par l'utilisation d'une unité standard.

De plus, afin de donner des ordres de grandeur avec ce modèle intégré, nous proposons quatre scénarios de transformation des pratiques de fourniture des biens finaux au consommateur. Alors que le recours exclusif à la grande distribution au détriment de toute autre forme de commerce s'avère légèrement favorable, nous observons que le développement massif de la livraison à domicile reste peu efficient. En revanche, les deux alternatives qui consistent d'une part à encourager un développement uniforme du petit commerce en ville, d'autre part à généraliser le dépôt des marchandises en points-relais, se distinguent nettement comme des solutions très économes en kilomètres urbains.

Mots-Clefs

Déplacements d'achat, logistique urbaine, scénarios, urbanisme commercial, modèles de simulation

Classification de l'article

selon la grille du *Journal of Economic Literature*

R - Urban, Rural, and Regional Economics

R4 - Transportation Systems

R41 - Transportation: Demand, Supply, and Congestion; Safety and Accidents; Transportation Noise

C - Mathematical and Quantitative Methods

C1 - Econometric and Statistical Methods: General

C15 - Simulation Methods

R - Urban, Rural, and Regional Economics

R5 - Regional Government Analysis

R52 - Land Use and Other Regulations

1. Introduction

Depuis le protocole de Kyoto ouvert à ratification en 1998 et entré en vigueur en 2005, sa déclinaison en objectifs de "Facteur 4" et la démarche plus récente du "Grenelle de l'Environnement", la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre s'est imposée comme une priorité au niveau international comme au niveau national. En France, les évolutions de ces émissions entre 1990 et 2001 dans le secteur transports (+21,6%) et le secteur résidentiel (+18%), ont tendance à annuler les progrès obtenus dans l'industrie (-17,1%), la production énergétique (-16%) et le traitement des déchets (-5,7%). L'augmentation des distances parcourues par les personnes, la forte croissance des distances parcourues dans le transport de marchandises, avec une prépondérance toujours plus marquée de la route, contribuent à la dérive des consommations d'énergie fossile. Ainsi, la réduction des consommations dans le secteur des transports, de même que dans l'habitat, favoriserait une réduction de la dépendance énergétique du pays. Cette question de société interroge les modes de vie, les politiques publiques, les collectivités – dans les actions relevant de l'aménagement du territoire –, la dynamique des innovations technologiques dans le bâtiment et la motorisation des véhicules, mais aussi en grande partie les stratégies adoptées par les acteurs privés dans le système de production et de distribution des biens (Gonzalez-Feliu, 2008).

Cette communication porte sur le transport de marchandises dans les zones urbaines et son lien avec les formes commerciales et les circuits de distribution. En effet, d'une part le transport de marchandises en ville représente le quart de la contribution de la circulation urbaine (qui représente approximativement la moitié des circulations routières à l'échelle nationale), d'autre part le transport de marchandises au total (courte et longue distance) représente environ 40% de la consommation des produits pétroliers par le mode routier (responsable de 83% de la consommation des produits pétroliers du secteur des transports).

En France, ce n'est que depuis une dizaine d'années, avec la mise en œuvre du Programme National Marchandises en Ville (DRAST-ADEME, en lien avec le PREDIT), que ce segment de la mobilité fait l'objet de recherches quantitatives approfondies (en France : LET, 1997, 1999a, 1999b ; en Europe : Russo et Comi, 2006). Ainsi, Patier (2002) propose la classification suivante pour les mouvements urbains de marchandises :

- Déplacements de véhicules liés directement aux livraisons ou enlèvements de marchandises dans les établissements (environ 40% du total des mouvements urbains marchandises).
- Mouvements de biens liés à l'approvisionnement des ménages, *i.e.* déplacements d'achat et livraisons à domicile (environ 50 %).
- Logistique de la construction et des travaux publics (environ 8 %).
- Déplacements de véhicules pour le ramassage des déchets et logistique du recyclage (environ 1%)
- Services postaux et messagers (moins de 1%).

Le périmètre de cette recherche se cantonne aux deux premiers points, et plus précisément à la partie terminale des chaînes de transport ; nous étudions ainsi les effets de différents scénarios seulement sur l'approvisionnement du commerce de détail et sur

l'approvisionnement des ménages. Le transport effectué autour des maillons précédant le commerce de détail ne fait donc pas partie de notre champ d'étude.

Nous allons tester différentes configurations du commerce de détail et différents comportements d'achat des ménages ; pour cela nous avons choisi de procéder par scénarios caricaturaux afin de borner les évolutions à attendre dans le domaine de la distribution finale des biens au consommateur. Afin d'obtenir une comparaison pertinente entre les différents scénarios, les résultats des modélisations seront exprimés en kilomètres "unité voiture particulière" (km.UVP) afin de produire des données uniformes et comparables entre le transport dû au commerce et les déplacements effectués par les ménages.

Nous présenterons ainsi successivement, la modélisation existante de l'approvisionnement des établissements commerciaux de détail, la modélisation des mouvements dus au consommateur final (achats, vente à distance) en section 3, et enfin la démarche d'intégration de ces modélisations et la constitution des scénarios en section 4. Les principaux résultats sont présentés en section 5.

2. La modélisation des mouvements entre établissements pour livraisons ou enlèvements

Dans le cadre du Programme National "Marchandises en Ville", une recherche méthodologique comportant la réalisation d'enquêtes de grande envergure dans trois agglomérations françaises aux tailles et caractéristiques contrastées (Marseille, ville côtière de 1,5 millions d'habitants ; Bordeaux, moins d'un million d'habitants; Dijon, 300 000 habitants), a permis d'établir un diagnostic des flux de marchandises générés par les activités économiques implantées en milieu urbain (LET, 1997, 1999a, 1999b).

L'innovation méthodologique fondamentale mise en œuvre dans la construction du modèle FRETURB a été de considérer non pas la marchandise comme unité d'observation, ni le véhicule comme vecteur du transport, mais de considérer l'établissement d'activité (en particulier les commerces pour ce qui nous concerne ici) comme le générateur des flux de marchandises, et le déterminant des comportements observés. Les enquêtes se sont donc attachées à mesurer avant tout un nombre d'opérations effectuées par les établissements (livraison ou enlèvement), étant données les caractéristiques fines de ceux-ci. On détermine ainsi, pour chaque catégorie d'établissement, un nombre de *mouvements* hebdomadaires, qui correspond au passage d'un véhicule de livraison à l'établissement pour effectuer une opération. Tous les indicateurs fournis par le modèle découlent de ce premier calcul, car ce nombre est ensuite réparti entre modes d'organisation, de gestion du transport, entre catégories de véhicules utilisés.

Les enquêtes ont mis en évidence un certain nombre d'invariants (ratios constants, tendances fortes et liens fonctionnels) propices à l'élaboration d'un modèle associant activité, taille et localisation des établissements implantés en ville d'une part, et nombre de livraisons ou enlèvements dans chaque établissement, types de véhicule impliqués dans ces livraisons, mode de gestion utilisé (compte propre ou compte d'autrui) et mode d'organisation du transport (trace directe ou tournée) d'autre part. Le modèle FRETURB de simulation des flux de marchandises en milieu urbain a ainsi été élaboré dès avril 2000.

Fondements et objectifs du modèle

A partir d'un fichier SIRENE, qui fournit pour tous les établissements d'une agglomération des informations sur l'activité, la taille, la nature du local, etc. et d'un fichier de zonage sur cette agglomération (fournissant les caractéristiques de chacune des zones : superficie, population, distance au centre...), le modèle FRETURB permet d'établir un diagnostic du transport de marchandises par le calcul des flux de livraisons ou enlèvements occasionnés par les déplacements des marchandises dans le périmètre. Il permet aussi d'estimer l'occupation de la voirie par les véhicules de livraison en stationnement comme en circulation et de produire ainsi des données utiles pour la mise en oeuvre d'un bilan environnemental. Enfin, le modèle propose une répartition des flux selon l'heure de la journée (Figure 1).

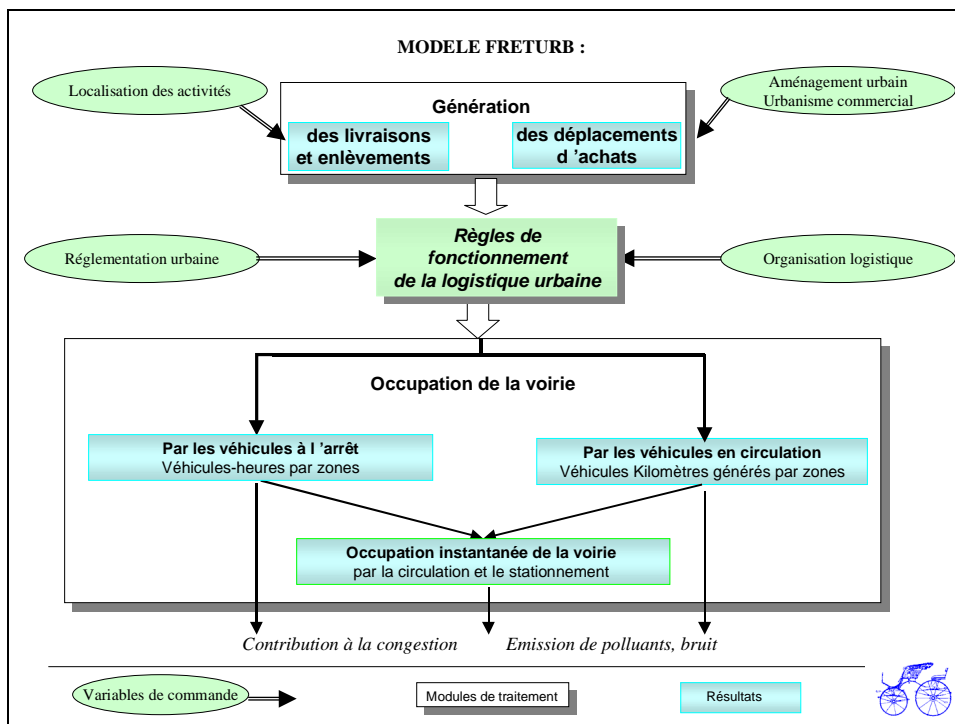


Figure 1 : structure du modèle Freturb

En plus de ces éléments, le modèle fournit des indicateurs (nombre d'opérations par emploi, durée moyenne de stationnement, nombre de kilomètres parcourus entre chaque opération par un véhicule, notamment) qui sont une transposition au territoire d'étude des ratios dégagés lors des enquêtes. Enfin, les déplacements d'achats générés par les véhicules particuliers allant s'approvisionner dans les commerces (déplacements d'achat motorisés) font également l'objet d'une estimation, pour les agglomérations disposant de données d'enquête ménages déplacements.

Les résultats obtenus sont à considérer comme des ordres de grandeur. Ils permettent néanmoins aux aménageurs de mesurer l'importance de ce segment ignoré jusqu'à présent en termes de circulation et d'environnement urbain.

Outre le volet diagnostic quantitatif du transport de marchandises en ville, le modèle FRETURB a également pour objectif de permettre de simuler les effets de diverses

politiques d'aménagement et d'organisation logistique sur la base du diagnostic ainsi établi.

Nous analysons ici la seule partie du transport de marchandises qui concerne l'approvisionnement des commerces, et non la totalité du transport de marchandises en ville qui inclut également le transport à l'origine et à destination des autres activités (industries, services, artisanat...). L'approvisionnement des commerces est réalisé par différents types d'opérateurs : messagers et messagers express pour le compte d'autrui, compte propre réalisé par l'expéditeur (commerces de gros, centrales d'achat), ou encore compte propre réalisé par le destinataire (le commerçant s'approvisionnant auprès des centrales d'achat ou des grossistes).

Pour la partie "mouvements entre les établissements" dans cette étude, nous mettons en œuvre le modèle FRETURB sur l'aire urbaine de Lyon en 2005.

3. La modélisation des mouvements générés par le consommateur final

S'agissant du transport de biens finaux en ville, les déplacements générés directement par le consommateur sont de deux ordres : les déplacements motorisés réalisés par les acheteurs, et les flux de véhicules de livraisons utilisés pour les achats à distance (livraison à domicile ou en point-relais). Nous traitons ici de ces deux volets, respectivement dans les sections 3.1, 3.2, 3.3 d'une part, et 3.4 d'autre part.

Les déplacements pour achats constituent un enjeu important non seulement pour les pôles commerciaux, mais aussi pour les collectivités locales. D'un côté, le transport de biens de consommation entre le magasin et le domicile représente plus de 50 % du nombre total de km.UVP pour l'ensemble des mouvements urbains de marchandises, poste et déchets inclus (Patier, 2002). Ils représentent aussi environ 20% du total des déplacements motorisés des particuliers pour l'ensemble de la semaine ; le samedi, l'ordre de grandeur s'élève à 25% (Dablanc et Pecheur, 2000 ; Michaud-Trevinal et Cliquet 2002).

Ces déplacements sont difficiles à caractériser, à cause du faible nombre de sources d'information, souvent peu accessibles, ou dont le niveau de détail n'est pas assez satisfaisant pour faire le lien entre les ménages et les pôles commerciaux. La difficulté de caractériser les déplacements d'achats s'accroît encore, en tenant compte de la dualité de nature de ces déplacements : régulier ou ponctuels. Cette nature est souvent liée à la fréquence d'achat ; les achats courants ont une fréquence journalière ou hebdomadaire, tandis que les achats exceptionnels sont ceux réalisés occasionnellement. De plus, les déplacements d'achat se trouvent à l'intérieur de boucles ou chaînes de déplacements, qui peuvent contenir d'autres déplacements ayant ou non le même motif.

Les facteurs qui interviennent dans le choix modal

Deux modes dominant : la voiture particulière (55 à 60% du total des déplacements d'achat), et la marche à pied (20 à 25% du total des déplacements d'achat). En ce qui concerne l'utilisation de la voiture, l'usage en tant que passager est supérieur à la moyenne (tous motifs confondus), la distance et le temps de parcours sont plus faibles (Jasaroski et Minvielle, 1999). La distance ainsi que la durée d'absence du domicile

pour la marche à pied est plus faible dans les déplacements achats que la moyenne (tous motifs confondus). Les transports en commun sont peu utilisés (environ 18% du total des déplacements d'achat), et leur aire d'utilisation est très limitée aux zones urbaines avec une offre de transports collectifs importante, ce qui est le cas du centre-ville et de ses alentours (Dablanc et Pecheur, 2000, Michaud-Trevinal et Cliquet 2002).

Les comportements spatiaux des consommateurs sont différenciés (Desse, 2001) et peuvent être liés aux catégories socio-économiques des ménages : les consommateurs qui appartiennent aux catégories populaires sont généralement moins motorisés. Ils ont des habitudes d'achats de proximité auxquelles on peut ajouter l'usage des marchés et des déplacements en grandes surfaces très localisées avec des fréquences précises, donc systématiques (Lestrade, 2002). D'autre part, les consommateurs plus aisés, plus mobiles, se déplacent en employant principalement la voiture et en parcourant des distances plus grandes (Michaud-Trevinal et Cliquet 2002 ; Lestrade, 2002).

Les types de produit jouent aussi un rôle important dans le choix modal, surtout par leur relation avec la localisation des commerces (Michaud-Trevinal et Cliquet 2002). Une grande partie de commerces proposant des produits d'équipement de la personne se trouvent dans le centre-ville historique des agglomérations, desservi par les transports en commun qui sont dès lors souvent utilisés pour l'achat de ces produits, dont les caractéristiques (taille et poids) sont compatibles avec l'usage des transports collectifs. A l'inverse, les achats d'équipement de la maison et les courses alimentaires, plus encombrants, se font le plus souvent en voiture. Les déplacements à destination des centres commerciaux périphériques nécessitent une étude approfondie. Cependant, dans la mesure où ces déplacements associent généralement des achats d'équipements de la personne, de biens alimentaires ou de gros équipement (Lestrade, 2002), ils sont généralement réalisés en voiture particulière.

Des déplacements d'achats en évolution

L'intensification et la complexification des mobilités sont liées aux transformations sociales (Desse, 2001). Globalement, le nombre de ménages dans les agglomérations a augmenté au cours des années récentes, mais le nombre moyen de personnes qui constituent un ménage a diminué (Cérami et Camus, 2004). Le sexe des personnes qui composent le ménage reste un élément à prendre en compte dans la mesure où les femmes réalisent 60% des déplacements pour achats (Cérami et Camus, 2004).

Les nouvelles formes de distribution, souvent liées aux nouvelles technologies, influent également sur les déplacements liés aux pratiques d'achat. Ces effets ne sont pas seulement de type substitutif (*i.e.* réduction du nombre de déplacements pour la recherche et l'achat d'un produit) mais des effets catalyseurs de la mobilité sont aussi observés (Ourednik, 2004). Ainsi, Ward et Morganosky (2000), ont montré que la recherche d'informations sur Internet conduisait souvent à des achats en magasin et que le risque de cannibalisation des ventes en magasin par les ventes en ligne était faible. Ceci peut s'expliquer par le fait que certaines personnes vont dans les zones commerciales à la recherche de différentes alternatives de qualité et de prix avant d'acheter, en complément à la recherche réalisée sur Internet. Ces déplacements ne sont pas directement liés à un achat mais sont des déplacements réels et effectifs, qui peuvent être considérés dans certains cas dans les déplacements "lèche-vitrines". La concurrence d'Internet peut également être contrée par la mise en place d'une démarche de fidélisation de la clientèle par le biais de l'offre de nouveaux services (livraisons à

domicile, assistance technique ou contact par e-mail pour différents services et informations).

3.1. Modélisation des déplacements d'achat dans les agglomérations de taille moyenne

Parmi les diverses définitions des déplacements d'achat employées dans la modélisation et la planification des transports, la plupart retiennent le motif à destination. Un déplacement est considéré comme étant "d'achats" si le motif à la destination est l'achat d'un ou plusieurs produits. Mais pour étudier le transport de marchandises lié aux achats des ménages, le LET (2005), reprenant les travaux de Ségalou (1999b, 2001) utilis un concept différent : un déplacement d'achat est celui qui a comme motif à l'origine les achats (plus le déplacement ménage-achats) car c'est celui qui donne lieu à un transport de marchandises.

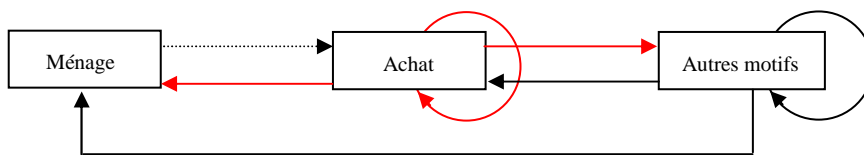


Figure 2 : schéma des déplacements pour achats d'après LET, 2005.

Les déplacements d'achat ne sont donc pas indépendants mais font partie d'une chaîne de déplacements. Dans cette chaîne, l'achat est lié à deux déplacements connexes : un *déplacement amont*, ayant comme motif à la destination un achat, et un *déplacement aval*, qui a comme origine le même achat. Ces deux déplacements sont consécutifs, le deuxième étant une conséquence du premier.

Dans les enquêtes le motif à l'origine le plus fréquent pour un déplacement ayant comme motif à la destination un achat est le domicile. De plus, une grande partie des déplacements d'achat sont des navettes domicile-achat-domicile. Il faut noter que les *déplacements achat-achat* sont aussi à étudier car ils caractérisent les chaînes de déplacements avec plus d'un motif achat (Gonzalez-Feliu et al., 2009b).

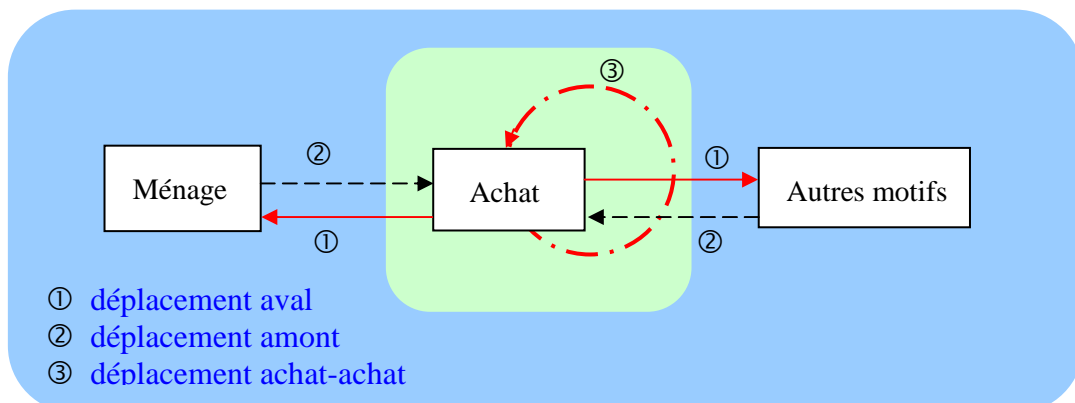


Figure 3 : schéma simplifié des principaux déplacements liés à l'activité d'achat (Gonzalez-Feliu et al., 2009b)

3.2. Génération des déplacements d'achat

3.2.1. Revue de la littérature

Pour caractériser les déplacements d'achat afin de construire un modèle de génération, il est important de déterminer les facteurs qui influencent ces déplacements. Dans la littérature, la caractérisation des déplacements d'achat a été peu abordée, en partie parce qu'on considère que les facteurs qui déterminent les déplacements d'achat sont les mêmes que ceux qui interviennent pour la mobilité totale (Keefer, 1960).

La première étude sur les effets des pôles commerciaux et les caractéristiques socio-économiques des personnes a été réalisée par Keefer (1960), pour 23 pôles commerciaux des Etats Unis, en utilisant un modèle de régression linéaire. Les variables étudiées sont le nombre de places de stationnement, le nombre total de boucles ayant dans ses motifs au moins un achat, la superficie totale du pôle commercial et la distance entre celui-ci et son concurrent le plus proche. Vickerman et Barmby (1984 ; 1985) ont réalisé deux modèles pour estimer le nombre de déplacements d'achat et le montant des achats hebdomadaires en utilisant des équations simultanées avec des données concernant les déplacements journaliers. Les principales variables explicatives sont la taille du ménage, le revenu et la possession de voiture particulière, auxquelles les auteurs ajoutent deux indicateurs, l'index d'attraction d'achats et l'index de coût du transport. Cubukcu (2001) propose un modèle qui utilise la méthodologie générale de modélisation des taux de génération de déplacements. Les variables utilisées sont les suivantes : population de la zone, densité de la zone, température moyenne annuelle, pourcentage de personnes âgées entre 35 et 55 ans par rapport à la population totale de la zone, taux de chômage de la zone, pourcentage de ménages qui ont un ordinateur, et pourcentages de ménages avec une connexion à Internet. Les données représentent 49 aires métropolitaines des Etats Unis avec plus d'un million d'habitants en 1995.

Badoe et Steuart (1997) réalisent un modèle de régression linéaire pour estimer le nombre total de déplacements d'achats des ménages en utilisant des données de 1964 et de 1986 de l'aire métropolitaine de Toronto (Canada). Les variables étudiées sont la taille du ménage, le nombre de personnes actives, le nombre de personnes titulaires du permis de conduire et le nombre véhicules du ménage.

Ségalou (1999a ; 1999b), propose une méthodologie de modélisation des déplacements d'achat dans une optique de logistique urbaine étendue. Cette méthodologie est développée à partir de la définition suivante de déplacement d'achat : un déplacement d'achat, est un déplacement au cours duquel une quantité de marchandises est transportée, à partir d'une activité commerciale. Cette définition considère donc les déplacements dont l'origine est un achat, contrairement aux modèles classiques. L'auteur part de la caractérisation des déplacements d'achat (tous modes confondus) en les modélisant à l'aide d'une régression linéaire en fonction des caractéristiques du tissu commercial et de la population de chaque zone. A partir de ce modèle, la part de déplacements réalisés en voiture particulière est aussi calculée par régression. De même, les navettes domicile-achat-domicile sont estimées, car les flux aller de ces navettes sont significatifs.

3.2.2. Description du modèle proposé

Notre modèle de génération est une adaptation du modèle général proposé par Cubukcu (2001) et des travaux de Ségalou (1999a ; 1999b). Etant donnée une zone i , on définit Y_{si} comme étant le nombre de déplacements ayant comme destination d'achat une activité commerciale de la zone i et réalisés en voiture. On définit aussi deux types de variables, groupés en deux vecteurs : A_{si} est le vecteur des caractéristiques de la population et X_{si} le vecteur des caractéristiques de l'appareil commercial de la zone. Les caractéristiques des nouveaux modes de distribution (les pratiques d'achat liées à la vente à distance) ne seront pas inclus dans la génération des déplacements d'achat. La simulation de ces pratiques sera décrite dans la section 3.4. Tenant compte de tous ces éléments, le taux de déplacements ayant sa destination d'achat à l'intérieur de la zone i peut s'écrire comme suit :

$$Y_{si} = f(A_{si}, X_{si})$$

Le vecteur A_s peut contenir plusieurs variables

Nr_{SMC} : Nombre de petits commerces;

Nr_{BS} : Nombre de supermarchés et de grandes surfaces spécialisées;

Nr_{VBS} : Nombre d'hypermarchés et de très grandes surfaces spécialisées;

$Nr_{emp-SMC}$: Nombre d'emplois dans les petits commerces de la zone;

Nr_{emp-B} : Nombre d'emplois dans les grandes surfaces de la zone;

$Nr_{emp-VBS}$: Nombre d'emplois dans les très grandes surfaces de la zone;

$Nr_{emp+400}$: Nombre d'emplois dans les commerces de la zone avec une surface totale supérieure à 400 m²;

Ces variables sont obtenues à partir du fichier SIRENE de chaque aire urbaine, enrichi par FRETURB, ce dernier apportant un nombre moyen d'emplois des établissements, pour chaque tranche d'effectif salarié mentionnée au fichier. De plus, pour caractériser les zones qui présentent des centres commerciaux (dont Ségalou (1999b) signale l'importance dans les modèles de génération des déplacements d'achat), nous avons aussi tenu compte de la variable suivante :

CC_e : Présence d'un centre commercial extra-urbain. Cette variable binaire a une valeur de 1 s'il y a au moins un centre commercial extra-urbain ou 0 sinon.

Le vecteur des caractéristiques socio-économiques de la population, X_s est défini à partir des données des fichiers IRIS correspondants pour la ou les villes considérées. Après une étude préliminaire, les caractéristiques suivantes ont été jugées les plus intéressantes : la population (POP), le nombre de ménages (Nr_H), la densité de population (D_{POP}) et la densité de ménages (D_H). D'autres caractéristiques, comme le revenu moyen (pour chaque zone) ou d'autres éléments faisant référence à la situation socio-professionnelle de la personne de référence du ménage n'ont pas été considérés du fait des imprécisions et lacunes dans les données des enquêtes utilisées pour la

construction et le calibrage du modèle. En effet, le revenu moyen est un champ qui présente un nombre important de non réponses (environ 30% de non-répondants)

Ces variables sont obtenues par extraction des fichiers de recensement de la population (INSEE), ou dans certains cas à partir d'enquêtes ménage ou de sources locales.

Une régression multilinéaire sur la totalité des données a comme résultat un modèle qui présente des problèmes d'approximation sur plusieurs zones. Pour essayer d'affiner l'estimation, nous avons réalisé une étude statistique en prenant les données de deux enquêtes ménages déplacements (Lyon 2006 et Dijon 1997). Afin de regrouper les zones de chaque aire urbaine en catégories d'espace urbain, nous nous ramenons à la notion de couronne.

Après une observation des différentes couronnes, il semble cohérent de les regrouper en trois catégories (Gonzalez-Feliu et al., 2009b) :

1. **Zone urbaine principale** : la ville ou les villes principales de l'agglomération. Généralement il y a un seul pôle principal, comme dans nos deux aires urbaines (le pôle formé par les villes de Lyon et Villeurbanne dans l'enquête ménage de l'aire urbaine lyonnaise et la ville de Dijon pour celle de l'aire urbaine dijonnaise).
2. **Périphérie proche** : la première couronne périphérique, qui correspond à un tissu urbain moins dense que celui de la zone urbaine principale, mais assez proche de celle-ci pour avoir des caractéristiques similaires et quelques spécificités, comme la présence de zones commerciales et de loisirs, le développement du réseau de transport en commun (TC), etc.
3. **Périphérie lointaine** : le reste des zones de l'aire urbaine, qui sont de type péri-urbain ou rural, caractérisées par un taux de motorisation élevé, le développement de très grandes surfaces commerciales et une plus faible accessibilité en TC.

L'application de régressions linéaires sur ces trois catégories, en utilisant les données de Lyon et Dijon permet d'avoir une population statistique suffisante pour obtenir des résultats fiables. Les variables significatives ne sont pas les mêmes pour chaque modèle, même si les principales variables sont la population, le nombre de petits commerces et le nombre d'emplois dans les grandes et très grandes surfaces. Les trois modèles obtenus sont les suivants :

$${}^o ST_{PC}^{CUA} = a_0^{CUA} + a_1^{CUA} . POP + a_2^{CUA} . Nr_{SMC} + a_3^{CUA} . Nr_{emp-Bs} + a_4^{CUA} . Nr_{emp-VBS} + a_5^{CUA} . MR$$

$${}^o ST_{PC}^{CUA} = a_0^{NP} + a_1^{NP} . POP + a_2^{NP} . Nr_{SMC} + a_3^{NP} . Nr_{emp-Bs} + a_4^{NP} . Nr_{emp-VBS} + a_5^{NP} . MR + a_5^{NP} . CC_e$$

$${}^o ST_{PC}^{CUA} = a_0^{FP} + a_1^{FP} . POP + a_2^{FP} . Nr_{SMC} + a_3^{FP} . Nr_{emp-Bs} + a_4^{FP} . Nr_{emp-VBS} + a_5^{FP} . CC_e$$

Cette approche permet d'avoir une meilleure estimation des déplacements d'achat VP générés par chaque zone. Chaque catégorie a des spécificités non seulement en termes de variables mais aussi de signe du coefficient qui multiplie le nombre d'emplois en grande surface. En effet, dans la zone urbaine principale, les grandes surfaces ne sont pas des pôles générateurs de déplacements d'achat VP, une grande majorité allant faire les courses à pied ou se déplaçant en transports en commun. De plus, ces activités commerciales sont souvent des supermarchés ou hard-discount urbains, sauf en hypercentre et dans les grands centres commerciaux de centre-ville, comme la Part-Dieu

à Lyon, où l'on observe une présence importante de grandes surfaces spécialisées. On observe aussi une tendance des ménages à se déplacer en voiture pour acheter des produits en première couronne, qui diminue dans les zones très éloignées du centre.

Tableau 1 : Coefficients de régression et erreurs standards pour les trois modèles proposés

Catégorie	R ²	Erreur Standard
Zone Urbaine Principale	0,98	2864,92
Périphérie Proche	0,98	2779,27
Périphérie Lointaine	0,99	2348,88

3.3. Modèle « aire de chalandise »

Pour pouvoir comparer les déplacements d'achat avec les mouvements de véhicules inter-établissements liés au transport de marchandises, il est important d'estimer le nombre de déplacements d'achat entre deux zones. Les déplacements d'achat sont souvent inclus dans des chaînes de déplacements qui sont plus complexes, même si les déplacements domicile-achat-domicile sont prédominants (environ 60% des chaînes de déplacements où au moins l'un des motifs de la chaîne est un achat sont de ce type). De plus, il est difficile de caractériser les déplacements [autre motif]-achat ou achat-[autre motif], et les chaînes de déplacement peuvent contenir plus d'un trajet à motif "achat". En revanche, il est possible de construire un modèle qui permette d'estimer les variations des flux de déplacements d'achat.

Etant donnée la qualité et la disponibilité des données, nous proposons un modèle de type « aire de chalandise » qui estime les origines possibles des déplacements dont au moins un achat se réalise dans une zone considérée. Ce modèle permet de déterminer une « aire de chalandise » en nombre de déplacements d'achat entre 2 zones, étant données les caractéristiques du tissu commercial de la zone de destination achat, les caractéristiques démographiques de la zone des ménages à associer, et la distance entre les deux zones. Plus concrètement, le modèle donne comme résultat le nombre de ménages d'une zone (*Dom*) qui vont aller se déplacer en voiture pour faire des achats dans une autre zone (*Ach*), en fonction de l'attractivité commerciale de la zone *Ach* (AC_{Ach}) comme destination pour des activités d'achat, l'attractivité commerciale de la zone *Dom*, et des caractéristiques des ménages de la zone *Dom*.

Nous avons choisi une approche pseudo-gravitaire (Oppenshaw, 1975 ; Ortuzar et Willumsen, 2001), basée sur la méthode proposée par Ségalo (1999b). Ce modèle a été obtenu par régression linéaire sur le logarithme de la fonction suivante :

$$\text{Déplacements Achat } VP_{Dom-Ach} = k \cdot \frac{AC_{Ach}^{a_1}}{AC_{Dom}^{a_2}} \frac{Nb_{Men}^{a_3}}{d_{Dom-Ach}^{a_4}}$$

Nous obtenons les coefficients par régression linéaire sur le logarithme de l'expression présentée ci-dessus.

3.4. Modéliser la vente à distance

Pour pouvoir intégrer les comportements liés aux nouvelles formes d'approvisionnement des ménages, nous proposons une méthodologie de simulation qui permet d'estimer ces comportements et de les inclure dans le modèle « aire de chalandise » des déplacements d'achat VP. Nous pouvons observer trois phénomènes liés à ces formes d'approvisionnement : le shopping drive, la livraison à domicile et le système de points relais.

En ce qui concerne le shopping drive, c'est un mode d'approvisionnement en développement qui s'adresse aux utilisateurs des hypermarchés principalement. Généralement, ces services permettent d'effectuer une commande par téléphone ou Internet et d'aller la chercher en voiture au magasin choisi, sans s'éloigner du véhicule pour réaliser la transaction. Nous pouvons faire l'hypothèse que ces stratégies n'ont pas d'impact sur le choix de la destination d'achat et donc sur les déplacements résultants.

La livraison à domicile est encore assez difficile à caractériser. Plusieurs études ont été réalisées (Cairns, 1998 ; Alligier et Patier, 2003 ; Kamarainen, 2003 ; Punakivi et al., 2003 ; Taniguchi et al., 2003 ; Alligier, 2007), mais les données résultantes sont souvent très agrégées et peu diffusées. Une tentative de reconstruction des tournées pour la livraison à domicile a été réalisée par Alligier (2007). Dans cette étude, plusieurs tournées ont été suivies et une analyse des résultats obtenus est réalisée. Nous observons que le poids moyen par commande est de 95 kg, à rapprocher du fait que les e-marchands offrent les frais de livraison à partir d'une commande d'environ 90 kg. Cette valeur est plus haute de celle observée dans d'autres études (Cairns, 1998 ; Taniguchi et al., 2003) mais étant l'étude la plus récente sur un sujet encore en évolution nous allons la prendre comme valeur moyenne pour notre étude.

Tableau 2 : Principales caractéristiques des trois catégories d'espace urbaine pour la livraison à domicile (synthèse des données obtenues par Alligier, 2007)

	Zone urbaine principale	Périphérie proche	Périphérie lointaine	Moyenne
Composition - habitat individuel	5%	25%	60%	0,3
Composition - habitat collectif	95%	75%	40%	0,7
Tournée - Nb livraisons	8	12	11	10,33
Tournée - Poids total	0,75 t	1,1 t	1,1 t	0,98 t
Tournée - Tronçon moyen hors marche d'approche	0,85 km	2,5 km	6,5 km	3,28 km
Tournée - Vitesse moyenne	11 km/h	16 km/h	25 km/h	17,33 km/h
Tournée - Durée moyenne	17 km	36 km	80 km	44,33 km
Livraison - poids moyen	93,75 kg	91,67 kg	100 kg	95,14 kg

Pour simuler la livraison à domicile, nous proposons de suivre la méthode suivante, qui part des résultats des enquêtes de reconstruction des tournées présentées par Alligier (2007). Considérons un réseau de plates-formes de distribution pour la livraison à domicile. Supposons que le nombre de commandes est connu, ainsi que les principales caractéristiques de la tournée de livraison. Trois catégories de tournées ont été définies. Les caractéristiques de chaque catégorie de tournée sont liées à l'espace urbain (cf. Tableau 2). Dans un premier temps, nous faisons l'hypothèse que les opérateurs de la livraison à domicile peuvent diviser leurs livraisons par zone, afin de simplifier les

calculs. Nous supposons que chaque zone de l'aire urbaine considérée est affectée au dépôt le plus proche, sans considérer dans un premier temps des limitations de capacité pour les différents dépôts.

Ensuite, nous reconstituons les tournées des livraisons aux domiciles. Etant donnée une répartition de la demande de marchandises à être livrées à domicile pour chaque zone, nous définissons le nombre de points à être livrés dans chaque tournée, en supposant que les tournées de la même zone ont les mêmes caractéristiques et le même nombre de clients. Le poids à être livré à chaque ménage est de 95 kg. En connaissant la distance de la zone des ménages devant être livrés par le dépôt, nous pouvons calculer la marche d'approche et le retour au dépôt. Le reste est calculé à partir du nombre de points à être livrés et du tronçon moyen. En synthèse :

$$Distance\ d'\ une\ tournée = 2 \cdot Distance_{Zone\ Clients-Depot} + Nombre\ de\ livraisons \cdot Tronçon\ moyen$$

De cette façon, chaque tournée est caractérisée et le nombre total de kilomètres parcourus par la livraison à domicile sur chaque zone correspond à la somme du nombre de kilomètres de chaque tournée de celle-ci. De même, le nombre total de kilomètres de l'aire urbaine est calculé en faisant la somme du nombre de kilomètres de toutes les zones de l'aire d'étude. Ceci correspond à la livraison à domicile d'un opérateur, mais la même démarche peut être considérée dans le cas de plusieurs opérateurs concurrents.

Une autre forme de distribution, qui est en général associée à la livraison à domicile, est l'usage de points relais pour retirer les commandes réalisées. Pour pouvoir comparer les résultats de ces deux formes de distribution, la démarche de simulation des points relais sera faite à partir des hypothèses présentées auparavant. Néanmoins, le système de distribution est mieux optimisé, et des véhicules légers (moins de 3,5 t) ont été choisis comme étant le seul type de véhicule livrant les points relais. Ces points peuvent être considérés comme des petites supérettes offrant une série de services, dont la réception des commandes alimentaires ou non qui seront cherchées dans la journée par les clients (avec une marge de quelques jours pour les produits non périssables). La démarche de simulation est dépendante des hypothèses posées, et suit la procédure suivante. Etant donné un réseau de points relais et ses dépôts associés, et connaissant les flottes utilisées, des tournées sont composées et le nombre total de kilomètres de la distribution aux points relais est calculé. La même procédure peut être appliquée dans le cas de plusieurs réseaux de livraison concurrents, à condition de connaître les caractéristiques de la demande pour chacun des réseaux de livraison. Dans un deuxième temps, le modèle "déplacements d'achat" est appliqué en tenant compte de l'influence de ces points relais, pour déterminer les flux achats en considérant ce réseau de distribution.

4. La démarche de simulation du système logistique urbain étendu

Dans cette section nous présentons le modèle intégré pour la simulation du système logistique urbain étendu. Ce modèle comporte les deux modules décrits auparavant, soit le module « approvisionnement des établissements commerciaux » (section 2) et le module « approvisionnement des ménages » (section 3).

Le modèle intégré est articulé comme suit, comme le montre la Figure 4. Considérons une ville sur laquelle nous avons défini un zonage. Chaque zone est caractérisée par les

données des établissements du commerce de détail (fichier SIRENE) et des données de population (fichier IRIS).

A partir de ces données d'entrée, le premier module, FRETURB, établit les flux de véhicules causés par la distribution des marchandises aux établissements commerciaux, et fournit au module "achats des ménages" la structure commerciale de chaque zone (nombre de commerces et nombre d'emplois, par nature de commerce). Le module achats calcule ensuite les flux de véhicules particuliers pour les déplacements d'achats ou, le cas échéant, les flux de véhicules dédiés aux livraisons terminales, soit pour la livraison à domicile, soit pour le dépôt en points-relais. Les deux parties peuvent enfin être intégrées par l'utilisation de l'unité standard km.UVP ; ainsi on peut déduire la contribution de la distribution finale des marchandises à la congestion urbaine.

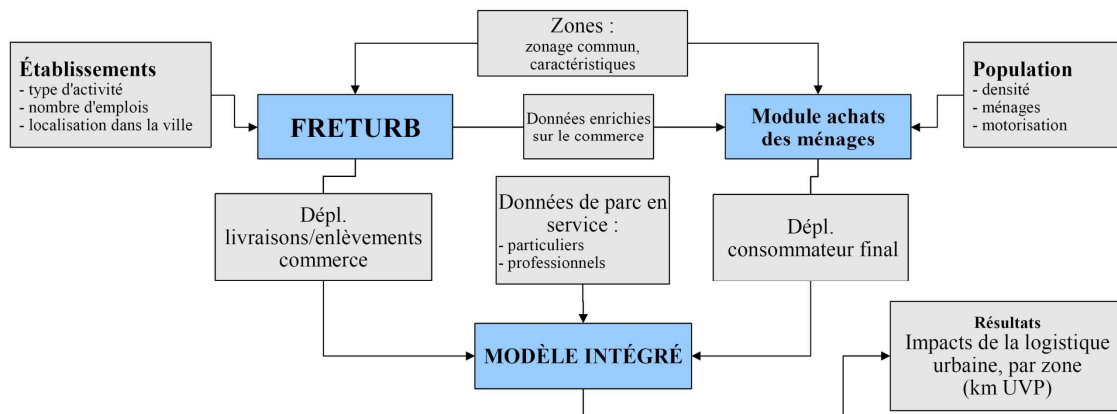


Figure 4 : Schéma du modèle intégré (adapté de Gonzalez-Feliu et al., 2009a)

L'utilisation conjointe des deux modules permet de calculer les deux principaux segments de trafic générés par les déplacements de biens dans une agglomération (de l'ordre de 90% des kilomètres-UVP du total).

Nous avons choisi de recourir à quatre scénarios extrêmes afin de révéler par la simulation les limites qui peuvent être atteintes par le système urbain de distribution. L'analyse porte sur l'ensemble de la chaîne de distribution finale. L'objet de ce travail n'est pas d'obtenir une vision réaliste de l'avenir des modes de distribution finale des marchandises, mais de discriminer convenablement chacune des tendances, mettre en évidence les ruptures à l'œuvre dans chaque situation caricaturale.

On entend par « distribution finale des marchandises » le dernier maillon logistique en ville, additionné du déplacement des biens de consommation entre le lieu d'achat et le domicile du consommateur. Ainsi, la simulation de scénarios se concentre sur les changements qui interviennent dans le commerce de détail, à l'amont et à l'aval immédiat du lieu de vente (livraisons au magasin, déplacement d'achats des ménages à ce magasin), quelle que soit la taille et la nature de ce lieu, des plus grands hypermarchés de périphérie à la plus petite boutique de quartier.

Nous excluons donc, pour l'instant, par manque de données suffisantes sur le sujet, de faire une simulation de l'intégralité de la chaîne d'approvisionnement des commerces en ville. Pour être complète, l'analyse devrait porter sur l'ensemble de la chaîne de distribution du producteur au consommateur en passant par tout le circuit logistique en ville. Ainsi dans un scénario de multiplication du petit commerce, les effets sur le

commerce de gros ne seront pas évalués ; dans les scénarios de généralisation du e-commerce, les effets sur les grands acteurs du secteur en amont et les gros entrepôts logistiques ne seront pas non plus examinés.

Le territoire d'étude est l'aire urbaine de Lyon, qui a fait l'objet en 2006 d'une Enquête Ménages Déplacements (EMD) et dont nous disposons du fichier des établissements (répertoire SIRENE de l'INSEE) pour l'année 2005.

A côté du scénario de référence nous retenons deux familles de scénarios extrêmes intitulés « urbanisme commercial » et « commerce à distance » (pour plus de détails sur ces familles, voir Routhier et al., 2009).

- famille 1 dite « urbanisme commercial » : évolution de la structure des commerces, les stratégies des distributeurs, la proximité des surfaces commerciales (commerce de détail) vis-à-vis du consommateur final,
- famille 2 dite « commerce à distance » : dans le cadre du développement du e-commerce notamment, généralisation de la livraison à domicile ou de la livraison des marchandises en points-relais.

Nous prenons comme situation de référence l'application du modèle intégré en utilisant le fichier SIRENE pour l'aire urbaine de Lyon en 2005 et des données de population (INSEE) de 2006. Nous présentons ci-dessous la construction des deux familles de scénarios.

4.1. Famille 1 : l'urbanisme commercial

L'évaluation de l'impact des changements qui peuvent intervenir sur la logistique urbaine du commerce de détail est faite selon deux scénarios distincts.

Ces deux scénarios traduisent deux transformations caricaturales du paysage commercial :

- scénario 1a « tout en hypermarché » : toute l'offre commerciale initiale (petits commerces, supermarchés et moyennes surfaces de quartier) est transférée dans uniquement des hypermarchés, centraux ou périphériques ;
- scénario 1b « tout en petit commerce » : pour ce scénario, il a fallu trouver les clefs de remplacement d'un grand centre commercial (hypermarché, grandes surfaces spécialisées) par des catégories d'aménagement commercial inférieures (c'est-à-dire la création de petites zones commerciales de quartier et en commerces de proximité).

Dans cette recherche, nous n'avons pas tenu compte d'une possible optimisation du « dernier kilomètre » (par exemple une augmentation du transport pour compte d'autrui ou une forte optimisation des tournées des véhicules ou des cadences du personnel à l'aide d'outils informatisés). Nous supposons donc une tendance dans les modes de distribution des marchandises similaire à la situation courante.

Nous exposons ci-dessous la méthodologie suivie pour le passage de l'une à l'autre catégorie d'aménagement commercial.

Calcul des équivalences entre les niveaux de commerce de détail

Pour cette simulation volontairement caricaturale, comme pour toute simulation à base de scénarios, nous partons de l'existant (scénario "0" de référence). Nous devons choisir entre d'une part faire évoluer les caractéristiques des établissements présents sur le territoire, en particulier le nombre d'emplois, et d'autre part modifier le paysage commercial du territoire (nombre d'établissements par zone) en calculant des caractéristiques moyennes des nouveaux établissements commerciaux à créer. Les deux questions suivantes sont à traiter successivement :

- Combien d'emplois sont-ils nécessaires dans un hypermarché, dans une Grande Surface (GS) et dans le Petit Commerce (PC), selon le « rayon » concerné (boucherie, épicerie, crèmerie, droguerie, etc.), pour un même volume d'activité ?
- Combien d'établissements, aux caractéristiques moyennes, faut-il pour remplacer, dans un sens ou dans l'autre, les hypermarchés qui disparaissent ou le petit commerce qui disparaît ?

Pour répondre à ces interrogations, nous avons utilisé les données issues des enquêtes nationales sur le Transport de Marchandises en Ville (TMV) et nous avons isolé, par type d'activité, le poids moyen (de marchandises livrées) que générerait un établissement sur une semaine ordinaire. Cette donnée est disponible selon différentes natures de marchandises (produits frais, produits non périssables, produits manufacturés, produits chimiques, etc.) et c'est à partir de cette information que nous avons pu calculer les équivalences entre les différentes formes de commerce de détail.

La catégorisation utilisée pour les types de marchandises est relativement grossière : les enquêtes TMV utilisent pour cette donnée une quinzaine de postes, y compris des segments que nous avons d'emblée exclus de l'analyse, parce que ne relevant pas du commerce de biens finaux (par exemple, les transports de déchets, de minéraux bruts ou encore de produits intermédiaires de l'agriculture).

Pour chaque type d'établissement, catégorisé selon une nomenclature combinant type d'activité et effectif salarié on a rapporté une quantité moyenne de marchandise des dix natures différentes. En standardisant ces données, on a ensuite pu calculer la quantité de marchandise transitant par les très grandes surfaces commerciales d'une part, par les grandes surfaces de quartier et assimilées d'autre part, et enfin par l'ensemble des petits commerces. Cela nous a permis de dégager des ratios d'équivalence entre les types de commerces de détail, tenant compte des marchandises vendues dans les surfaces commerciales.

Pour opérer la simulation, on part du fichier SIRENE original, disponible pour l'aire urbaine de Lyon à l'année 2005. Nous simulons à population constante, sans tenir compte des projections de croissance ni des évolutions à prévoir du paysage économique. L'objet de cette simulation est bien d'isoler complètement les effets attendus de la transformation de la structure du commerce de détail. Nous partons d'un fichier de base sur lequel on opère les modifications dues aux transformations simulées dans les deux scénarios de la famille « urbanisme commercial ».

Le fichier SIRENE de base, n'incluant que les activités de commerce de détail qui nous intéressent, comporte 20 546 établissements, extraits d'une base qui en comporte à l'origine 122 148 (toutes activités confondues).

Chaque simulation donne lieu à la création d'un fichier SIRENE transformé, avec adjonction d'établissements fictifs et retrait des établissements existants que l'on souhaite éliminer dans chaque scénario.

Nous avons donc construit deux bases distinctes, qui servent à la fois à une simulation des flux inter-établissements avec le modèle Freturb, et à une simulation des déplacements d'achat avec le module spécifique (comptage du nombre d'établissements du petit commerce, et nombre d'emplois dans les grandes surfaces et très grandes surfaces, sur les 33 macro-zones de l'agglomération).

4.2. Famille 2 : « commerce à distance »

Cette famille se base sur les hypothèses présentées dans la section 3.4. Il faut que les scénarios de cette famille soient comparables à ceux de la famille 1. L'idée centrale de cette partie est de réduire au maximum les déplacements motorisés des ménages pour achats, et de remplacer ceux-ci par des flux de livraison qui sont supposés plus optimaux.

Scénario 2a « livraison à domicile »

Ce scénario extrême est construit pour observer une situation limite en comparant l'efficacité de la livraison à domicile à celle des autres modes de distribution. On fait l'hypothèse que tous les ménages sont livrés à domicile par un système public de distribution de marchandise au lieu de consommation finale.

- On part du modèle d'achats "tout hypermarché" pour déterminer les zones d'influence de chaque hypermarché.
- On calcule le nombre de livraisons par zone (découpage en 34 zones) qui correspond au nombre de déplacements d'achat à chaque hypermarché : $n \text{ déplacements d'achat} = n \text{ commandes LAD}$.
- On répartit les commandes par zone fine. On calcule d'une part la marche d'approche puis on estime une moyenne des km par tournée. On affecte chaque zone fine au Centre de Distribution Urbaine "CDU Hypermarché le plus proche" : on va alors considérer une capacité illimitée au dépôt et une affectation tout ou rien des zones fines selon la distance.

Le calcul des équivalences entre commerce et livraison à domicile (LAD) suit la méthodologie présentée en section

Scénario 2b « généralisation des points-relais » (PR)

Ce scénario est une version optimisée du précédent. Au lieu d'être livrés directement au domicile, les biens sont déposés en points relais. Ces derniers peuvent prendre différentes formes : consignes, lieux de dépôt aménagés dans certains immeubles collectifs, ou petits commerces organisés en réseau pour offrir un meilleur service au

client (retrait des commandes 24h/24h, possibilité pour les points relais de type petit commerce de proposer d'autres services ou des produits additionnels en cas de besoin sans devoir passer une nouvelle commande, etc.)

Pour les calculs, nous partons des résultats issus du modèle d'achats "tout hypermarché" pour déterminer les zones d'influence de chaque hypermarché. Nous calculons ensuite le nombre de livraisons pour les 33 zones, qui correspond au nombre de déplacements d'achat à chaque hypermarché : x déplacements d'achat = x commandes LAD. Nous calculons le nombre de points relais nécessaires dans chaque Zone Fine (1 PR = K capacité pour consolidation), en ayant défini le PR comme ayant le même mode de fonctionnement qu'une supérette. Enfin nous appliquons FRETURB pour avoir les flux amont, et le modèle achats en ayant affecté les PR au macro-zonage à partir des Zones Fines comme étant des petits commerces.

Le calcul des équivalences entre le tissu commercial actuel et un système hypothétique n'ayant que des points relais se fait de la façon suivante. On fixe arbitrairement une densité de points-relais, qui correspondra à une densité de population desservie : il faut un point-relais pour un nombre de ménages donné, ce dernier figurant dans les données de l'enquête ménages. Ainsi, on crée un nouvel établissement commercial (de type commerce de proximité), fictif, qui symbolise un point-relais auprès duquel les consommateurs viennent s'approvisionner par le mode de leur choix. En zone dense, on comptera un minimum d'un point-relais par îlot, ce qui permettrait au consommateur final de se passer de déplacement automobile pour son approvisionnement.

La simulation de la partie amont avec le modèle Freturb nécessite ainsi une base d'établissements fictifs (entrepôts logistiques et points-relais) qu'il faut constituer à l'échelle du territoire, comme ce qui a été fait pour la famille de scénarios 1. Le module achats, quant à lui, nécessite un comptage des établissements de type « petit commerce » sur les différentes zones du territoire, ce qui revient à un comptage des îlots si on part du principe d'un point-relais par îlot en zone dense.

La Figure 5 résume les quatre situations extrêmes qui ont été imaginées pour cette recherche.

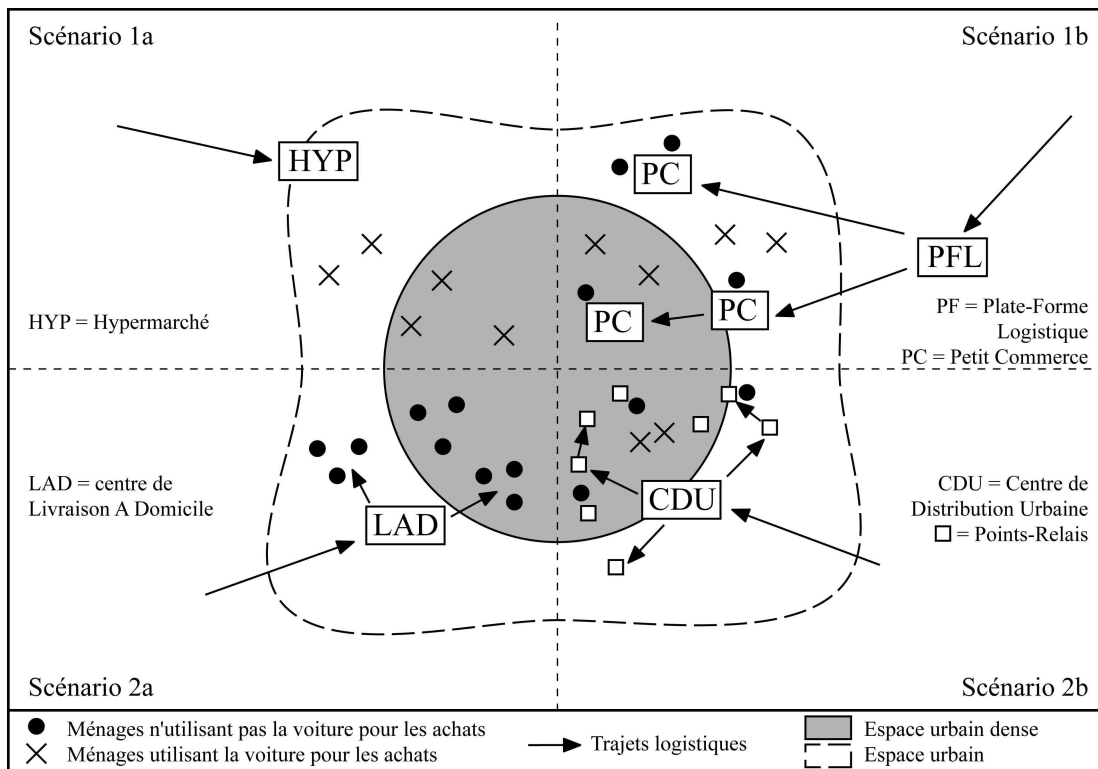


Figure 5 : schéma des quatre scénarios simulés

5. Principaux résultats

La situation de référence

Le scénario de référence a été calé sur les données d'un fichier SIRENE 2005 de l'aire urbaine de Lyon, ainsi que les données de l'Enquête Ménage Déplacements de 2006 sur ce même territoire.

La base d'établissements à partir de laquelle nous avons travaillé pour les scénarios comporte le nombre d'établissements de commerce de détail suivant :

		Nombre d'établissements
Grande distribution	TGS (Hypermarchés et assimilés)	30
	GS (supermarchés et assimilés)	199
	PC (petit commerce)	18982

Les données ci-dessous, concernant les échanges inter-établissements, ne reflètent que les flux de véhicules générés par les seules activités commerciales, et non les flux de marchandises de l'ensemble des activités de la ville.

Tableau 3 : Kilométrage hebdomadaire généré par les échanges inter-établissements selon le type de véhicule, selon la nature du commerce, et nombre et kilométrage hebdomadaire de déplacements d'achat.

	Echanges inter-établissements				Déplacements d'achat	
	Km en VUL	Km en Camion porteur	Km en véhicule articulé	Km UVP	Nombre	Km
TGS	13 632	21 172	45 003	175 297		
GS	15 181	30 460	46 306	199 457		
PC	971 819	315 273	97 218	2 331 318	674 290	5 251 787
TGS+GS	28 813	51 632	91 309	374 754	2 878 467	20 704 152
	1 000 632 64,3%	366 904 23,6%	188 527 12,1%	2 706 073	3 552 757	25 955 939

Le nombre de km.UVP des déplacements d'achat en voiture particulière sont plus de 10 fois supérieurs à ceux de la distribution de marchandises aux activités commerciales. Si l'on considère l'ensemble des établissements, les déplacements d'achat sont légèrement supérieurs en nombre de km.UVP par rapport aux livraisons et enlèvements aux établissements. Nous observons aussi que les petits commerces sont très générateurs en ce qui concerne les mouvements entre établissements et très peu générateurs pour les déplacements d'achat. En ce qui concerne les grandes et très grandes surfaces ensemble, nous pouvons constater le phénomène contraire. Nous avons tenu compte de cette agrégation pour pouvoir comparer les deux types de mouvements (les enquêtes ménages déplacements de Lyon ne font pas la distinction entre la grande surface et la très grande surface).

Ces phénomènes s'expliquent assez simplement par l'effet de densité et de diffusion des établissements commerciaux des différents types. La chaîne d'approvisionnement de la grande distribution est optimisée, du fait du faible nombre d'établissements et de la masse importante de marchandises à livrer en chaque point. Les ménages, pour leurs achats, sont contraints d'avoir recours à la voiture en raison de l'éloignement de cette offre commerciale. *A contrario*, la diffusion importante du petit commerce favorise la non-utilisation de la VP pour les achats, mais complexifie la partie amont de la chaîne logistique urbaine que constitue l'approvisionnement des commerces auprès de leurs fournisseurs.

Résultats de la simulation

Les différentes simulations nous permettent de dresser un premier bilan chiffré sur l'impact du transport de marchandises en ville, selon les configurations décrites. Le chapitre "approvisionnement des ménages" inclut, pour les familles de scénarios e-commerce (LAD et PR), l'éventuel trajet en voiture particulière effectué pour récupérer les achats dans le cas des PR, et le maillon de livraison qui lie le dépôt et les points de livraison.

Tableau 4 : Nombre de kilomètres générés par la distribution de marchandises et le transport des biens aux lieux de consommation finale pour les différents scénarios

		Nb Km distribution	Nb Km approvisionnement ménages	Nb Km totaux
0	Référence	2 706 073	25 955 939	28 662 012
1a	Tout Hypermarché	348 495	25 278 794	25 627 290
1b	Tout Petit Commerce	5 140 102	4 435 078	9 575 180
2a	Tout Livraison à Domicile	348 495	22 251 636	22 600 131
2b	Tout Points Relais	348 495	5 334 320	5 682 815

		Nb Km distribution	Nb Km approvisionnement ménages	Nb Km totaux
0	Référence	--	--	--
1a	Tout Hypermarché	-87,1%	-2,6%	-10,6%
1b	Tout Petit Commerce	+89,9%	-82,9%	-66,6%
2a	Tout Livraison à Domicile	-87,1%	-14,3%	-21,2%
2b	Tout Points Relais	-87,1%	-79,5%	-80,2%

Nous observons que le nombre de déplacements liés au transport des biens aux lieux de consommation finale est nettement supérieur à celui du transport de marchandises aux points de vente ou de distribution, sauf pour le scénario 1b, où le gain dû à la proximité des commerces des lieux de consommation finale se répercute en une diminution importante de l'usage de la voiture. Nous observons que dans tous les cas le nombre de kilomètres liés au transport des biens au lieu de consommation finale est inférieur à la situation actuelle, et donc qu'une offre commerciale spécifique et concentrée permet de diminuer les distances parcourues, même pour les situations qui *a priori* paraissent défavorables, comme le montre le scénario 1a.

Si l'on compare les deux premiers scénarios à la situation actuelle, nous observons que les deux « scénarios extrêmes » sont meilleurs en termes de distance parcourue que la situation actuelle. Le gain sur le nombre total de km.UVP est nettement meilleur dans le scénario 1b, du fait que le commerce de proximité, même dans les cas où il y a usage de la voiture, est moins générateur de km pour les déplacements d'achat. Par contre, il y a une augmentation du nombre de km.UVP pour la distribution. Néanmoins, cette augmentation est inférieure à la diminution du côté déplacements d'achat, d'où une diminution globale supérieure à 60% par rapport au scénario de référence.

La livraison à domicile s'avère un système moins efficace, en utilisant l'organisation actuelle de livraison à base véhicules utilitaires légers. En effet, les tournées ne sont pas optimales et ce type de système de distribution est assez rigide, compte tenu des contraintes liées à la disponibilité des personnes qui réceptionnent la marchandise : les fenêtres temporelles sont courtes, beaucoup de ménages doivent être livrés, et la marchandise est livrée au porte à porte. Ces contraintes ne permettent pas une amélioration considérable du système sans changer les stratégies de distribution ou la qualité du service.

Enfin, la généralisation d'un système de points-relais semble être la stratégie la plus efficace pour la réduction des distances parcourues en voiture, mais aussi pour l'optimisation des tournées de livraison, soit aux dépôts de distribution, soit aux points-relais. Le gain en nombre de kilomètres.UVP est supérieur à 80% par rapport à la situation de référence.

6. Conclusion

Dans cette communication, nous avons proposé une démarche de simulation de la logistique urbaine qui tient compte des déplacements liés à l'approvisionnement des ménages.

L'apport théorique essentiel réside dans la création d'un modèle permettant d'estimer les flux de déplacements en voiture particulière pour les déplacements d'achats effectués par les ménages dans une agglomération. Ce nouveau modèle, inspiré de la littérature récente sur le sujet, combine un modèle classique de génération de déplacements, qui est basé sur les caractéristiques des établissements commerciaux selon une typologie séparant petit commerce, grandes surfaces et très grandes surfaces, et un modèle gravitaire « aire de chalandise ».

Par ailleurs les flux de véhicules dus à deux modes de vente à distance (la livraison à domicile et le dépôt des marchandises en point-relais) ont été estimés à partir des informations obtenues par une enquête récente sur la livraison à domicile.

Ces deux innovations, ajoutées au modèle préexistant FRETURB, ouvre la voie à une simulation globale intégrée de la partie finale de toutes les chaînes logistiques de distribution des biens finaux aux consommateurs, en ville.

Nous avons mené cette recherche en poursuivant l'objectif de la réduction des impacts globaux qui ont été évalués en kilomètres hebdomadaires réalisés en "unité voiture particulière". Cette première application du modèle intégré doit permettre par la suite d'estimer les impacts environnementaux du transport de marchandises dû aux activités commerciales, notamment les émissions de polluants locaux et l'émission de gaz à effet de serre, qui peuvent être estimées à partir des distances parcourues et des caractéristiques du parc de véhicules en service.

Par ailleurs, nous proposons quatre scénarios de transformation radicale et immédiate des pratiques qui permet de poser les bornes en deçà desquelles la logistique urbaine d'approvisionnement des commerces et des consommateurs finaux doit évoluer, à condition que des impulsions soient données en ce sens, tant par les acteurs publics que par les opérateurs privés de la distribution. Nous observons que la livraison à domicile, en plein essor ces dernières années, n'est pas la solution la plus durable. En revanche, les deux alternatives qui consistent d'une part à encourager le développement du petit commerce dans toutes les parties de la ville, d'autre part à favoriser l'émergence des solutions de livraison optimales comme le dépôt des marchandises en points-relais, se distinguent nettement dans nos résultats et gagneraient à être considérées par les acteurs impliqués.

Les quatre scénarios caricaturaux présentent des avantages en terme de réduction du nombre de kilomètres parcourus par rapport à la situation de référence, ce qui encourage à chercher une configuration commerciale qui tienne compte de tous les types d'offre

commerciale avec des proportions différentes. Cependant on ne tient pas compte de l'adaptation du système qu'il faudrait estimer, sur l'amont de la chaîne d'approvisionnement (plate-formes logistiques, commerces de gros en lien avec les petits commerces).

Remerciements

Le modèle de simulation des déplacements pour achats est la continuation des travaux initiés par Erwan Ségalou dans le cadre de son doctorat. Malheureusement, nous avons appris son décès le 9 juin. Nous souhaitons dédier cette communication à sa famille en sa mémoire.

Les modèles proposés dans cette recherche ainsi que les scénarios de simulation ont été en partie conçus dans le cadre du projet ETHEL II : Energie, Transport, Habitat, Environnement et Localisations, financé par l'ADEME. Nous souhaitons aussi remercier Jean-Louis Routhier et Charles Raux du LET pour leur aide dans la réalisation de cette recherche.

Nous remercions aussi Sophie Sébille, doctorante en géographie au laboratoire RESO de Rennes, qui a contribué à la mise en forme et aux corrections de cette communication.

Références

- Badoe, D. A., Steuart, G. N. (1997) Urban and Travel Changes in the Greater Toronto Area and the Transferability of Trip-generation Models, *Transportation Planning and Technology*, vol. 20, pp. 267-290.
- Cérami, N., Camus, M.(2004), Le budget des familles en 2001, *INSEE résultats* n° 29, avril 2004.
- Cubukcu, K. M. (2001) Factors Affecting Shopping Trip Generation Rates in Metropolitan Areas, *Studies in Regional and Urban Planning*, vol. 9, pp. 51-68.
- Dablanc, L., Pecheur, P. (2000), Transport de marchandises en ville: connaître et agir sur les déplacements d'achats, Lettre de Commande n. 99MT08 – TMV.
- Desse, R. P. (2001), *Le nouveau commerce urbain. Dynamiques spatiales et stratégies des acteurs*, Presses Universitaires de Rennes - Collection espace et territoires.
- Gonzalez-Feliu, J. (2008), *Models and Methods for the City Logistics – The Two-echelon Capacitated Vehicle Routing Problem*. PhD. Thesis. Politecnico di Torino, Turin, Italy.
- Gonzalez-Feliu, J., Henriot, F., Routhier, J.L. (2009a), 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.
- Gonzalez-Feliu, J., Toilier, F., Routhier, J.L. (2009b), End consumer movement generation in French medium urban areas, *VI International Conference on City Logistics*, Puerto Vallarta, Mexico, Institute of City Logistics, Kyoto, Japan, pp. 377-392.
- Keefer, L. E. (1966) *Urban Travel Patterns for Airports, Shopping Centers, and Industrial Plants*, Highway Research Board, National Academy of Sciences - National Academy of Engineering.
- Lestrade, S. (2002), Les centres commerciaux dans la recomposition économique et culturelle des territoires urbains, *Flux* n° 50, pp. 59-62.
- LET (1997) Transports de marchandises en ville : enquête quantitative réalisée à Bordeaux, LET, 233p.
- LET (1999a) Résultats de l'enquête quantitative réalisée à Marseille, LET, MELTT, 117p.
- LET (1999b) *Résultats des enquêtes réalisées à Bordeaux 1994, Dijon et Marseille*, 1996, LET.
- LET (2005) *Vers un modèle global de simulation de la logistique urbaine : FRETURB version 2*, Rapport DRAST n° 05-S-03, 186 p.

- Michaud-Trevinal, A., Cliquet, C. (2002), Localisation commerciale et mobilité du consommateur, Actes du 5ème Colloque Etienne Thil, Université de La Rochelle, 26-27 septembre 2002, CD-ROM.
- Ortúzar J. de D., Willumsen L. G. (2001), *Modeling Transport*, Wiley, London, UK.
- Ourednik, A. (2004), Déplacement et télécommunications. Une étude de l'impact des phénomènes liés aux télé-services et télé-loisirs interactifs sur la mobilité individuelle, Séminaire.
- Patier, D. (2002) *La logistique dans la ville*. Celse.
- Routhier, J.L., Traisnel, J.P., Gonzalez-Feliu, J., Henriot, F., Raux, C. (2009) ETHEL II : Energie, Transport, Habitat, Environnement, Localisations – Rapport final. Convention ADEME.
- Russo F., Comi A. (2006) Demand models for city logistics : a state of the art and a proposed integrated system, in : *Recent Advances in City Logistics*, Elsevier Ltd
- Ségalou E. (1999a), *Les déplacements pour achats à Bordeaux. Exploitation de l'enquête ménages 1998 de l'agglomération bordelaise*, Laboratoire d'Economie des Transports, Rapport d'étape n° 2 ADEME et DDT, 71 p.
- Ségalou E. (1999b), *Note relative au calcul de la distribution des flux de véhicules pour motif achats zone à zone*, Laboratoire d'Economie des Transports, Rapport d'étape n° 2 ADEME et DDT, 14 p.
- Ségalou E. (2001) FRETURB : Le module de génération au lieu d'achat des flux d'auto approvisionnement des ménages, LET, 29p.
- Vickerman, R. W., Barmby, T. A. (1984) The Structure of Shopping Travel: Some Developments of the Trip Generation Model, *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 18, no. 2, pp. 109-121.
- Vickerman, R. W., Barmby, T. A. (1985) Household Trip Generation Choice: Alternative Empirical Approaches, *Transportation Research B*, vol. 19, no. 6, pp. 471-479.
- Ward, M.R., Morganosky, M. (2000), Online Consumer Search and Purchase in a Multiple Channel Environment, Working Paper.