



**HAL**  
open science

## La logistique urbaine durable

Jesus Gonzalez-Feliu

► **To cite this version:**

Jesus Gonzalez-Feliu. La logistique urbaine durable. Economies et finances. Université Paris Est, 2016. tel-03095642

**HAL Id: tel-03095642**

**<https://shs.hal.science/tel-03095642>**

Submitted on 4 Jan 2021

**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.

Université Paris Est  
Ecole Doctorale Ville, Transports, Territoires ED 528

## **Habilitation à Diriger des Recherches**

Section 05 – Sciences économiques

Spécialité Transport

**Candidat : Jesus Gonzalez-Feliu, Maître assistant de l'Institut  
Mines Télécom à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne**

**Titre du mémoire :**

## **La logistique urbaine durable**

**Date de soutenance : 6 décembre 2016**

**Lieu de soutenance : IFSTTAR, Champs-sur-Marne**

### **Composition du jury :**

M. Eric BALLOT, Professeur, Mines ParisTech	Rapporteur
M. Gernott LIEDTKE, Professeur, DLR, Berlin, Allemagne	Rapporteur
Mme Sophie MASSON, Professeur, Université de Perpignan	Rapporteur
M. François COMBES, Chef de division, CEREMA	Examineur
M. José HOLGUIN-VERAS, Professeur, RPI, Troy, NY	Examineur
Mme. Valérie LAFOREST, Directrice de recherche, Mines St Etienne	Examineur
Mme. Corinne BLANQUART, Directrice de recherche, IFSTTAR	Directrice HDR



## **Remerciements**

Ce mémoire est le fruit d'une réflexion qui a démarré en 2014 et qui synthétise plus de 10 ans de réflexions et recherches sur la logistique urbaine durable, dans des contextes et applications différents.

Je tiens d'abord à remercier Corinne Blanquart, ma directrice de HDR qui m'a accompagné dès les débuts de cette réflexion et cette aventure, et qui a su me guider dans un exercice à la fois difficile et formateur. Je remercie aussi les trois rapporteurs, i.e. Eric Ballot, Gernott Liedtke et Sophie Masson pour avoir accepté de rapporter mon mémoire et pour leurs commentaires qui ont été très utiles pour l'améliorer. Je remercie également Valérie Laforest, et François Combes qui ont accepté de participer au jury de soutenance et dont leur contribution est très appréciée. Enfin, un remerciement particulier à José Holguín-Veras qui a réussi à dégager un temps précieux de son emploi du temps et dont sa présence à ce jury est tout un honneur pour moi.

Je remercie aussi Didier Graillet pour sa relecture critique, ainsi qu'à Christian Brodhag et Anastasia Wolf qui m'ont aussi apporté des commentaires importants dans la préparation de ma soutenance. Un remerciement particulier va à Jean-Jacques Candy, qui s'est relu tout le mémoire (et ceci malgré l'infinité d'équations qui perturbaient l'écriture et complexifient la compréhension) et à ses précieuses corrections de langue et style qui ont donné la touche formelle à cet exercice difficile, ainsi que pour me faire voir que je suis plein de pléonasmes dans mon langage.

De plus, et car ce travail est la synthèse de mes travaux depuis ma thèse, je tiens à remercier tous les collègues que j'ai rencontré au Politecnico di Torino (où j'ai réalisé ma thèse), au CIRRELT-Université de Montréal (où j'ai réalisé un séjour de 6 mois pendant ma thèse), au Laboratoire d'Economie des Transports (où j'ai réalisé un post-doc d'environ 3 ans et demi et où j'ai été ingénieur de recherche CNRS pendant presque trois ans) et à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne (où je suis maître assistant depuis fin 2014). La liste étant très longue, et par peur d'oublier des personnes, je fais ici un remerciement collectif, mais sachez que votre soutien et vos échanges ont été très appréciés (et les sont encore).

Ce mémoire n'aurait pas non plus de sens sans le travail collaboratif réalisé avec les étudiants de master, doctorants, post-doctorants et ingénieurs que j'ai eu le plaisir d'encadrer et avec lesquels nous avons réalisé des travaux intéressants. Je tiens donc à vous remercier tous (désolé si j'en oublie), en particulier Dina Andriankaja, Guillaume Battaia, Pree Thiengburanatham, Carlos Osorio, Laura Palacios-Argüello, Clélia Lopez, Sonagnon Hounwanou, Adrien Béziat, Laila Abdelhai, Jairo Parra, Pascal Pluvinet, Noémie Boissier, Mathieu Gardrat, Catherine Ballesteros et Juan Pablo Cruz. Une partie de ces étudiants proviennent de l'Universidad Nacional de Colombia, groupe SEPRO, auxquels je suis rattaché depuis septembre 2015. Je tiens à remercier le professeur Wilson Adarme qui m'a permis d'initier cette aventure Latino-Américaine, mais aussi Gaston Cedillo (Institut Mexicain des Transports), qui m'a ouvert les portes de ce continent et qui est devenu plus qu'un collègue : un vrai ami.

J'aimerais aussi remercier tous les collègues avec lesquels j'ai pu échanger lors de conférences et d'échanges, et en particulier les professeurs Eiichi Taniguchi, Cristina Pronello et Jesus

Munuzuri, dont leur philosophie et approches qui regardent la logistique urbaine ont été source d'inspiration et ont aidé à construire ma vision actuelle du sujet. Je compte aussi des co-auteurs de choix (la liste est très longue), en particulier Joëlle Morana, Eleonora Morganti, Laetitia Dablanc ou Josep Maria Salanova, avec lesquels il est toujours un plaisir de co-écrire. Un remerciement spécial à un ancien collègue de travail, à la retraite maintenant, avec lequel j'ai partagé plus que l'écriture d'articles et la philosophie de la logistique urbaine, quelqu'un qui m'a beaucoup appris tant sur le plan scientifique que personnel et dont la bonne humeur infinie m'a imprégné et aidé énormément. Il s'agit bien entendu de Christian Ambrosini.

Je souhaite aussi remercier le personnel de soutien et de support à la recherche (principalement les ITA avec lesquels j'ai collaboré et, à un moment de ma carrière, partagé corps et métier). Un remerciement particulier à Gabrielle Bruyas (EMSE, Institut Fayol) et Martine Sefsaf (CNRS, LAET), documentalistes, pour leur aide dans la recherche bibliographique nécessaire à la réalisation de mes travaux. Je remercie aussi Trilce Encarnacion (RPI) dont leur aide a été indispensable pour assurer la préparation puis la réalisation de la soutenance à distance avec RPI à Troy (NY).

Je n'oublie pas la contribution des praticiens à mes recherches, notamment dans le cadre de collaborations de recherche ou dans des échanges lors d'événements sur le transport, la logistique ou la ville. La liste serait encore trop longue, je vous remercie toutes et tous, et en particulier Sylvie Plotton (FNTR42), Fouad Belouannas (Saint-Etienne Métropole), Daniel Zobebe (EPURES), Michel Julien (DRI), Laurence Morin (Ville de Paris), Diana Diziain (AFILOG) et Vincent Pichoud (Géodis). Un remerciement particulier va à l'équipe managériale du pôle de compétitivité LUTB Transport and Mobility Systems ainsi qu'à celle du Cluster PACA Logistique, dans son ensemble (tant aux membres actuels comme à ceux qui sont déjà partis pour de nouvelles aventures) pour leurs échanges et soutien dans mes recherches.

« *Last but not least* », je souhaite remercier énergiquement et de tout mon cœur la personne qui a été à mes côtés pendant tout ce temps, qui m'a soutenu quand j'hésitais et qui m'a parfois poussé à avancer ; cette personne, que j'ai parfois laissée un peu seule mais je qu'aime énormément, n'est autre que mon amour et ma chérie : Ruby. Encore merci infiniment !

Et bien entendu, merci à vous, lecteur, qui allez avoir le courage de feuilleter ce pavé sans vous endormir !

## Contenu

Introduction générale.....	7
Partie 1. Vingt ans de logistique urbaine : de la performance du dernier kilomètre urbain à une vision systémique et durable de la logistique urbaine.....	11
<b>1. Introduction</b> .....	12
<b>2. Où en sommes-nous après vingt ans de logistique urbaine ?</b> .....	12
<b>3. La définition d'une logistique urbaine durable</b> .....	23
<b>4. Une analyse des déterminants d'une logistique urbaine durable qui tienne compte des composantes territoriales et organisationnelles</b> .....	37
<b>5. L'analyse avant-après comme méthodologie d'évaluation et analyse de solutions de logistique urbaine</b> .....	51
<b>6. Conclusion</b> .....	53
<b>7. Tableau récapitulatif</b> .....	55
Partie 2. Modélisation de l'offre et de la demande logistique et de transports urbains de marchandises .....	57
<b>1. Introduction</b> .....	58
<b>2. Etat de l'art et limites des démarches actuelles</b> .....	59
<b>3. Apports et limites des recherches en modélisation de l'offre et de la demande de TMV</b> .	64
<b>4. Conclusions et perspectives</b> .....	99
<b>5. Tableau récapitulatif</b> .....	101
Partie 3. Evaluation de la logistique urbaine durable : indicateurs, données de référence et simulation systématique de scénarios .....	104
<b>1. Introduction</b> .....	105
<b>2. Etat de l'art et limites des démarches actuelles</b> .....	105
<b>3. Apports et limites</b> .....	108
<b>4. Conclusions et perspectives</b> .....	142
<b>5. Tableau récapitulatif</b> .....	145
Conclusion générale .....	146
Références .....	152



## Introduction générale

La logistique est un sujet qui évolue rapidement et qui prend de plus en plus d'importance au fil des années. Avec l'hyperurbanisation des villes (d'après les Nations Unies<sup>1</sup>, 80% de la population mondiale sera localisée dans des zones urbaines en 2030), le besoin d'approvisionner ces villes de manière efficiente et durable devient essentiel. En effet, bien que les villes aient besoin de biens pour fonctionner, le transport de ces biens se fait en général avec des camions qui génèrent de la congestion et donc contribuent aux principales nuisances des villes (Crainic, 2008) : réchauffement climatique, pollution de l'air et bruit, principalement.

Pour faire face à ces nuisances, de nombreuses études et expériences ont traité de la question de l'amélioration du transport de marchandises en ville. Ces études insistent notamment sur le rôle déterminant de la localisation des activités économiques dans les agglomérations urbaines, des stratégies d'offre commerciale et des politiques publiques, de la logistique et des aspects organisationnels de l'offre urbaine et du rôle des nouvelles technologies (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014e). En comparaison avec le transport interurbain de marchandises, le transport urbain de marchandises possède des éléments spécifiques qui les différencient : un très grand nombre d'opérateurs et une gestion particulière de la logistique de distribution et du transport de marchandises (du fait de véhicules de livraison très divers, d'organisations en tournées et en traces directes), ainsi qu'une large part de marché dévolue au compte propre et une grande importance de la sous-traitance. De ce fait, les mouvements associés au dernier kilomètre sont onéreux, et même s'il y a plus de vingt ans que des recherches et pratiques en logistique urbaine se développent, nous n'observons que très peu d'unification dans ces travaux, ce qui donne l'impression que peu d'avancées ont été réalisées. En effet, si nous comparons les constats faits dans Patier (2001) et dans Arndt *et al.* (2012) nous observons que les problèmes et difficultés principaux de la logistique urbaine restent très similaires, et cela malgré de nombreux travaux en la matière. Cela est principalement dû aux difficultés dans la quantification et la qualification de la logistique urbaine durable mais aussi au manque de référentiels et de méthodes unifiés pour l'évaluation de la durabilité de cette logistique urbaine. Néanmoins, la recherche en logistique urbaine ne cesse pas d'évoluer et d'avancer, mais sans une vision unifiée des méthodes et des référentiels acceptés par l'ensemble de la communauté il est difficile de se faire une idée précise de ces avancées. C'est pourquoi plusieurs communautés de chercheurs se sont intéressées à cette quantification, qualification et évaluation unifiée de la logistique urbaine durable.

Au cours de mon parcours professionnel, je me suis intéressé à différents aspects de la logistique urbaine durable. Ces contributions ont été articulées comme suit. Pendant la réalisation de la thèse de doctorat, je me suis intéressé à la modélisation de l'offre logistique par optimisation (principalement en définissant une famille de problèmes d'optimisation du transport à plusieurs niveaux qui représente une partie des schémas de livraisons urbaines). En parallèle, une première approche aux méthodes qualitatives pour qualifier la logistique urbaine, principalement par la constitution d'études de cas.

---

<sup>1</sup> United Nations – Department of Economic and Social Affairs (2014).



Après la soutenance de thèse, j'ai réalisé un post-doc au CNRS, UMR 5593 « Laboratoire d'Economie des Transports » (LET), en travaillant sur plusieurs projets. Mes contributions principales ont porté sur 5 axes. Le premier est l'estimation de la demande de transport urbain de marchandises mais du côté du consommateur, *i.e.* la modélisation de la demande de déplacements d'achat (projet ETHEL II). Le deuxième est la caractérisation des solutions logistiques par des analyses qualitatives, principalement les centres de distribution urbaine et les nouveaux schémas de livraison (projet SUGAR) et la mutualisation logistique (projet MOCLD et LUMD et encadrement séjour de thèse de Pree Thiengburanatham). Le troisième est la modélisation de l'offre logistique, d'une part en poursuivant les travaux de thèse sur les algorithmes d'optimisation (travail hors projets et encadrement travail Noémie Boissier) et d'autre part par la proposition de méthodes empiriques pour modéliser les tournées de livraison à domicile et aux points relais (projet ETHEL II) et les schémas de logistique urbaine mutualisée (Projet LUMD). Le quatrième est une première contribution, par ces modélisations, aux méthodes d'estimation des impacts économiques (Projet FREILOT) et environnementaux (travaux hors projets sur le Facteur 4).

En décembre 2011, j'ai débuté une étape d'environ trois ans comme ingénieur de recherche en production et analyse des données terrain, aussi au CNRS (UMR 5593 LET), en poursuivant les différents travaux démarrés avant cette date mais non encore finis (projets LUMD et FREILOT). De plus, j'ai contribué à plusieurs projets sur la collecte et production de données en logistique urbaine, qui ont donné lieu à plusieurs travaux sur la modélisation de la demande des flux d'approvisionnement des établissements urbains (projet MODUM avec encadrement du post-doc de Tai-Yu Ma, enquêtes Marchandises en Ville, collaborations avec Mathieu Gardrat, en thèse au LET, collaboration avec l'Institut Mexicain du Transport, co-encadrement d'Adrien Béziat, en thèse à l'IFSTTAR, projet ANNONA) et sur la simulation de scénarios de logistique urbaine (collaborations avec Frédéric Henriot, en thèse au LET, encadrement du mémoire de Master 2 recherche de Laila Abdelhai, projet SILOGUES). De plus, un ensemble de travaux sur l'accessibilité marchandises, qui suivent des premiers éléments déjà énoncés dans la thèse, ont donné lieu à des réalisations dans ce sujet (collaboration avec CERTH, Grèce et co-encadrement Adrien Béziat). J'ai aussi contribué au développement d'indicateurs et méthodes d'évaluation de la logistique urbaine durable (projet LUMD et réponse appel RECORD sur la logistique inverse dans la collecte de déchets) ainsi qu'approfondi les aspects sur l'aide à la décision de groupe (projets LUMD et MODUM).

Depuis octobre de 2014, en tant que maître assistant à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne, j'ai finalisé mes implications sur la modélisation de la demande dans le cadre du projet ANNONA, ainsi que j'ai assumé sa coordination. Dans ce contexte, j'ai participé à l'estimation de scénarios de logistique urbaine (co-encadrement de la thèse de Asmaa Azami puis de celle de Laura Palacios) ainsi qu'au développement et test de l'adaptation de l'analyse du cycle de vie à la logistique urbaine (co-encadrement du post-doc de Dina Andrianakaja). Les recherches sur l'offre et la demande ont convergé dans le développement de modélisations intégrées de ces deux éléments (co-encadrement de la thèse de Clélia Lopez, co-encadrement de la thèse de Laura Palacios, collaborations dans le cadre de la thèse de Carlos Osorio), et les aspects liés à l'accessibilité ont été approfondis.

Dans tous ces cas, le dénominateur commun est celui d'une meilleure caractérisation, estimation et évaluation de la logistique urbaine durable. Afin de les mettre tous en cohérence, ce mémoire se propose de définir la logistique urbaine durable, ainsi qu'un cadre général pour la caractériser et l'évaluer, tant sur la base de simulation de scénarios possibles comme sur celle des retours sur des expériences existantes.

Ce mémoire est organisé en trois parties. Dans la première, une mise en contexte est présentée, pour donner une vision d'ensemble des vingt dernières années de recherches et pratiques en logistique urbaine, qui mettent en évidence les principales difficultés à la définir et caractériser. Ensuite, les principaux éléments à tenir compte pour caractériser et définir la logistique urbaine durable seront présentés, ainsi qu'une définition extensive à laquelle nous ferons référence tout au long de ce mémoire. Enfin, une analyse de cas de logistique urbaine ainsi qu'une proposition de méthodologie générale pour l'analyse avant-après généralisé aux évaluations tant ex-ante qu'ex-post.

Mais pour réaliser ces analyses, une estimation des flux et tournées des solutions de la logistique urbaine durable est nécessaire. Cela implique d'estimer la demande de transport de marchandises en ville, l'offre de logistique urbaine et éventuellement ces interactions. La partie 2 détaille nos contributions dans ces thèmes. D'abord, les principales contributions à l'estimation de la demande de déplacements pour livrer les activités économiques urbaines sont présentées. Ensuite, l'estimation de l'offre logistique par une approche de recherche opérationnelle hétérodoxe (la problématisation des solutions) est introduite et détaillées. Enfin, la modélisation des déplacements du consommateur final (déplacements d'achat, livraisons à domicile et logistique amont et aval des points relais et consignes) est présentée ; dans cette modélisation nous combinons une estimation de la demande de déplacements d'achat, puis une méthode de substitution de cette demande par de nouvelles formes de livraison à proximité du consommateur final (à domicile ou hors domicile) est présentée. Ensuite, la combinaison et interaction des deux modélisations est formulée et illustré par des exemples d'utilisation.

La troisième partie porte sur l'évaluation de la logistique urbaine durable, une fois les flux de cette logistique estimés (par simulation avec les méthodes proposées en partie 2 en cas d'évaluation ex-ante ou par mesure en cas d'évaluation ex-post). Trois principales contributions sont aussi présentées.

Enfin, une synthèse sur ces travaux est faite, en mettant en avant les principaux avantages et limites de l'ensemble de ces contributions, ainsi que les principales pistes pour d'ultérieures recherches.



**Partie 1. Vingt ans de logistique urbaine : de la performance du dernier kilomètre urbain à une vision systémique et durable de la logistique urbaine**

## 1. Introduction

La logistique urbaine est un sujet d'actualité qui intéresse les pouvoirs publics et les praticiens depuis des décennies (voire des siècles). Le sujet a même été présent à la COP 21 avec la présentation du projet Tram Fret de Saint-Etienne en décembre 2015<sup>2</sup>. De plus, la plupart des experts s'accordent sur le fait que la logistique urbaine doit être par principe durable, et donc contribuer à l'amélioration de la qualité de vie et au respect de l'environnement dans les zones urbaines, aujourd'hui de plus en plus peuplées et congestionnées.

Néanmoins, il existe peu de consensus et d'unification sur ce qui serait une logistique urbaine durable. Chaque discipline académique, chaque secteur des transports et de la logistique et chaque fonction publique a son opinion et son mot à dire, mais les notions derrière l'expression « logistique urbaine durable » sont sensiblement différentes. Cela fait que souvent il est difficile de se mettre d'accord même sur les notions de base et les référentiels pour comparer les différentes actions de logistique urbaine.

Afin de mettre un peu d'ordre dans le désordre actuel, cette première partie compte définir les différentes notions et présenter les bases, hypothèses et références nécessaires à comprendre et positionner l'ensemble des travaux qui seront présentés dans ce mémoire. Une attention particulière sera portée aux questions de caractérisation (quantitative et qualitative) de la logistique urbaine.

Après avoir présenté le contexte actuel de la logistique urbaine, les principales notions qui permettent de définir une logistique urbaine durable seront présentées. Plus précisément, nous introduirons les définitions des différents types de flux, les acteurs concernés (dans une vision liée à leur rapport au territoire), les visions de la durabilité et les principales définitions de la logistique urbaine, pour en déduire une définition large de la logistique urbaine durable qui sera celle que nous suivrons tout au long du mémoire, ainsi que de ces principales composantes.

Ensuite, nous présenterons une première contribution à la communauté scientifique : la systématisation des études comparatives de cas. Enfin, une deuxième contribution – le cadre méthodologique des analyses avant-après pour l'évaluation ex-ante et ex-post d'actions de logistique urbaine – sera présentée et analysée, pour conclure sur les principales contributions de ce mémoire à cette analyse avant-après qui seront introduites dans les parties suivantes.

## 2. Où en sommes-nous après vingt ans de logistique urbaine ?

La question de l'organisation de la logistique et du transport de marchandises dans les zones urbaines n'est pas nouvelle. En effet, le premier document écrit qui traite de la régulation du transport de marchandises dans une ville est attribué à Jules César, dans le premier siècle avant Jésus Christ (Quak, 2008) : il s'agit de la *Legge Iuliana Municipalis*, qui régula les livraisons urbaines en instituant des créneaux de livraison la nuit. Loin de s'en arrêter là, l'organisation de l'approvisionnement de la ville de Rome est devenue une priorité pour la fonction publique de l'Empire qui, depuis le règne d'Auguste, nommait une figure, le préfet de l'Annone, et des

---

<sup>2</sup> Propos recueillis en échange avec F. Belouannas (Saint-Etienne Métropole) et Joël Danard (Efficacity) lors d'une réunion du projet TramFret Saint-Etienne mi décembre 2015.

zones logistiques dédiées à cet effet, les Horrea, faisant de la logistique urbaine une mission principalement imputée aux institutions publiques (Petit, 1974 ; Virlovet, 2000, 2006). Au Moyen-Âge, les guildes de commerçants et d'artisans, ainsi que les seigneurs féodaux ont pris ces fonctions d'organisation logistique et d'alimentation des villes (Boone *et al.*, 1990 ; Britnell 1995 ; Kidd et Stumm, 2005). Ce n'est qu'avec la révolution industrielle et le développement des villes qui l'a suivi que l'approvisionnement de ces centres urbains a évolué considérablement (Williamson, 2002).

Le troisième grand changement dans la logistique urbaine arrive dans les années 1970 (Watson, 1975). Avec le développement de l'industrie pendant la Guerre Froide (principalement aux Etats-Unis, en Europe et au Japon) et la démocratisation de la voiture particulière, la période 1960-1980 est caractérisée par deux phénomènes connexes: l'expansion de la ville et le besoin de comprendre la mobilité personnelle. Les villes sont planifiées et organisées en donnant la priorité à la mobilité des personnes. Néanmoins, les activités économiques ont une importance cruciale pour la vie des villes, et l'augmentation de la population urbaine entraîne indirectement une augmentation des flux de marchandises pour l'approvisionnement des villes. C'est pourquoi, dans les années 70, avec les premiers problèmes de congestion et de surcharge des infrastructures routières et des parkings dans certaines villes, plusieurs scientifiques et autorités publiques commencent à s'interroger sur la quantification et la qualification du transport de marchandises dans les zones urbaines (Demetsky, 1974 ; Watson, 1975). Ces travaux restent principalement liés au contexte des villes des Etats Unis.

En Europe, les principales actions en termes de logistique urbaine proposées entre 1980 et 1990 ont été promues et portées par les autorités publiques pour lutter contre la congestion, mais se résument à des interventions ponctuelles ou à des propositions de régulation pour faire face aux émergences précises, dans une vision du transport urbain où la priorité reste le transport de personnes (Gonzalez-Feliu, 2008). Ce n'est qu'après les années 1990 que les principaux concepts de la logistique urbaine sont développés. La notion de transport des marchandises en milieu urbain est abordée dans différents pays dans la période 1992-1998 (COST 321, 1998 ; ECMT, 1999), l'Allemagne, la France, les Pays Bas, le Royaume Uni et la Suisse étant les pays européens les plus actifs en la matière. La notion de logistique urbaine est proposée par la première fois par Ruske (1994) et Kohler (1997) puis généralisé par Taniguchi *et al.* (2001). De plus, les actions coordonnées (à l'initiative d'acteurs publics ou privés) se multiplient en Europe, principalement en Allemagne, en France, en Italie, aux Pays Bas, au Royaume Uni ou en Suisse, entre autres (Rosini, 2005 ; Gonzalez-Feliu, 2008). C'est dans cette période que le Programme National Marchandises en Ville est né en France (Dufour et Patier, 1999 ; Gonzalez-Feliu, 2012c).

Selon Dufour et Patier (1999), ce programme était initialement articulé en deux phases. La première phase, consacrée à l'acquisition de connaissances sur le transport de marchandises en ville, a eu lieu en marge du PREDIT 1 (lancé en 1990) mais le programme a été fortement intégré au PREDIT 2 lors de son lancement en 1996 (Routhier et Gonzalez-Feliu, 2013). Cette phase était organisée en cinq thématiques :

- Connaissance quantitative des flux de marchandises en ville, à travers les enquêtes « Marchandises en Ville » (Ambrosini *et al.*, 1996, 1999a,b, 2010) et les travaux sur les déplacements d'achat des ménages (Ségalou, 1999a,b).
- Connaissance qualitative du fonctionnement du transport de marchandises en ville du point de vue des différents acteurs concernés, ainsi que leurs préoccupations majeures et leur stratégie (Fabart et Wihlem, 1996).
- Analyse critique du cadre législatif, réglementaire et institutionnel des activités de transport urbain de marchandises (Dablanc, 1998).
- Analyse de la structuration des coûts des chaînes logistiques en milieu urbain et des rapports entre les acteurs opérant sur ces chaînes (Sauvage, 1997).
- Analyse de la logistique urbaine en Europe (Dablanc et Massé, 1996).

La deuxième phase, déjà prévue lors du lancement du programme (Dufour et Patier, 1999), a démarré effectivement dans les années 2000 (Boudouin et Morel, 2002), et a bénéficié du soutien du Ministère en charge des transports à travers le PREDIT 3 et 4 (Routhier et Gonzalez-Feliu, 2013). Cette phase a permis le développement et l'analyse d'un ensemble d'expérimentations, tout en poursuivant le développement des connaissances et méthodes. Les principales contributions scientifiques de cette deuxième phase du programme sont les suivantes :

- Analyse et typologie des plates-formes logistiques urbaines (Boudouin et Morel, 2002 ; Boudouin, 2006).
- Analyse comparative des expérimentations en logistique urbaine (Gérardin, 2007).
- Analyse des comportements de déplacement d'achat des ménages (Beauvais, 2005 ; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2010a,b ; 2012c).
- Développement de modèles et plates-formes de simulation de la logistique urbaine : Freturb (Gérardin *et al.*, 2000 ; Routhier *et al.*, 2001), PLUME (Guyon *et al.*, 2010, 2015), ECLUSE (Battaia *et al.*, 2014).
- Développement de méthodologies d'évaluation de la logistique urbaine : bilan environnemental (Ségalou *et al.*, 2004, Albergel *et al.*, 2006), EVAL (Henriot *et al.*, 2008 ; Patier et Browne, 2010).
- Renouvellement des enquêtes quantitatives à Paris (Toilier *et al.*, 2014, 2016) et Bordeaux (Bonafous *et al.*, 2016).
- Réalisation d'études et analyses qualitatives (Augereau *et al.*, 2009 ; TL&Associés et LET, 2009 ; Gonzalez-Feliu et Morana, 2011 ; Durand, 2009, 2010 ; Senkel *et al.*, 2013, entre autres).

La dernière réunion du comité technique du programme national marchandises en ville a eu lieu en 2013, motivée par la fin du PREDIT et des changements de stratégie des organismes porteurs du programme (DRI, DGITM et ADEME). Depuis, une reconfiguration du programme est en cours. Il prévoit deux comités : un comité scientifique réservé aux chercheurs académiques mais aussi du monde industriel, associatif et des collectivités, qui fixe les thématiques scientifiques du programme, et un comité d'orientation composé principalement de praticiens qui définit, à partir des thématiques scientifiques, les principaux axes de travail du programme. De plus, une redéfinition des objectifs et une restructuration du programme est aussi en cours compte tenu

de la nouvelle conjoncture de la recherche et la pratique en transports en France. Bien qu'une relance officielle fût prévue en 2015, le comité scientifique n'a pas encore été constitué.

Néanmoins, la communauté scientifique et les communautés de pratique continuent à développer les études et recherches en logistique urbaine. Nous observons cinq principaux sujets de recherche en logistique urbaine en France :

- Enquêtes quantitatives et modélisation FRETURB (Bonnafeous *et al.*, 2014, 2016 ; Toilier *et al.*, 2016).
- Caractérisation et évaluation des espaces logistiques urbains, ou ELU (Boudouin *et al.*, 2013, 2014 ; Boudouin et Morel, 2015).
- Qualification des pratiques de e-commerce, portage à domicile et autres formes de commerce et de distribution urbaine (Bardin et Moesch, 2013 ; Ducret, 2013 ; Belin-Munier, 2013 ; Morganti *et al.*, 2014).
- Réglementation, politiques publiques, jeu d'acteurs (Dablanc, 2008, 2014 ; Capo et Chanut, 2015).
- Méthodes d'aide à la décision, théorie de la décision (Gianessi *et al.*, 2012 ; Cattaruzza *et al.*, 2014).

Nous observons que la modélisation en logistique urbaine reste soit liée au modèle FRETURB soit liée aux méthodes d'aide à la décision de la recherche opérationnelle. De plus, les évaluations sont faites sur des exemples concrets (notamment des ELU) sans souci de généralisation et avec une faible composante de durabilité globale (les indicateurs produits, comme nous le verrons dans la troisième partie, sont en général liés aux kilomètres parcourus, les émissions de gaz à effet de serre et les particules fines principalement). De plus, il est difficile de comparer ces évaluations. Enfin, une multitude d'analyses qualitatives a vu le jour mais là aussi la comparaison entre les différents cas décrits est difficile et manque d'un cadre unique de comparaison.

Au niveau international, la logistique urbaine, bien que déjà présente dans les années 90, était considérée comme un sujet spécifique de l'ingénierie des transports et se développait dans une petite communauté (la première conférence internationale en logistique urbaine, City Logistics, organisée à Cairns, Australie, en 1999, comptait moins de 20 personnes<sup>3</sup>). Dès 2003 (troisième conférence, à Madeire, Portugal), City Logistics s'est développée et compte aujourd'hui plus d'une centaine de participants de pays et disciplines différentes. De plus, depuis 2005, la conférence I-NUF (organisée par le centre Metrans à Long Beach, Californie) est une alternative à City Logistics, très ancrée autour de la vision de la logistique urbaine dans les villes des Etats-Unis. D'autres conférences (CTUA, URBE, NECTAR conference on Urban Freight), ainsi que des groupes de sessions sur la thématique de la logistique urbaine dans de prestigieuses conférences internationales (TRB Annual Meeting, WCTR, ILS, etc.) ont vu le jour et contribuent aux échanges internationaux entre chercheurs. Enfin, la fondation VREF a lancé en 2012 deux centres d'excellence en logistique urbaine et organise, depuis 2015, une conférence annuelle à Göteborg sur le sujet. A partir d'une analyse des travaux présentés à ces

---

<sup>3</sup>Propos tenus par Jesus Muñuzuri, professeur à l'Université de Seville, et Ron van Duin, professeur à Delft Technical University, deux des assistants à cette conférence



conférences et les articles scientifiques des auteurs concernés, nous avons identifié les principales thématiques de recherche :

- Estimation de la demande : contrairement à la France, qui a produit un modèle très opérationnel et empirique, les travaux internationaux sur la demande se basent soit sur les déterminants de génération dans un souci de systématisation (Holguin-Veras *et al.*, 2011 ; Sanchez-Diaz *et al.*, 2016b) , soit sur des aspects théoriques de modélisation, qui ne donnent que très peu de modèles opérationnels bien que certains (Sonntag, 1985 ; De la Barra, 1989 ; Eriksson, 1996 ; Janssen et Vollmer, 2005 ; Munuzuri *et al.*, 2009 ; Comi et Rosati, 2013, 2015) soient bien utilisés malgré leur faible connaissance en France.
- Estimation de l'offre et optimisation du transport : ces approches dérivent principalement de la recherche opérationnelle et de l'optimisation des tournées de véhicules (Taniguchi *et al.*, 1999, 2012 ; Crainic, 2008 ; Crainic *et al.*, 2009 ; Cattaruzza *et al.*, 2015).
- Réglementation, politiques publiques, jeu d'acteurs : les principaux travaux portent sur la réglementation d'accès aux villes (Dablanc, 2008, Ville *et al.*, 2013), les possibilités d'action des autorités publiques (Hesse, 2004 ; Lindholm, 2010, 2013).
- Aménagement du territoire et dynamiques spatiales de la logistique urbaine (Anderson *et al.*, 2005 ; Dablanc et Rakotonarivo, 2010 ; Dablanc et Ross, 2013 ; Dablanc et Rodrigue, 2015).
- Expérimentations et bonnes pratiques (Rosini, 2005 ; Spinedi, 2008 ; Bestufs, 2009 ; Dablanc *et al.*, 2011b ; Allen *et al.*, 2012a, 2014a).
- Collecte des données (Stefan *et al.*, 2005 ; Alho et de Abreu e Silva, 2013).
- Evaluation de la logistique urbaine durable (Taniguchi et van der Heijden, 2000 ; van Duin *et al.*, 2008, 2010 ; Patier et Browne, 2010 ; Melo et Costa, 2011 ; Vaghi et Percoco, 2011 ; Macharis *et al.*, 2014).

Bien que la plupart des sujets de recherche français trouvent leur place dans les communautés internationales, nous observons plusieurs différences entre les visions et approches françaises et celles des communautés internationales. La première est le champ de vision des « paires », *i.e.* le positionnement des recherches et études par rapport aux autres membres de la communauté. La plupart des travaux français ont été historiquement positionnées par rapport au contexte et aux recherches français. En effet, la plupart des travaux du programme national marchandises en ville dérivent de projets financés par le Predit, l'ANR ou l'ADEME et leurs résultats ont pris la forme de rapports de recherche et ouvrages principalement en français. Des notes et des articles de recherche et de vulgarisation ont aussi été écrits, mais toujours en français. Ces articles citent principalement des sources francophones et comparent des expériences françaises entre elles ou, dans quelques études, avec les proches voisins, principalement la Belgique ou la Suisse. C'est le cas des études sur les ELU, qui présentent une typologie et une comparaison seulement basée sur la France métropolitaine. En Italie, ces études présentent des comparaisons italiennes mais avec un positionnement international (Rosini, 2005, Spinedi, 2008, Maggi, 2009). De plus, des articles scientifiques en anglais proposent des comparaisons internationales (Whitenig, 1999 ; Browne *et al.*, 2005 Allen *et al.*, 2012b). Les

mêmes constats peuvent être faits sur les travaux sur le e-commerce (Durand, 2009, 2010 ; Belin-Munier, 2013), sur les travaux en réglementations et jeu d'acteurs (Capo *et al.*, 2011 ; Dablanc et Andriankaja, 2011 ; Capo et Chanut, 2013) et sur les expérimentations et son évaluation (Gérardin, 2007 ; Patier *et al.*, 2008 ; Gérardin *et al.*, 2015). Néanmoins, nous observons quelques travaux français ayant un positionnement international (Dablanc et Massé, 1996 ; Augereau et Dablanc, 2008 ; Augereau *et al.*, 2009). Seule la communauté travaillant sur l'aide à la décision (au sens des sciences de décision, ou *Decision Sciences* en anglais) a un positionnement nettement international avec des publications systématiquement en anglais (Huart *et al.*, 2010 ; Gianessi *et al.*, 2012 ; Guyon *et al.*, 2012 ; Cattaruzza *et al.*, 2014).

Cette vision franco-française du champ de vision a un impact non seulement sur la diffusion mais aussi sur le développement de la recherche. C'est principalement le cas des travaux en modélisation de la demande, qui suivent un raisonnement selon lequel le modèle doit être étroitement lié à la source des données utilisées pour le réaliser, et si possible cette source doit être construite avec un objectif d'ensuite réaliser un modèle déterminé (Bonnafous, 2001). Dans cette logique, le modèle fixe les besoins en données puis les ressources qui doivent permettre de collecter ces données, avec d'éventuels ajustements à la marge. Nous trouvons trois principales approches de modélisation : les travaux de l'IRT (Institut de recherche sur les Transports) sur la modélisation des flux de marchandises rentrant dans les villes (Institut de Recherches sur les Transports, 1977), le modèle FRETURB (Aubert et Routhier, 1999), issu des enquêtes marchandises en ville (Ambrosini *et al.*, 2010) et la modélisation des flux à partir des enquêtes chargeurs, ou enquêtes ECHO (Guilbaut et Soppé, 2009 ; Guerrero *et al.*, 2014). Ces approches, statiques et systématiques, ont une visée opérationnelle immédiate, tandis que dans les communautés internationales, les aspects mis en avant sont de nature plus théorique et conceptuelle. D'ailleurs, les deux principales visions de la modélisation de la demande de transport de marchandises en ville dans les communautés internationales sont celle de faire au mieux avec les données disponibles, souvent de mauvaise qualité (Muñuzuri *et al.*, 2009) ou celle de collecter les données en fonction des ressources disponibles pour ensuite appliquer le meilleur modèle disponible. Selon ces deux logiques, le modèle s'adapte aux ressources, et enfin les besoins sont définis, ce qui implique un cheminement opposé à celui de la modélisation française classique.

De plus, les objectifs des recherches ne sont pas toujours semblables même quand les sujets coïncident. En effet, en plus des travaux sur la modélisation présentés ci-dessus, les travaux français sur le e-commerce se proposent principalement de qualifier les pratiques, tandis qu'à l'international les principaux objectifs sont d'optimisation (Nemoto, 2004), de catégorisation (quantitativo-qualitative) des clients du e-commerce (Rohm et Swaminathan, 2004) ou de caractérisation quantitative (Gevaers *et al.*, 2011).

Les travaux qualitatifs sur les expérimentations, bien qu'avec des horizons et champs de vision différents, proposent des méthodes et analyses qui sont plus faciles à comparer. De plus, les travaux sur la réglementation – qui restent en général très liés à chaque pays voire chaque ville par le contexte et les spécificités de ces réglementations – semblent aussi de nature comparable. Enfin, les travaux sur l'aide à la décision qui, comme dit auparavant, suivent des standards des revues internationales, sont déjà positionnés par rapport aux autres pays, mais restent en général

très théoriques ou calculatoires, avec une vision peu appliquée (ce qui était déjà le cas dans les années 70, comme l'a souligné Ackoff, 1979).

Mais, même à l'intérieur de chaque catégorie et lorsqu'on trouve une communauté avec les mêmes objectifs et discours, les travaux sont très variés et nous observons peu d'unification. Les travaux qualitatifs ne détaillent pas toujours leurs méthodologies et sources d'information de manière homogène, ce qui peut rendre difficile la comparaison. Les évaluations se font pour des cas concrets, et malgré des tentatives d'unification, il n'existe aujourd'hui aucune méthodologie de référence pour évaluer la logistique urbaine durable comme c'est le cas dans d'autres applications (notamment la gestion logistique globale). Beaucoup de travaux, peu d'unification. Les travaux en recherche opérationnelle demeurent peu appliqués et sont très variés, le standard reposant sur la forme de présentation des modèles et résultats et sur l'aspect très calculatoire et conceptuel des approches utilisées. Les travaux en modélisation montrent aussi la difficulté à converger vers un modèle standard, du fait que les standard du transport urbain de personnes ou du transport de marchandises longue distance ne sont pas transposables au contexte de la logistique urbaine, ou en tout cas ne donnent pas des résultats satisfaisants (Gentile et Vigo, 2013).

Ce n'est que dans le champ de la réglementation et des politiques publiques que des travaux comparables et internationaux sont proposés (Dablanc, 2007, 2008 ; Lindholm, 2010, 2013), car ils s'inspirent de travaux similaires mais sur d'autres champs d'application. L'unification des méthodologies et cadres d'analyse semble donc avoir été faite pour cette discipline, la dérivation en logistique urbaine étant donc un champ d'application.

Néanmoins, tous ces travaux semblent avoir un dénominateur commun : il est important d'avoir une bonne connaissance du sujet à traiter pour pouvoir l'examiner et l'analyser. La collecte de données (qui sera analysée plus en détail ci-dessous) semble donc être fondamentale pour y arriver. Plusieurs travaux en logistique urbaine portent sur la production de données. Néanmoins, ce n'est que très récemment que ce sujet a été considéré comme étant une problématique de recherche à part entière et non seulement une ressource pour le support ou le soutien aux chercheurs.

Comme nous l'avons vu ci-dessus, l'une des principales questions en logistique urbaine (et possiblement la plus complexe) est celle de créer une connaissance des pratiques actuelles afin de pouvoir définir des références pour mesurer l'impact de nouvelles actions ou propositions. A ce propos, une multitude d'enquêtes et analyses ont vu le jour depuis plus de vingt ans (Ambrosini et Routhier, 2004 ; Allen *et al.*, 2012a, 2014a ; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013b). Néanmoins, les approches ne sont pas unifiées mais, dans le cas de la production de données, plusieurs travaux se sont efforcés de mettre de l'ordre (Allen *et al.*, 2012a, 2014a). Pour connaître, il est important de quantifier les phénomènes du transport de marchandises en ville mais aussi les comprendre à partir de données qualitatives extensives.

La production de données est un sujet très populaire en logistique urbaine mais qui a été traditionnellement considéré comme auxiliaire aux recherches. En effet, beaucoup de travaux ont porté sur la collecte de données mais avec l'objectif d'alimenter des modèles (Holguin-Veras et Jaller, 2014) ou bien de définir des bonnes pratiques ou d'identifier des actions en vue d'une évaluation ou d'une caractérisation dans le cadre de démarches déductives ou inductives

en sciences humaines (Anderson *et al.*, 2005). Ce n'est qu'après les années 2010 que la production de données est considérée comme un sujet de recherche en soi, comme le témoignent les revues de littérature récentes sur ce sujet (Allen *et al.*, 2012a, 2014a ; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013b).

Mais de quoi parlons-nous quand nous nous référons à la production de données ? Le CNRS inclut dans ses profils de soutien à la recherche sept familles professionnelles dont le métier est organisé autour des données<sup>4</sup>. Ces métiers, qui sont de nature et fonction différentes, ont un dénominateur commun : les professionnels de ces familles collectent, estiment, traitent, analysent et présentent des données (quantitatives ou qualitatives, avec des approches analytiques ou interprétatives) pour soutenir les recherches des chercheurs et enseignants-chercheurs. Dans ce sens, nous pouvons définir la production de données comme la proposition, par collecte, estimation ou simulation, d'un ensemble d'informations, quantitatives ou qualitatives, permettant par leur analyse de répondre à des questions de recherche. Cette production de données peut donc se faire en utilisant plusieurs méthodes et techniques, qui sont en général utilisées pour quantifier (et donc identifier statistiquement et/ou analytiquement) et qualifier (analytiquement ou interprétativement) une réalité.

Dans la logistique urbaine, les problèmes tant d'identification statistique que de qualification sont importants et nécessaires. C'est pourquoi nous détaillons ci-dessous les deux approches, en présentant les différentes catégories de méthodes prédominantes dans la littérature.

### **2.1. Des problèmes d'identification statistique de la logistique urbaine**

En logistique urbaine, pour identifier et caractériser les pratiques et solutions durables, quatre catégories de méthodes peuvent être principalement déployées : (1) les mesures ou observations, (2) les enquêtes et entretiens, (3) l'analyse des sources et des bases de données existantes et (4) la reproduction par substitution des données, modélisation et simulation.

Les observations et mesures résultent de la transcription de la réalité soit *via* une observation humaine soit *via* des appareils de captage et mesure (en général par des procédures automatiques). Bien que répondant à des objectifs, ressources, procédures et traitements différents, elles répondent au même principe : à partir d'un cadre défini, les phénomènes à mesurer ou capter sont reportés et enregistrés pour un traitement ultérieur. En termes statistiques, deux principales sources d'erreur sont à considérer. La première est l'erreur de mesure de l'appareil (ou opérateur) qui les réalise (par exemple, un erreur de lecture de la part d'une personne, un oubli ou un mauvais comptage, ou dans le cas des appareils les erreurs liés à la sensibilité des capteurs ou mécanismes de mesure). La seconde est liée aux éventuelles erreurs lors de la transcription ou manipulation des résultats (que ce soit par une transcription manuelle ou par la transmission informatisée de ces données, par exemple dans le cas de données GPS). Les principales méthodes et techniques de collecte de données de cette catégorie

---

<sup>4</sup> Il s'agit de la sous-famille « analyse des données biologiques » appartenant à la famille « biologie et ingénierie médicale » de la BAP A (Sciences du vivant), l'ensemble des familles de la BAP D (sciences humaines et sociales), à savoir « traitement et analyse des bases de données », « traitement de l'information spatiale », « analyse des sources », « production et analyse des données terrain » et « archéologie et archéométrie » ainsi que la famille « statistique » de la BAP E (Informatique, statistique et calcul scientifique).

sont : 1) les comptages manuels de véhicules, 2) les comptages automatiques de véhicules, 3) les observations terrain (pratiques de stationnement et livraison principalement), 4) les observations des pratiques de conduite et livraison en mode embarqué (en général sans interaction avec le chauffeur), ou (5) la collecte de données GPS sur les parcours et arrêts des camions.

Les enquêtes, quant à elles, sont administrées sur la base d'un questionnaire et récoltent en général des informations quantitatives, catégorielles et/ou qualitatives. Selon Allen *et al.* (2012a, 2014a) et Gonzalez-Feliu *et al.*, (2013b), plusieurs types d'enquêtes peuvent être déployées pour caractériser la logistique urbaine. Ces enquêtes peuvent être générales (*i.e.* visant les différents types d'acteurs et d'activités et incluant les pratiques des différentes phases de la logistique urbaine) ou spécifiques (visant un seul type d'acteurs, d'espaces ou de phases). En général, les enquêtes générales combinent plusieurs enquêtes spécifiques, qui sont déployées en parallèle mais coordonnées en amont et intégrées en aval. Les principales enquêtes spécifiques sont : 1) les enquêtes établissement, qui identifient les différentes pratiques de livraison mais du point de vue des établissements, 2) les enquêtes transporteurs, qui examinent les pratiques du point de vue des entreprises de transport, 3) les enquêtes chauffeurs, qui suivent les chauffeurs livreurs, soit par un carnet de bord rempli en auto-administré, soit par une enquête en fin de tournée soit par une enquête embarquée où l'enquêteur interagit avec le chauffeur, 4) les enquêtes à pied de voirie qui combinent une première partie d'observation avec une enquête auprès des acteurs rencontrés pendant ces observations, 5) les enquêtes auprès des particuliers (consommateurs, ménages), enquêtes auprès des prestataires logistiques, 6) les enquêtes auprès des fonctions techniques, support et profils opérationnels des collectivités. En ce qui concerne les enquêtes générales, nous trouvons les enquêtes marchandises en ville, basées sur une enquête établissement et complétées par des enquêtes transporteurs et chargeurs (Patier et Routhier, 1997, Rosini, 2005), les enquêtes de flux de marchandises, aussi appelées enquêtes chargeurs (Guilbaut et Soppé, 2009 ; Holguin-Veras, 2010) ou les enquêtes transports commerciaux allemandes ou canadiennes (Stefan *et al.*, 2005).

D'autres méthodes et techniques relèvent de l'analyse des sources et des données entreprise, principalement des documents contenant des informations telles que les plans de transport, mais aussi (dans certains cas), les consommations de carburant ou électriques. En général, ces données nécessitent d'un traitement préalable et d'une interprétation pour être utilisées dans la caractérisation de la logistique urbaine. Elles sont souvent combinées à d'autres méthodes pour compléter des manques de données, apporter des détails sur des questions peu traitées ou auxquelles il a été peu répondu dans les enquêtes.

Lorsque nous sommes confrontés à des manques de données (que ce soit par des non-réponses ou tout simplement par l'absence de bases de données pertinentes), la reconstitution de données peut s'avérer une alternative valable. Elle peut se faire soit par des procédures statistiques (basées sur les moyennes ou sur des probabilités) ou faire appel à des méthodes d'estimation de données par modélisation ou simulation. Cette dernière catégorie sera analysée plus en détail dans la partie 2 de ce mémoire.

## 2.2. Des difficultés de qualification de la logistique urbaine : des études de cas contextualisées et isolées des stratégies logistiques globales

En ce qui concerne les études qualitatives, nous observons une multitude de travaux en logistique urbaine qui essaient de qualifier différentes actions et expériences. Quatre principales approches sont proposées :

- Les études de cas de recherche (Eisenhardt, 1989) qui visent, à partir d'une description d'un exemple concret, à induire des théories, principalement en management ou aménagement urbain.
- Les cas descriptifs (type Harvard School), qui présentent synthétiquement un exemple pour montrer des bonnes pratiques ou des actions innovantes, mais qui n'entrent pas dans le détail de théories ni n'apportent des nouveautés méthodologiques, mais présentent des retours de terrain pour alimenter la connaissance sur différents sujets, principalement en gestion. Ils sont néanmoins assez standardisés et permettent un certain degré de comparabilité.
- Les études comparatives. Comme son nom indique, elles proposent une comparaison de deux ou plusieurs cas, la plupart du temps sur une base purement qualitative et descriptive mais certains travaux appuient cette comparaison sur des faits quantifiés en insistant ensuite sur la dimension qualitative. Nous observons deux principaux types d'études comparatives :
  - Les comparaisons de cas, qui présentent plusieurs exemples qui sont typifiés et comparés ensuite (Browne *et al.*, 2005 ; Allen *et al.*, 2012b, 2014b ; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013c, 2014b).
  - Les analyses avant-après, qui présentent la comparaison entre deux moments temporels différents mais pour le même cas (Leonardi *et al.*, 2012). Ces analyses pouvant être quantitatives et/ou qualitatives, nous prendrons dans cette catégorie celles dont la dimension qualitative est prédominante.
- Les « ensembles de bonnes pratiques ». Contrairement aux études comparatives, ces travaux réalisent peu de comparaisons mais visent à montrer des exemples descriptifs d'actions ou expériences qui sont jugées comme exemplaires pour en faire la promotion et chercher leur reproductibilité. Néanmoins, la plupart de ces ensembles restent très descriptifs (voire publicitaires parfois) et peu d'analyses de transférabilité et d'applicabilité de ces pratiques dans d'autres contextes sont observées (Dablanc *et al.*, 2011b ; Turblog, 2012).

La plupart des travaux de qualification de la logistique urbaine portent sur la présentation d'un type d'action ou sur des exemples de bonnes pratiques (ou d'actions innovantes). Parmi ces actions, les centres de distribution urbaine sont ceux qui ont fait l'objet d'une attention plus détaillée (Dablanc et Massé, 1996 ; Browne *et al.*, 2005 ; Rosini, 2005 ; Gonzalez-Feliu, 2008 ; Bestufs, 2009 ; Gonzalez-Feliu et Morana, 2010 ; Patier *et al.*, 2010 ; Trentini et Malhéné, 2010 ; Dablanc *et al.*, 2011b ; Turblog, 2011 ; Allen *et al.*, 2012b ; Verlinde *et al.*, 2012 ; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013c, 2014b ; Tozzi *et al.*, 2014 ; Morganti et Gonzalez-Feliu, 2015). Ces travaux présentent principalement des cas (satisfaisants ou pas) d'implantation de CDU, en expliquant les motivations du déploiement de ces plates-formes, l'environnement réglementaire

et culturel autour de l'expérimentation, le fonctionnement du système et, dans certains cas, soit une comparaison entre plusieurs cas (sur une base qualitative), soit une petite évaluation (quantitative) du cas.

Un autre groupe de travaux présente le contexte local dans lequel la logistique urbaine se développe, ses avantages, ses inconvénients, ses enjeux et ses limites. Cela peut se faire au niveau local, donc d'une agglomération (Hesse, 2004 ; Dablanc *et al.*, 2011a) ou au niveau national, plus axé sur les actions réglementaires et de coordination des instances nationales et/ou régionales (ECMT, 1999 ; Dablanc, 2008 ; Spinedi, 2008).

Nous trouvons aussi des travaux qui s'intéressent à d'autres types d'actions, par exemple les pratiques de commerce électronique et de livraison en point relais (Augereau et Dablanc, 2008 ; Durand, 2009, 2010 ; Augereau *et al.*, 2009 ; Bardin et Moesch, 2013 ; Belin-Munier, 2013 ; Morganti *et al.*, 2013), la mutualisation logistique urbaine (Gonzalez-Feliu et Morana, 2011 ; Senkel *et al.*, 2013 ; Belin-Munier, 2015 ; Gonzalez-Feliu et Battaia, 2014 ; Boudouin *et al.*, 2015), ou la notion de proximité (Capo et Chanut, 2013 ; 2015 ; Blanquart et Carbone, 2014 ;), entre autres.

De cet état de l'art non exhaustif nous pouvons conclure que la qualification de la logistique urbaine durable ne suit pas une logique standard ou unifiée et que souvent, par cette absence d'unification, les cas présentés par différents auteurs sont difficilement comparables. De plus, la plupart des travaux se limitent à présenter les bonnes pratiques en logistique urbaine, sans forcément proposer une évaluation qui permette de les comparer à d'autres ou de servir de base pour des expériences ultérieures. De plus, les travaux comparatifs et ceux sur la transférabilité et applicabilité de ces pratiques restent peu nombreux.

Il est donc indispensable de mettre de l'ordre dans cette pléthore de travaux et de proposer des cas plus systématisés et unifiés de façon à créer une socle commun de connaissances et à pouvoir mettre en relation et comparer une nouvelle expérience à d'autres déjà réalisées.

### **2.3. Une vision univoque de la logistique urbaine durable et des difficultés d'évaluation des impacts du TMV**

De cette diversité de méthodes et techniques de production de données découle une pléthore de travaux et recherches, de nature et objectifs différents (comme nous l'avons vu auparavant). Tous ces travaux ont en commun la volonté de quantifier et/ou qualifier la logistique urbaine. De plus, nous observons que cette logistique urbaine a une vision univoque, quoique avec des détails et subtilités qui font que les différentes définitions et approches ne coïncident pas à cent pour cent. Néanmoins, ce qui est univoque est le fait que cette logistique urbaine doit aller dans le sens de la durabilité : la logistique urbaine doit donc être durable. Les objectifs principaux de cette logistique urbaine restent pour la majorité de travaux la diminution de la congestion, les émissions de gaz à effet de serre et polluants, le bruit et l'amélioration de la qualité de vie. Même dans les cas d'actions privées (Delaître et de Barbeyrac, 2012) la question de l'environnement et de la société ne sont pas négligées.

Néanmoins, mis à part cette volonté de durabilité, la déclinaison concrète de cette logistique urbaine durable se fait suivant des principes et méthodes très différentes les unes des autres. Vu la diversité de méthodes et techniques pour appréhender la logistique urbaine et la quantifier et

qualifier, et vu la multitude d'acteurs impliqués, les travaux qui en découlent ne sont pas toujours comparables. L'autre dénominateur commun des travaux en logistique urbaine est donc le manque d'unification et de références pour assurer une comparaison.

Cela résulte en partie de la difficulté d'évaluer les impacts du transport de marchandises en ville (TMV). Bien que plusieurs travaux proposent des méthodologies plus ou moins gourmandes en données pour évaluer les pratiques et expérimentations de logistique urbaine (Albergel *et al.*, 2006 ; Henriot *et al.*, 2008), dans la pratique ces méthodologies sont restées marginales. En effet, chaque praticien évalue avec les données dont il dispose les critères qui sont jugés (par lui ou sa hiérarchie) importants, mais sans se soucier de savoir si ces résultats reposent sur une même base que les autres ou s'ils sont comparables à ceux d'autres évaluations. Ce qui en soi est important – ces retours de terrain et études de cas permettent de construire une connaissance sur la base de l'évidence – mais lorsque la vision de la logistique urbaine durable et des références de base n'est pas toujours unifiée, il est difficile de se repérer ou de s'inspirer des cas existants pour développer des solutions de logistique urbaine. Ce qui explique, par exemple, que plus d'une centaine de CDUs ont vu le jour en Europe mais moins de 30 restent aujourd'hui opérationnels (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013f).

Ce qui est devenu un standard dans le pilotage de la chaîne logistique (à travers des tableaux de bord avec des indicateurs bien identifiés et qui, même s'ils sont modulables, ils sont calculés selon des procédures acceptées et adoptées internationalement) ne semble aujourd'hui pas possible en logistique urbaine. Ces difficultés d'évaluation semblent liées à plusieurs causes :

- aux les méthodes de quantification et de qualification, qui ne sont pas souvent unifiées et normalisées ;
- à l'accès aux données, souvent restreint. Les évaluateurs de la logistique urbaine font souvent face à une absence de données ou à une forte confidentialité des sources, ce qui limite le pouvoir d'action dans le calcul d'indicateurs pour l'évaluation ;
- à l'absence d'un référentiel de base. Chaque évaluation est faite avec des méthodes différentes et, par conséquent, en utilisant une situation de référence spécifique. Néanmoins, il semblerait pertinent de définir un référentiel de base auquel faire appel lors qu'une évaluation est faite, pour pouvoir se comparer à d'autres expériences ou à des pratiques moyennes ou prédominantes de logistique urbaine ;
- au manque d'unification des approches d'analyse. En effet, bien que plusieurs auteurs se soient concentrés sur la proposition d'indicateurs, il n'existe pas, aujourd'hui un référentiel unifié ni sur les méthodes de calcul ni sur les éléments de base à prendre en compte.

### **3. La définition d'une logistique urbaine durable**

Comme nous l'avons vu ci-dessus, la principale difficulté dans l'évaluation de la logistique urbaine dérive de deux faits : le premier est le manque d'une définition standard et acceptée par les différentes communautés de recherche et de pratique ; le deuxième est lié à la diversité de méthodes et approches de quantification, qualification et évaluation de la logistique urbaine, qui ne permet pas toujours une comparaison entre différentes actions ou expériences sur une



base unique. Néanmoins, la deuxième question dérive de la première, dans la mesure où il est très difficile (voire impossible) de produire une comparaison entre deux évaluations si l'objet de l'évaluation n'est pas défini selon les mêmes bases et référentiels. Pour cela, une définition univoque de la logistique urbaine durable est nécessaire. Sans avoir l'objet d'imposer ou standardiser une définition précise, nous proposons ici la vision de la logistique urbaine durable qui a guidé les travaux présentés dans ce mémoire, et qui se veut la plus large possible.

Pour cela, nous présentons deux visions différentes de la durabilité dans le transport et la logistique, pour ensuite définir la logistique urbaine et ses différentes composantes. A partir de ces deux groupes de définitions, une première proposition de caractérisation d'une logistique urbaine durable sera effectuée.

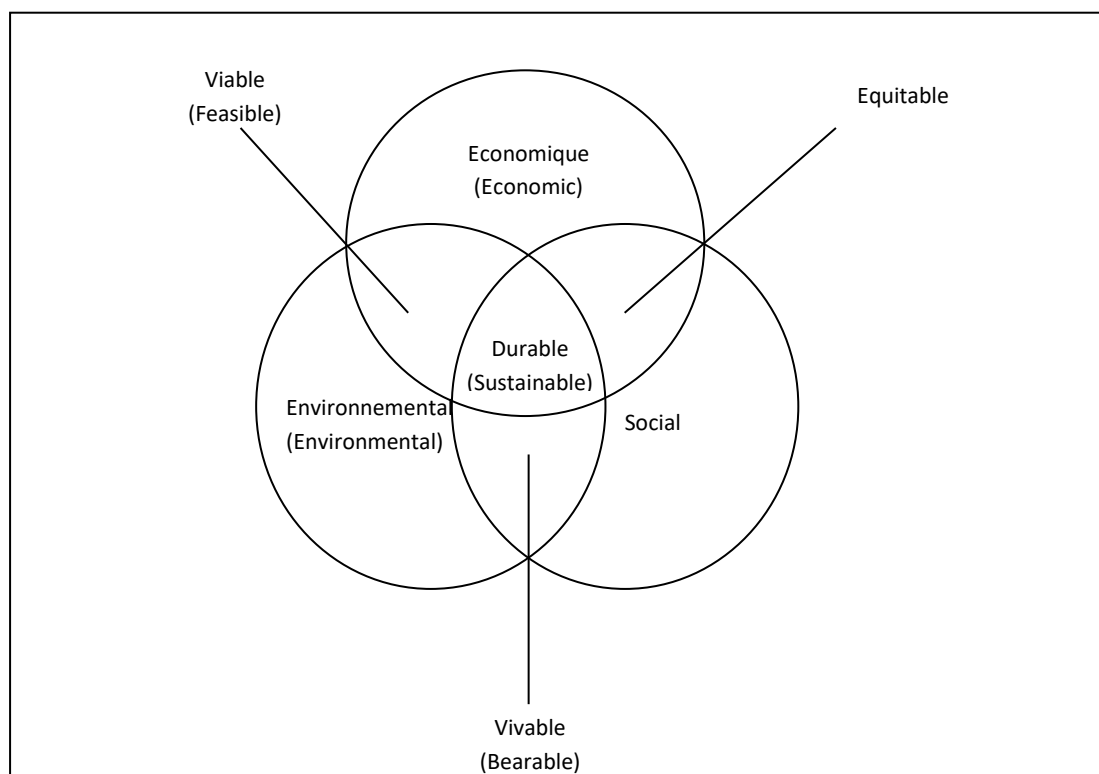
### **3.1. Les composantes de la durabilité**

Le développement durable est à la base un principe d'organisation de la vie humaine sur une planète qui contient un ensemble fini de ressources. Ce principe vise à amener les sociétés humaines à un état futur souhaitable lorsque les conditions de vie et l'utilisation des ressources répondent aux besoins humains sans porter atteinte à la viabilité des systèmes naturels et de l'environnement, de sorte que les générations futures puissent aussi avoir leurs besoins satisfaits (Stivers, 1976). Cette notion a été depuis généralisée et acceptée univoquement par la société, notamment grâce à la signature de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (Depledge, 2000), aussi connue comme Protocole de Kyoto. Ce traité établit des obligations contraignantes sur les pays industrialisés pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (cela étant la partie la plus connue du grand public), mais introduit également le besoin que le monde soit conscient de l'importance que la durabilité a sur la conservation de notre planète. Toutefois, le protocole de Kyoto porte principalement sur le respect des ressources de l'environnement et de l'énergie. Depuis, plusieurs travaux ont étendu cette vision pour en donner une plus globale. Dans les transports et la logistique, la durabilité comporte généralement trois principales sphères (Morana, 2013) :

- La *sphère économique* est en général celle qui prédomine en transport et en logistique. Tout d'abord, les systèmes logistiques et de transport doivent être économiquement viables. En d'autres termes, une chaîne logistique ou un système de transport doit être économiquement viable pour assurer sa continuité dans le temps. En logistique, la sphère économique du Supply Chain Management (SCM) est la plus connue, comme le montrent de nombreux travaux et les besoins dans la pratique à la fois pour réduire les coûts et/ou les délais ainsi que pour maximiser la qualité du service aux clients (Christopher, 2000 ; Gunasekaran et Kobu, 2007 ; Lambert, 2008).
- La sphère environnementale a toujours été vue comme une contrainte dans la logistique et le transport de marchandises, et les acteurs concernés n'agissent que lorsqu'ils y sont obligés. Ce n'est dans les années 90 qu'il a été vu comme une opportunité, lorsque le Green SCM trouve sa reconnaissance dans la littérature scientifique (Srivastava, 2007). Dans ce domaine, nous trouvons plusieurs concepts tels que l'éco-conception (ADEME, 2006) et l'éco-design (Michelini et Razzoli, 2004), la logistique retour (Lambert et Riopel, 2003) et la logistique inverse (Rogers et Tibben-Lembke, 1999).

- Enfin, la *sphère sociale*/sociétale n'est pas à prendre à la légère. En effet, une solution logistique durable doit tenir compte des aspects sociaux mais aussi de ceux liés aux aspects sociétaux de l'organisation dans laquelle elle s'insère (Morana, 2013). D'où le développement, dans les dernières années, des notions de responsabilité sociétale des entreprises (RSE) qui est aussi arrivée au secteur des transports et de la logistique, principalement portée par la grande distribution. Cette sphère sociale est basée sur la gestion des ressources humaines (Gond, 2006) et les impacts sur la société et l'environnement humain (Gonzalez-Feliu et Morana, 2010). Dans ce contexte, il est important de considérer à la fois les parties prenantes intra-organisationnelles (*i.e.* internes à l'entreprise ou à l'organisation considérée) et celles inter-organisationnelles (et donc externes).

Pour cette vision classique, un point de vue élargi du développement durable fondé sur six domaines interconnectés a également été définie dans la littérature, et commence à être vue en logistique urbaine (Lindholm, 2010 ; Patier et Browne, 2010). Les trois sphères classiques du développement durable peuvent être interfacées avec trois autres sphères plus transversales comme le montre la Figure 1 :



**Figure 1.** Composants de la logistique urbaine durable (Lindholm, 2010, adapté de Stivers, 1976)

Dans cette vision de la durabilité la viabilité – ou faisabilité – est définie comme le respect d'un ensemble de critères économiques et environnementaux. Lorsqu'on parle d'évaluation, les indicateurs de viabilité seront alors définis quand ils intègrent à la fois des aspects économiques et environnementaux. La vivabilité touche aux aspects environnementaux et sociaux, *i.e.* à l'amélioration de la qualité de vie. Ils traitent à la fois le respect de l'environnement et l'équité

sociale. Enfin, l'équité est définie comme le respect à la fois de critères économiques et sociaux, principalement liés à la répartition équitable des ressources et gains économiques ou le respect des contraintes sociales, mais en gardant une vision économique.

Cette vision a été déclinée sur la question du rapport entre logistique et territoire (Masson et Petiot, 2012). La sphère économique serait donc reliée à la question de la performance logistique, celle environnementale à la durabilité de l'environnement et celle sociale à l'équité de l'espace. Les combinaisons de ces trois sphères (logistique viable, vivable et équitable) restent équivalentes à celles de la figure 1, puis les auteurs s'interrogent sur les conditions sous lesquelles une logistique durable peut être définie. Les auteurs, contrairement aux logiques classiques des trois sphères, montrent un antagonisme entre la performance logistique (sphère économique) et l'équité spatiale (sphère sociale), ainsi qu'entre cette dernière et l'environnement durable (sphère environnementale). Néanmoins, la performance logistique ne serait pas, selon les auteurs, en antagonisme avec l'environnement durable, de même que souligné par différents auteurs en logistique qui montrent la tendance de la performance logistique vers une vision environnementale de la gestion de la logistique globale (Green supply chain management, Srivastava, 2007).

Une vision alternative du développement durable a été proposée récemment, principalement liée au transport, que ce soit de personnes ou de marchandises (Macharis et Kin, 2016). Au lieu de cela sur des sphères classiques, elle propose de voir le développement durable sur la base de quatre caractéristiques, connues comme les quatre « A » (car chacune de ces caractéristiques, dans sa dénomination anglophone, commence par « a »). Néanmoins, nous l'appellerons ici les quatre capacités, car chaque caractéristique représente une capacité que tout système de transport durable doit avoir :

- La sensibilisation ou **capacité de connaître et comprendre** peut-être définie comme l'état ou de la capacité de percevoir, de sentir ou d'être conscient des événements, et plus précisément de la réalité que le système de transport représente. La première étape pour le développement durable est alors de prendre conscience des besoins d'actions.
- La **capacité d'agir et changer** est définie par Macharis et Kin (2016) comme la réactivité et la capacité à réaliser un rapport modal afin de réduire les nuisances du transport. Si nous souhaitons l'étendre à tout transport (de personnes ou de marchandises) nous prendrons cette définition comme la réactivité et la capacité à changer le système de transport, que ce soit par le véhicule ou le mode que par le système d'organisation. La deuxième étape de la durabilité peut être considérée comme le volontarisme pour changer les modes et les organisations de transport à ceux plus propres et plus socialement équitables.
- De tels changements ne seront toutefois pas être efficaces sans la notion d'évitement, *i.e.* la **capacité d'éviter** d'augmenter les nuisances de la logistique et du transport de marchandises. En effet, la troisième étape de la durabilité est celle d'agir pour éviter, au lieu d'avoir à réparer plus tard.
- Enfin et surtout, cette capacité à éviter doit être combinée avec une volonté d'anticipation. En effet, la quatrième phase de la durabilité est la **capacité d'anticipation**, *i.e.* de prévision et d'identification des éventuelles nuisances de

logistique et de transport de marchandises à l'avance pour avoir la possibilité de les éviter.

Bien que ces visions soient complémentaires, elles ne sont pas toujours articulées entre elles actuellement. Les trois sphères semblent être adoptées et comprises par la grande majorité des acteurs, mais les articulations entre ces trois sphères ne sont pas toujours si simples à comprendre et à mettre en place. Cette vision est utilisée pour définir si un système est ou non durable. La vision des quatre capacités semble plus prospective et permet de définir la prédisposition d'un système de transports à devenir durable. Elle permet d'identifier les potentiels d'amélioration et la disposition du système considéré vis-à-vis de ce changement.

Mais pour pouvoir opérer ces changements, il est important de connaître. Et pour connaître il est important d'avoir une définition claire des flux et des acteurs de la logistique urbaine. Les deux paragraphes suivants présentent respectivement les flux attribués au transport de marchandises en ville et les principaux acteurs de la logistique urbaine.

### **3.2. Les flux considérés dans le transport urbain de marchandises**

La catégorisation des flux attribués au transport de marchandises en ville a été une question abordée par différents auteurs au long des quarante dernières années (Watson, 1975 ; Ogden, 1992 ; Woudsma, 2001 ; Ségalou *et al.*, 2004 ; Cattaruzza *et al.*, 2015). Pendant plus de vingt ans les auteurs n'avaient pas une vision unifiée des flux du transport de marchandises en ville, et cela malgré les efforts de plusieurs auteurs pour mettre de l'ordre (Woudsma, 2001 ; Ségalou *et al.*, 2004 ; Russo et Comi, 2006). Néanmoins, à partir de 2010, une vision unifiée commence à s'imposer dans la communauté scientifique. Cette vision, qui dérive des travaux d'Albergel *et al.* (2006), a été ensuite complétée par ceux de Russo et Comi (2010) et Gonzalez-Feliu *et al.* (2010b, 2012c). Le transport de marchandises en ville serait donc divisé en trois catégories de flux selon l'origine et la forme des parcours et chaînes de transport.

La catégorie la plus connue est celle des flux inter-établissements (Ségalou *et al.*, 2004), qui comprennent tous les flux de transport entre deux activités économiques (donc une grande majorité des flux B2B urbains). Telle est la définition la plus courante de transport urbain de marchandises (Woudsma, 2001), mais elle représente seulement entre 45 et 55% du total des questions d'occupation des routes de transport urbain de marchandises (Ségalou *et al.*, 2004).

La catégorie qui contribue le plus aux nuisances du transport de marchandises en ville (plus de 50% du taux d'occupation de la route d'après Ségalou *et al.*, 2004) est celle des déplacements du consommateur final (Russo et Comi, 2006), à savoir les mouvements des marchandises depuis les lieux de vente ou les entrepôts terminaux et à destination du consommateur final. Ces flux contiennent les déplacements d'achats des ménages (qu'ils soient motorisés ou non) et les flux B2C, *i.e.* les flux de transport entre une activité économique et un particulier.

Enfin, la troisième catégorie est celle des mouvements de gestion urbaine (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014f). Bien que souvent associée à des flux résiduels ou accessoires (Patier, 2002), cette catégorie est loin d'être négligeable, car elle représente entre 8 et 10% du taux d'occupation de la route (Ségalou *et al.*, 2004). Néanmoins, elle semble la plus difficile à caractériser, car elle est la plus hétérogène. En effet, sont inclus dans cette catégorie les flux liés à la collecte des

déchets, ceux de la construction et la maintenance de bâtiments, infrastructures et réseaux, la distribution du courrier ou les déménagements, entre autres.

Avec cette typologie, beaucoup d'auteurs s'y retrouvent, mais l'ensemble des flux n'est pas considéré par tous. En effet, les déplacements inter-établissement sont souvent mis en avant (parfois seuls les derniers kilomètres ou les livraisons aux commerces sont considérées) mais aujourd'hui la plupart des acteurs sait positionner les flux qu'ils considèrent par rapport à l'ensemble des trois catégories. De plus, avec l'explosion des services B2C et les nouvelles formes de commerce, les déplacements du consommateur final sont devenus tout aussi connus, même s'ils restent encore moins étudiés. Enfin, les flux de la construction et ceux liés au traitement des déchets commencent à être explicitement mis dans les plans de déplacements urbains et les plans d'action des communes, et deviennent un sujet d'intérêt aussi pour la communauté scientifique.

### 3.3. Les acteurs impliqués et leurs enjeux

La logistique urbaine est souvent associée au dernier kilomètre de livraison (Taniguchi *et al.*, 2001 ; Woudsma, 2001). Néanmoins, le terme « logistique urbaine » englobe un ensemble de flux logistiques qui ne comprennent pas seulement le dernier kilomètre de livraison aux commerces. D'après les enquêtes nationales marchandises en ville (LET, 1996,1999a,b), 40 % des flux (en km.EVP<sup>5</sup>) relèvent de l'ensemble de livraisons et enlèvements de marchandises dans la ville, 50 % concernent l'approvisionnement des ménages (déplacements motorisés pour achats et livraisons à domicile), les 10 % restant concernant les flux nécessaires à la gestion des réseaux urbains et autres activités collectives (gestion des déchets, BTP, maintenance de la voirie, etc.). Dans ce contexte, une multitude et une grande variété d'acteurs sont concernés par la logistique urbaine.

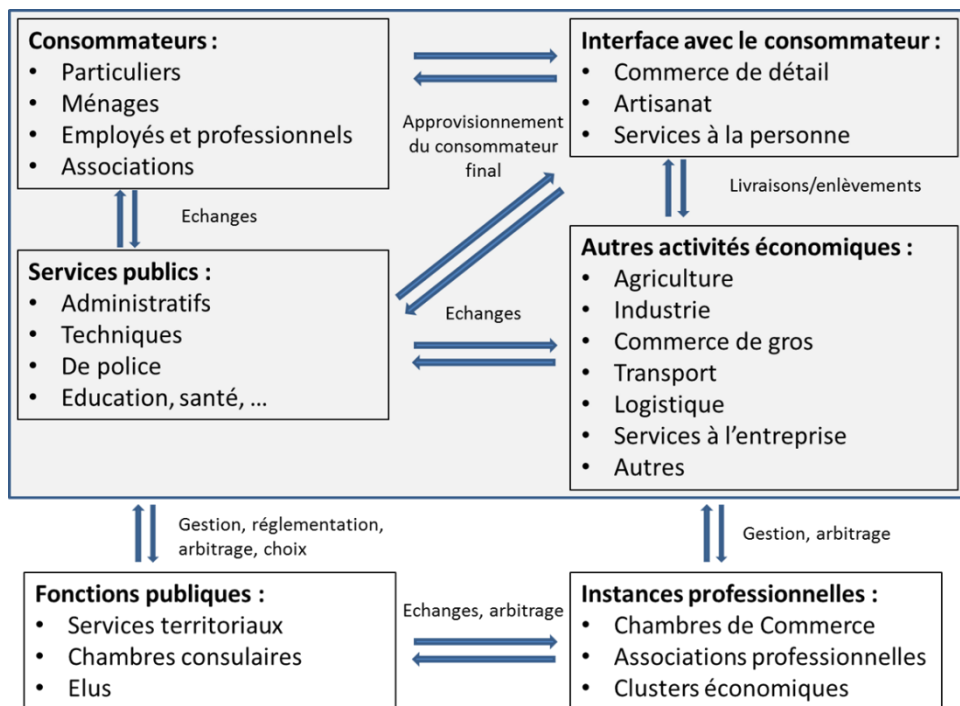
Nous observons dans la littérature plusieurs auteurs ayant étudié les acteurs de la logistique urbaine (Dablanc, 1998 ; Boudouin et Morel, 2002 ; Chanut *et al.*, 2012 ; Abdelhai, 2013 ; Boudouin *et al.*, 2014), en proposant des agrégations et classifications différentes mais toujours basées sur la notion d'acteurs publics et privés. Gonzalez-Feliu et Battaia (2014) introduisent la notion d'« utilisateurs » de l'espace et les « planificateurs » de l'espace, *i.e.* les acteurs qui interagissent dans le territoire urbain, et définit un ensemble d'acteurs, principalement publics, qui n'ont pas cet ancrage « terrain ». Cette notion d'ancrage « terrain » nous semble importante pour comprendre les différents acteurs et leur position divergente en termes de mutualisation logistique. En complétant les travaux de Gonzalez-Feliu et Battaia (2014), nous proposons de classer les acteurs non par leur appartenance au secteur public ou privé mais par leur rapport direct (dans leurs fonctions) avec le terrain et donc avec l'espace et le territoire.

Nous pouvons ainsi définir deux catégories d'acteurs. La première catégorie est celle des « utilisateurs » de l'espace. Ce sont les acteurs ancrés dans le territoire et dont leurs fonctions ont un impact direct sur l'occupation (statique ou dynamique) de cet espace. Ces acteurs peuvent être à la fois classifiés en 4 catégories : les consommateurs de biens, les fonctions d'interface avec le consommateur, les services publics dans le territoire (donc opérationnels et

---

<sup>5</sup> Equivalent Voiture Particulière.

non de planification) et les autres activités économiques nécessaires au fonctionnement de la ville. La deuxième catégorie est celle des « organisateurs » de l'espace et concerne un groupe d'acteurs (principalement publics) dont le rôle est de planifier et d'organiser l'espace urbain. Du décideur aux différents services techniques territoriaux, ces fonctions ont un lien direct avec l'aménagement du territoire et l'urbanisme. Dans cette catégorie nous incluons des institutions (publiques ou privées) de concertation ou les groupements de professionnels. Sans fonction purement « territoriale », ces acteurs ont une influence directe sur les choix et reflètent les positions des acteurs économiques de la ville.



**Figure 2.** Les différents acteurs de la ville selon une classification fonctionnelle en rapport direct avec l'espace (d'après Gonzalez-Feliu, 2012c)

### 3.3.1. Les consommateurs de l'espace urbain

Les utilisateurs de l'espace urbain sont les acteurs qui occupent l'espace et qui produisent principalement les flux de transport de marchandises en ville. Ils ont besoin de ces flux car ils doivent recevoir (et/ou expédier) ces marchandises pour le bon fonctionnement des différentes activités de la ville (ou pour le bon fonctionnement de la ville elle-même) mais subissent aussi les nuisances du trafic (personnes et marchandises confondues). Les trois principaux sous-groupes d'utilisateurs de l'espace sont les suivants :

- Les activités économiques de la ville, qui représentent environ 46% de l'occupation de la voirie<sup>6</sup> par des véhicules en circulation et 26% en stationnement. Ces activités peuvent être réparties comme suit :

<sup>6</sup> Les pourcentages d'occupation de la voirie par des véhicules en circulation et en stationnement ont été estimés dans Cataruzza et al. (2014) sur l'aire urbaine de Lyon en utilisant des données de 2005 et 2006 (fichier SIRENE et Enquête Ménages Déplacements).

- Les activités de production agricole et industrielle.
- Les activités de distribution et de commerce de gros.
- Les commerces de détail et les grandes surfaces de vente.
- Les activités de services et le secteur tertiaire.
- Les professionnels du transport et de la logistique.
- Le consommateur final, qui contribue (directement ou indirectement) à 46% de l'occupation de la voirie par des véhicules en circulation mais à environ 64% du stationnement (en temps).
- Les activités logistiques de développement et maintenance de l'espace urbain (BTP, construction et maintenance des réseaux, collecte des déchets et ordures ménagères et municipalités, entre autres, qui représentent environ 8% des taux d'occupation de la voirie tant en circulation qu'en stationnement.

### **3.3.2. Les organisateurs de l'espace urbain**

Les organisateurs de l'espace urbain sont tous les acteurs (publics ou privés) dont le rôle est de préparer, développer, coordonner et organiser l'espace urbain pour une gestion efficace des ressources. Cette mission est souvent associée aux acteurs publics et plusieurs auteurs soutiennent qu'il est indispensable une montée en compétences des autorités publiques pour avoir juridiquement un rôle d'organisateur en matière de transport de marchandises. Néanmoins, plusieurs acteurs privés jouent aujourd'hui ce rôle, avec des résultats tout à fait remarquables. Les principaux sous-groupes d'organisateur de l'espace urbain sont les suivantes :

- Les autorités publiques avec un rôle législateur compétent (y compris leurs différents services techniques) : municipalités, communautés d'agglomération, départements, régions, etc.
- Les autorités publiques avec un rôle technique ou d'expertise mais sans rôle législateur compétent : Agences d'urbanisme, régions urbaines, instances macro-régionales ou européennes, etc.
- Les instances professionnelles : associations de commerçants, fédérations de transporteurs, chambres de commerce et d'industrie, clusters économiques, pôles de compétitivité, etc.
- Les bureaux techniques et activités d'études et de recherche (publiques ou privées) autour de la ville et du transport : services techniques du Ministère du développement durable et de l'ADEME, organismes de recherche (publique ou privée), acteurs de l'immobilier logistique, etc.

### **3.3.3. Les enjeux de la logistique urbaine : une logique multi-acteurs**

Il ressort de cette diversité d'acteurs que les objectifs et les enjeux des uns et des autres sont différents et parfois opposés. Néanmoins, nous pouvons résumer ces enjeux en 3 grands groupes par type d'acteur, proposés comme suit.

Pour les consommateurs de l'espace urbain, les enjeux en termes de transport de marchandises en ville ont un lien avec l'activité de chaque acteur et avec des questions individuelles (d'entreprise pour les activités économiques, de ménage ou de personne pour les particuliers, de division ou service pour les entités publiques). Elles peuvent être synthétisées par la triade coût-qualité-temps, *i.e.* la réduction des coûts d'acheminement (ou d'acquisition) des marchandises nécessaires, l'amélioration de la qualité (vue sur diverses formes par les différents auteurs, mais obéissant dans tous les cas à une logique de « qualité ») et la réduction des temps d'attente ou de gaspillage (*i.e.* favorisation du temps utile).

Pour les organisateurs de l'espace urbain, la vision est collective et concerne la ville (ou l'espace urbain traité). Les enjeux, dans ce cas, peuvent se ramener à la notion de durabilité selon trois angles de vue : viabilité, vivabilité et équité. La ville doit être un espace dont les activités et les ménages qui s'y installent et y vivent sont viables et durent dans le temps. Pour cela, il est important que les villes soient fonctionnelles et que les activités nécessaires à la vie de la ville se développent aux endroits prévus à cet effet. La ville doit être aussi un endroit vivable, moins pollué, avec moins de nuisances sonores et plus sûr. Enfin, elle doit être aussi un endroit équitable, et les organisateurs de l'espace urbain doivent veiller aux équilibres qui permettent et favorisent cette équité.

Ces enjeux n'étant pas en principe contradictoires, il se peut que pour certains aspects ils soient en opposition. Par exemple, une action qui permet de réduire la congestion (et donc d'améliorer la qualité de vie de la ville) peut avoir des impacts importants sur les coûts de livraison, qui pourraient augmenter pour certains transporteurs et être répercutés aux chargeurs ou consommateurs. De plus, les différentes expériences où un acteur impose des choix aux autres de manière forte ont fini par devenir non durables et la plupart ont été arrêtés. Deux exemples restent encore en fonctionnement : le CDU de Monaco et le CDU de Vicenza (Italie) mais, dans le premier cas, la réglementation particulière de la Principauté et ses caractéristiques géographiques justifient le choix d'imposer l'arrivée de toute marchandise dans un centre de distribution urbaine (CDU) unique ; dans le deuxième, le périmètre d'action du CDU reste petit (deux rues principales et quelques rues secondaires) et néanmoins les transporteurs ont porté plainte et gagné un procès en première instance, bien que finalement la ville ait gagné le recours compte tenu de la spécificité de la ville et le périmètre trop petit pour devenir un cas transférable (Dablanc *et al.*, 2010). D'ailleurs, dans sa sentence finale, la haute instance juridique italienne a mis en avant le fait que Vicenza était un cas particulier et que sa décision ne devait en aucun cas être prise comme une règle, mais comme une exception. Dans ce contexte, il nous semble difficile d'établir des priorités dans la chaîne de décision pour donner à un acteur (ou types d'acteurs) un pouvoir en matière de décision qui exclut l'avis des autres parties. D'ailleurs, et comme le signalent Gonzalez-Feliu *et al.* (2013d), dans les décisions multi-acteurs concernant la mutualisation logistique, il est difficile de trouver une solution qui satisfasse tout le monde et il est donc indispensable de négocier et tendre vers un consensus pour choisir une solution (après d'éventuels mécanismes de compensation, si nécessaire) qui soit acceptée par tous les acteurs, même si certains seront conscients (et accepteront donc) des éventuelles pertes ou perturbations de fonctionnement par rapport aux pratiques actuelles.

### **3.4. Les visions de la logistique urbaine durable**

#### **3.4.1. Les principales définitions de la logistique urbaine**



Bien que la logistique urbaine soit un sujet très populaire en recherche (comme dans la pratique), les termes utilisés par les différents auteurs ou praticiens diffèrent souvent. De plus, même si plusieurs tentatives d'unification des notions et définitions ont été réalisées récemment, nous observons aujourd'hui plusieurs visions de la logistique urbaine qui méritent d'être considérées et comparées.

En ce qui concerne les flux considérés, une majorité d'auteurs et praticiens limitent leur champ d'action au dernier kilomètre de livraison des commerces (Taniguchi *et al.*, 1999 ; Crainic, 2008 ; Macharis et Melo, 2011). En effet, les premiers travaux quantitatifs sur la logistique urbaine étaient liés aux livraisons des zones commerciales (Demetsky, 1974) et les premiers auteurs parlant de la logistique urbaine soulignaient les livraisons aux commerces comme les flux principaux à prendre en compte (Ruske, 1994 ; Kolher, 1997 ; Taniguchi et Thompson, 1999).

Une vision plus large est celle de l'« urban goods transport » qui considère l'ensemble des déplacements inter-établissements (qui, comme sous l'avons vu auparavant, ne représentent qu'environ 40% des taux d'occupation de la voirie du transport de marchandises en ville). En effet, beaucoup d'auteurs considèrent que le transport urbain de marchandises n'est lié qu'aux flux B2B (Woudsma, 2001 ; Behrends *et al.*, 2008).

Une autre vision du transport urbain de marchandises est celle préconisée par Dablanc (1998, 2007). Ici, les flux considérés sont ceux réalisés par des professionnels du transport ou par des acteurs économiques en compte propre, mais qui incluent les livraisons aux particuliers (Durand, 2009).

La vision la plus large, qui inclut l'ensemble des flux présentés auparavant, a été formalisée par Patier (2001, 2002). Cette vision est de plus en plus acceptée par la communauté (Russo et Comi, 2004, 2006 ; Lindholm, 2013).

Néanmoins, il n'y a pas de définition standard de « transport urbain de marchandises ». Bien que le Ministère du Développement Durable<sup>7</sup> considère le « transport de marchandises en ville » relevant de cette dernière notion, les chercheurs et praticiens en restent souvent à des définitions plus restrictives, souvent (encore) liées aux livraisons des commerces et des particuliers.

De même, la définition de logistique urbaine ne suit pas un standard. Néanmoins, dans les dernières années, trois définitions majeures cohabitent. La première est celle de la « city logistics » (Taniguchi *et al.*, 2001), définie comme le processus d'optimisation totale des activités logistiques et de transport par les entreprises privées dans les zones urbaines en tenant compte de l'environnement, le trafic et la consommation d'énergie dans le cadre d'une économie de marché. Cette définition présente selon plusieurs auteurs deux restrictions majeures : la première est qu'elle limite la logistique urbaine au transport réalisé par des entreprises, en laissant de côté les transports réalisés par les particuliers (principalement les déplacements d'achat) et une partie des flux de la gestion urbaine ; la deuxième est la vision de

---

<sup>7</sup> Actuellement (septembre 2016), sa dénomination officielle est Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer

pure optimisation qui ne correspond pas toujours aux possibilités d'action ou d'acceptation réelles. La deuxième définition, qui vient des visions française (Routhier, 2002) et anglaise (Anderson *et al.*, 2005) est traduite en anglais comme « urban logistics », et peut être définie comme le domaine pluridisciplinaire qui vise à comprendre, étudier et analyser les différentes organisations et les systèmes logistiques, les acteurs et les actions de planification et de gestion visant à améliorer le transport de marchandises et la logistique dans les zones urbaines et de les combiner de manière synergique afin de pour diminuer les principales nuisances liées à ce transport (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014d). Cette vision est plus large et couvre l'ensemble des flux de marchandises, dans un espace plus large que le centre-ville. Néanmoins, elle est très liée à la recherche et semble limiter le champ d'action à la compréhension et l'analyse. Une autre définition est proposée par Rodrigue et Dablanc (2014) avec une vision de géographie urbaine des transports, et considère la logistique urbaine comme les moyens avec lesquels la distribution de marchandises peut avoir lieu dans les zones urbaines, ainsi que les stratégies qui peuvent améliorer son efficacité globale tout en atténuant la congestion et les impacts sur l'environnement. Cette troisième définition reste aussi restrictive dans les flux considérés, mais donne une définition plus neutre et générale du champ d'action.

Chacune de ces définitions présente des aspects intéressants mais aussi des limites. Pour cela, il est important de proposer une définition générale de la logistique urbaine (durable) qui intègre les trois définitions en prenant les points forts de chacune pour donner un champ le plus général et le moins limité possible. Néanmoins, avant de proposer cette définition, il est important d'analyser une autre question : celle de la vision que les différents acteurs se font de la logistique urbaine en termes des types d'actions et les acteurs légitimes à y intervenir. Deux visions souvent antagoniques sont observées : celle de la logistique urbaine comme conséquence de la recherche d'une utilité collective et celle de la logistique urbaine comme un moyen de rendre efficace la distribution de marchandises.

### **3.4.2. Vision d'utilité collective contre vision de rentabilité individuelle**

Nous avons vu que la logistique urbaine a ses origines dans la Rome antique. Des recherches historiques sur la logistique de la capitale (Virlovet, 2000, 2006) nous pouvons constater que la logistique urbaine à Rome, très liée à l'approvisionnement en nourriture de la capitale impériale, était gérée par un préfet (le *Praefectus annonae*) qui disposait d'un budget ainsi que de pouvoirs de décision et d'action (Petit, 1974). Ensuite, et pendant plusieurs siècles, les villes n'ont pas eu de vraie régulation et organisation de la logistique et du transport de marchandises. D'ailleurs, même dans les années 80, les actions des pouvoirs publics se limitaient à des questions de localisation des activités ou à la gestion des émergences (Crainic *et al.*, 2004). Ce n'est qu'au milieu des années 90 que certains pays, la France en premier, commencent à envisager la régulation systématique du transport de marchandises en ville (Gonzalez-Feliu, 2008).

Cette régulation part d'un besoin collectif, du fait que les villes sont des espaces partagés et multifonctionnels. De plus, les besoins de régulation et d'action en termes de logistique urbaine naissent du constat que les villes sont de plus en plus encombrées et polluées. Le transport de personnes est, quant à lui, régulé par les pouvoirs publics depuis plus longtemps que celui des marchandises. Or les deux composantes du transport urbain (personnes et marchandises)

interagissent entre elles et contribuent aux nuisances urbaines. La réduction de ces nuisances est une nécessité qui concerne la ville comme système et comme espace commun. Et qui peut gérer l'espace commun mieux que les collectivités ?

En conséquence, et suivant cette vision d'utilité collective (*i.e.* d'amélioration de la qualité de vie), les premières actions de logistique urbaine en France (mais aussi en Italie ou aux Pays Bas, par exemple) suivent cette vision d'utilité collective. Cette vision est propre aux organisateurs de l'espace qui, pour l'organiser, ont besoin de réguler, et d'avoir une vision globale et neutre. Néanmoins, certains auteurs préconisent un besoin de donner aux régulateurs de plus en plus de pouvoirs pour réguler, ce qui va à l'encontre de la vision des entreprises et crée des conflits. En effet, si sur plus d'une centaine de centres de distribution urbaine, moins d'une vingtaine sont aujourd'hui opérationnels, les raisons principales de cet échec sont liées à la faible acceptation du secteur privé, et cela même dans les contextes où le pouvoir des régulateurs est fort.

Bien que la plupart des acteurs de la logistique urbaine s'accordent sur le fait qu'elle contribue aux nuisances principales du transport urbain, les utilisateurs de l'espace ne sont pas toujours partants pour suivre les régulations imposées par les organisateurs de l'espace. Cela vient du fait que les utilisateurs de l'espace suivent dans leur développement une logique de rentabilité économique. En effet, les acteurs économiques, pour survivre, doivent rentabiliser leurs investissements, réduire leurs coûts et augmenter leurs bénéfices. Or, certaines régulations ou impositions ont un effet négatif sur cette rentabilité économique. D'où le fait que certains pays (principalement l'Allemagne, les Etats-Unis ou le Japon) aient développé une stratégie de logistique urbaine basée sur la libre concurrence et le marché. En effet, les centres de distribution urbaine allemands n'ont généralement pas perçu de subvention publique, et ont eu des durées variables en fonction de la rentabilité que les entreprises associées qui les alimentaient ont eue pendant ces périodes. Bien que peu de plates-formes de ce type soient encore en activité en Allemagne, la logique de rentabilité économique a permis de développer (et rendre pérennes) plusieurs CDU au Royaume-Uni, deux au Japon et un au Chili, entre autres. Néanmoins, la logique de la pure rentabilité économique favorise les grands acteurs économiques au détriment des petits. De plus, la logique de la rentabilité économique est individuelle, alors que la ville constitue un ensemble, un système.

Les deux visions présentées ci-dessus sont souvent perçues comme antagonistes mais elles peuvent être aussi complémentaires. Dans ses travaux sur la dynamique du trafic, Wardrop (1952) définit deux états d'un système de transport : l'optimum du système et l'équilibre de l'utilisateur. En transposant cela à la logistique urbaine, un système obtiendra son optimum global lorsque une vision d'utilité collective est suivie, tandis que l'équilibre de l'utilisateur sera réalisé lorsque chaque individu obtiendra une situation satisfaisante (mais pas forcément optimale) principalement en suivant une logique de rentabilité.

Une logistique urbaine durable est donc une logistique urbaine qui tient compte de ces deux visions. De plus, la durabilité a plusieurs facettes et composantes, qui doivent être prises en considération. Nous devons donc les examiner plus en détail.

### **3.5. Une définition unifiée de la logistique urbaine durable**

A partir de toutes ces considérations, nous proposons ici une définition unifiée de la logistique urbaine durable. Cette définition reprend les différentes notions introduites ci-dessus et sera celle à laquelle nous ferons référence tout au long de ce mémoire.

Dans ce contexte, la logistique urbaine durable sera définie comme l'ensemble des activités logistiques et de transport de marchandises dans une aire urbaine qui respecte les principes suivants :

1. Elles sont économiquement viables, contribuent à l'amélioration de l'environnement et de la qualité de vie ainsi que des aspects sociaux.
2. Elles s'insèrent dans la logique des quatre capacités et ont une vision d'amélioration continue. En d'autres termes les schémas logistiques concernés sont bien identifiés, connus et compris, les possibilités d'action pour changer ont été bien définies, les moyens de réduire les nuisances ont été étudiés et les possibilités d'anticipation proposées. Et cela dans une vision dynamique et continue.
3. Elles prennent en compte les interactions entre les différents acteurs concernés et proposent des solutions qui conviennent aux différentes parties prenantes. En effet, les deux catégories d'acteurs (utilisateurs et organisateurs de l'espace urbain) n'ont pas forcément les mêmes objectifs et visions, donc une logistique urbaine ne sera durable que si l'ensemble des visions a été pris en compte (même si chacun ne sera pas forcément satisfait, mais au moins sa vision doit être prise en considération et les actions justifiées pour que ces acteurs comprennent l'intérêt des actions proposées).
4. La durabilité, en termes de gains par rapport à une référence, doit être quantifiable et qualifiable. En d'autres termes, il est aussi important de produire des résultats quantitatifs pour montrer les gains potentiels ou réels qu'expliquer pourquoi et comment ces gains peuvent être obtenus, les limites des actions proposées et les leviers d'action nécessaires pour y arriver.

De plus, et comme signalé dans Gonzalez-Feliu (2008) et Ville *et al.*, (2013), une solution de logistique urbaine durable est composée des six éléments suivants :

- *Infrastructures*. Du moment où la logistique urbaine occupe l'espace d'une agglomération, les infrastructures deviennent l'élément central de toute solution intégrée de logistique urbaine durable. Nous observons deux types d'infrastructures (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013c) : les infrastructures linéaires, *i.e.* les réseaux routier, ferroviaire et fluvial, et les infrastructures nodales, *i.e.* les espaces logistiques urbains. Des exemples de la première catégorie sont les voies préférentielles, le développement d'infrastructures ferroviaires pour les marchandises (aménagement du réseau ferroviaire et tramway), tandis que, pour la deuxième catégorie, nous pouvons citer les zones logistiques urbaines ou ZLU (Liu et Savy, 2012), les hôtels logistiques urbains, ou HLU (Boudouin *et al.*, 2014) ; les centres de distribution urbaine CDU (Allen *et al.*, 2012 ; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014b), les espaces logistiques de proximité, ELP (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013c), les aires de livraison ou les boîtes logistiques urbaines, BLU (Boudouin, 2006), ou les pôles logistiques alimentaires, ou Food Hubs (Morganti et Gonzalez-Feliu, 2015 ; Palacios-Argüello *et al.*, 2017) entre autres.

- *Organisation logistique et des transports.* Cette composante contient les principales actions dans la conception, la planification et l'optimisation de la chaîne logistique du système. Ces aspects permettent de définir les principales stratégies d'organisation logistique du système. Dans cette composante, nous retrouvons le design et le paramétrage du réseau logistique et de transport (Crainic et Laporte, 1997), la localisation des plates-formes logistiques (Guyon *et al.*, 2015), l'optimisation des flottes, du personnel et des tournées (Cattaruzza *et al.*, 2015) ou la gestion tactique et opérationnelle du transport, entre autres.
- *Technologies.* Une autre composante importante, surtout ces dernières années, est celle des outils et technologies qui aident à améliorer la logistique urbaine et la rendre plus durable. Si, dans la deuxième composante, nous retrouvons les aspects organisationnels et d'optimisation, dans celle-ci nous trouvons tous les aspects techniques et technologiques, sous toutes leurs formes. Néanmoins, nous pouvons regrouper ces technologies en deux principales catégories. Les technologies d'information et de communication (TIC) favorisent l'échange des données, le suivi de la marchandise ou du véhicule ainsi que d'autres opérations de soutien au transport, ce qui peut se traduire en une amélioration de son efficacité, amis qui reste à être bien étudiée et suivie pour éviter des risques et des dysfonctionnements (Savy, 1998 ; Fabbe-Costes, 2007). Les technologies du véhicule, principalement liées à la motorisation ou aux options véhicule permettant d'améliorer la logistique (telles que les hayons élévateurs, les véhicules bi ou tri-température, etc.), permettent un usage plus efficient du véhicule ainsi qu'une réduction des émissions polluantes liées au transport de marchandises.
- *Communication.* Cette composante contient les actions et moyens pour la communication en direction des utilisateurs potentiels du système et des autres acteurs concernés directement ou indirectement par le système de logistique urbaine (Gonzalez-Feliu, 2008). Nous trouvons ici toutes les campagnes de communication visant à présenter et aider à accepter de nouvelles solutions de logistique urbaine, mais aussi les actions de concertation et les réunions entre les différents acteurs pour informer et discuter des possibles améliorations de la logistique urbaine (Gonzalez-Feliu et Morana, 2010).
- *Financement.* Bien que les composantes antérieures soient fondamentales pour assurer la faisabilité technique ainsi que l'acceptabilité d'une solution de logistique urbaine durable, cette composante inclut tous les outils qui permettent à cette solution de se financer et donc devenir économiquement viable (Gonzalez-Feliu et Morana, 2010). Dans beaucoup de systèmes de logistique urbaine, les gains liés à la tarification mise en place ne suffisent pas à couvrir leurs coûts de mise en place. Normalement, des subventions des autorités publiques et l'utilisation à coût faible de plates-formes existantes sont les formes les plus courantes d'aide au démarrage d'un projet de logistique urbaine (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014c). Les coûts opérationnels de ces systèmes peuvent être couverts par les revenus dans certains cas. C'est le cas notamment pour les systèmes où le gestionnaire est aussi l'acteur immobilier logistique.

- *Réglementation*. Enfin, les autorités publiques peuvent mettre en place une législation ou toute autre forme de réglementation pour favoriser l'utilisation du système proposé. Cette réglementation peut être restrictive, en limitant l'accès à certaines parties de la ville et/ou à certains créneaux horaires, principalement pour des raisons environnementales (Dablanc, 2008) ou au contraire fondée sur des avantages accordés aux utilisateurs (Gonzalez-Feliu, 2008).

Bien que toutes les solutions de logistique urbaine durable n'incluent pas forcément l'ensemble de ces composantes, nous les retrouvons dans leur totalité, à des stades différents, dans la plupart des actions innovantes qui ont eu une continuité temporelle. Pour cette raison, nous proposons d'articuler toute solution de logistique urbaine durable en ces six composantes pour en étudier la durabilité.

#### **4. Une analyse des déterminants d'une logistique urbaine durable qui tienne compte des composantes territoriales et organisationnelles**

##### **4.1. La systématisation des études comparatives pour créer un socle de connaissances sur la logistique urbaine durable : exemple des CDU en Europe du Sud-Ouest**

La définition de « bonnes pratiques » est l'un des sujets les plus répandus en logistique urbaine, notamment dans le contexte de projets européens (Rosini, 2005 ; Dablanc, 2007, 2010 ; Bestufs, 2009 ; Dablanc *et al.*, 2011b). Néanmoins, ces études restent principalement très descriptives. Comme nous l'avons vu auparavant, les études comparatives peuvent être un moyen d'apporter une analyse sur ces bonnes pratiques mais elles restent peu utilisées en logistique urbaine. Néanmoins, la production d'études de cas et de retours d'expérience de plus en plus objectifs est nombreuse et une utilisation de ces travaux dans une logique d'alimentation d'une méthode de confrontation entre expériences pourrait permettre une comparaison plus objective des actions de logistique urbaine.

Bien qu'il soit aujourd'hui très difficile (voire impossible) de produire des études de cas avec une méthode de collecte de données unique et transférable contenant à la fois des informations quantitatives et qualitatives, il semble en revanche possible de proposer une méthode de comparaison de ces cas sur une base objective et unifiée. Nous proposons ici donc une méthode pour réaliser des analyses comparatives d'expériences de logistique urbaine. La méthode proposée ne porte donc pas sur la constitution des cas ou des retours d'expérience mais sur la façon dont les informations existantes peuvent être analysées et synthétisées afin de comparer les expériences entre elles. Cette méthodologie a été développée progressivement et ses différentes stades de maturité peuvent être trouvés dans plusieurs travaux proposés de 2010 à 2014 (Gonzalez-Feliu et Morana, 2010 ; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013c,f ; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014b). Elle peut être organisée en sept étapes :

1. Recueil de données sur les cas et synthèse. La première étape de la méthodologie proposée consiste à recueillir l'information existante sur les différents cas existants. Pour cela, les techniques de recherche bibliographique utilisées dans les méthodes systématiques de méta-narratives ont été privilégiées (comme dans Gonzalez-Feliu, 2011, 2013), *i.e.* une première recherche par mots clés, puis par boule de neige, citations de citations, ainsi que par « bouche à oreille » (*i.e.* échange avec des chercheurs et

praticiens lors de colloques et rencontres sur la logistique urbaine), en ne se limitant pas à la littérature scientifique « noble » (articles de revues scientifiques, ouvrages, chapitres d'ouvrage et actes de colloques avec ISBN) mais incluant aussi la littérature grise (thèses, mémoires, rapports de recherche, actes de colloques sans ISBN, documents de travail, documents techniques et de vulgarisation). A partir de cette recherche bibliographique, les expériences ou actions de logistique urbaine jugées comparables entre elles sont sélectionnées.

2. Comparaison préliminaire des cas. Dans un premier temps, un tableau comparatif contenant tous les cas sélectionnés est rempli. Afin de rester synthétique, ce tableau contient peu d'informations mais il est important que toutes les expériences puissent le produire. Les informations principales sont la ville où l'expérience ou action a été proposée, la date de début, l'état actuel (active, en attente ou en étude) et, si non active, la date d'arrêt. Eventuellement, les sources de financement peuvent être aussi prises en considération.
3. Catégorisation des expériences sélectionnées. Afin d'aller plus en détail dans la comparaison, les expériences du tableau comparatif sont groupées en classes homogènes. Pour cela, d'autres informations sont nécessaires, mais elles sont obtenues en fonction des besoins de l'analyse et des critères qui vont guider la construction des catégories.
4. Choix d'un sous-ensemble de cas à comparer. Une fois la catégorisation réalisée, un sous-ensemble de catégories est sélectionné. Afin d'assurer une comparaison détaillée des cas, un nombre restreint de cas est pris en compte (plusieurs travaux en la matière prennent compte 5 à 10 cas (par exemple Allen *et al.*, 2014b ou Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013c, 2014b). En général, chaque cas sélectionné représentera l'un des catégories proposées en étape 3 mais toutes les catégories ne seront pas forcément représentées dans la comparaison.
5. Définition d'un cadre de comparaison. Afin de comparer les cas sélectionnés, un cadre d'analyse est nécessaire. Pour cela, il est important de définir une série de critères qui doivent être caractérisés pour chaque cas, et à partir desquels la comparaison se développera. Ce cadre doit permettre de distinguer les différents cas mais aussi de trouver leurs points en commun. En général, ce cadre se ramène à une théorie ou modèle conceptuel, la comparaison permettant de l'illustrer. Néanmoins, il se peut que l'objectif de la comparaison soit de théoriser par induction, dans ce cas, le cadre de comparaison doit permettre d'identifier les éléments en commun et les différences pour ensuite pouvoir induire des théories (Eisenhardt, 1989).
6. Comparaison et analyse. Dans cette phase, et en se basant sur le cadre de comparaison, les cas sélectionnés sont comparés. Une synthèse de cette comparaison sera faite afin de mettre en évidence les points importants de la comparaison.
7. Retour au cadre théorique et implications pratiques. Enfin, comme conclusion de la comparaison, le cadre théorique pourra être abordé, soit pour confirmer que les cas représentent (et/ou valident) une théorie existante, soit pour induire de la comparaison des éléments permettant de construire de nouvelles théories. Néanmoins, vu la nature appliquée de ce type de recherches, il sera important de compléter cette vision théorique

par l'énumération d'implications pratiques pour les différents acteurs de la logistique urbaine.

Pour illustrer cette méthodologie, nous proposons une comparaison d'expériences de CDU et ELP en Europe du sud-ouest. Pour cela, nous avons sélectionné 42 cas, en essayant de couvrir la totalité des exemples existants. Au total, nous avons sélectionné 20 cas en France (nous avons également considéré ici le cas de Monaco, dont le CDU est en territoire français), 16 en Italie, quatre en Espagne un en Grèce et un au Portugal.



**Tableau 1.** Synthèse des cas de CDU et ELP en Europe du sud-ouest

N.	Pays	Ville	Nom de l'initiative	Type	Démarrage	Etat actuel
1	Espagne	Malaga	CUDE	CDU multi	2004	Arrêté
2	Espagne	Barcelone	SAMP	ELP multi	2006	Arrêté
3	Espagne	Madrid	FRevue Madrid	CDU multi	2006	en étude
4	Espagne	San Sebastian	-	ELP multi	2010	Actif
5	France	Paris	Gare Routière Sogaris	CDU multi	1967	Arrêté
6	France	Monaco	-	CDU multi	1989	Actif
7	France	Aix en Provence	-	CDU multi	1990	suspendu
8	France	Besançon	BELIV'R	CDU multi	1999	suspendu
9	France	La Rochelle	Elcidis	CDU multi	2001	Actif
10	France	Strasbourg	-	CDU multi	2001	Arrêté
11	France	Montpellier	-	CDU multi	2002	Arrêté
12	France	Toulouse	-	CDU multi	2002	suspendu
13	France	Bordeaux	ELP	ELP multi	2003	Actif
14	France	Plusieurs villes	La Petite Reine	ELP mono	2003	Actif
15	France	Paris	Chronopost Concorde	CDU mono	2005	Actif
16	France	Paris	Natoora	ELP mono	2005	actif
17	France	Paris	Samada-Monoprix	CDU mono	2006	actif
18	France	Rouen	ELP TEOR	ELP multi	2006	arrêté
19	France	Paris	Colizen	ELP mono	2009	actif
20	France	St Etienne	Simplexité	CDU multi	2010	actif
21	France	Lyon	ELU Cordeliers	ELP mono	2012	actif
22	France	Paris	Chronopost Beaugrenelle	CDU mono	2013	actif
23	France	Lille	CMDU	CDU multi	2014	actif
24	France	Lyon	City Logistics	CDU mono	2015	actif
25	Grèce	Kavala	City Ports	CDU multi	2005	suspendu
26	Italie	Sienne	Piattaforma logistica COTAS	CDU multi	1999	actif
27	Italie	Ferrare	Ecoporto	CDU multi	2002	actif
28	Italie	Gênes	“Progetto M.E.R.Ci.”	CDU multi	2003	arrêté
29	Italie	Padoue	Cityporto Padova	CDU multi	2004	actif
30	Italie	Milan	Cityplus	CDU multi	2005	arrêté
31	Italie	Vicence	Veloce	CDU multi	2005	actif
32	Italie	Aoste	Cityporto Aosta	CDU multi	2007	actif
33	Italie	Frosinone	C- Dispatch	CDU multi	2007	actif
34	Italie	Lucques	Life CEDM	CDU multi	2007	actif
35	Italie	Modène	Cityporto Modena	CDU multi	2007	actif
36	Italie	Parme	ECOCITY	CDU multi	2008	arrêté
37	Italie	Ravenne	CONSAR OBI	CDU multi	2008	actif
38	Italie	Venise-Mestre	-	CDU multi	2008	actif
39	Italie	Abano Terme	Cityporto Abano Terme	CDU multi	2009	actif
40	Italie	Bologne	Vansharing	CDU multi	2009	suspendu
41	Italie	Milan	FRevue Milan	ELP multi	2013	en étude
42	Portugal	Evora	ECOLOGUS	CDU multi	2004	suspendu

Bien que nous observons des similitudes culturelles entre les pays du Sud-Ouest européen, la diffusion des CDU et des ELP n'est pas homogène sur le territoire. Nous constatons un fort intérêt pour ces infrastructures en France et Italie, alors qu'en Espagne, au Portugal ou en Grèce, peu d'expérimentations ont été recensées.

Si nous considérons le tableau comparatif plus en détail, nous observons que la totalité des cas italiens sont des CDU tandis qu'en France, les CDU étaient proposées principalement au début des années 2000 puis, depuis 2005, nous assistons à un déploiement important d'ELP. Ce n'est qu'après 2013 (avec *Simplify* et le CMDU) que des CDU se sont à nouveau développés en France. En Espagne, au Portugal et en Grèce nous avons trouvé très peu de cas, la plupart des CDU, bien qu'en Espagne des ELP sont aussi proposés. Environ la moitié des expériences françaises résultent encore opérationnelles, ainsi que la plupart des expériences italiennes, tandis que dans les autres pays elles sont pratiquement toutes arrêtées ou en étude.

Les expériences de centres de distribution urbaine en France ont été très variées et ont commencé très tôt par rapport à d'autres pays (la toute première expérience date de 1967). Cependant, très peu sont encore opérationnelles. Dans les années 60, une première expérience de plate-forme de groupement urbaine, à caractère mutualisé, a lieu sur Paris (Dablanc et Massé, 1996) sous la gestion de Sogaris. Cette expérience privée est basée sur une gare routière ayant une fonction de groupage-dégroupage pour l'aire urbaine de Paris. La plateforme a fonctionné pendant deux ans avant de devenir un centre logistique multi-usager et perdre sa composante de mutualisation. Il faut attendre les années 90 pour voir apparaître de nouvelles expériences de ce type. En 1990, les autorités publiques d'Aix-en-Provence cherchent à mieux optimiser les flux de marchandises à l'intérieur de la ville et développent un projet de CDU mutualisé (Dablanc et Massé, 1996). Ce projet n'a pas été mené jusqu'à son terme et a été suspendu. Une situation similaire peut s'apprécier à Strasbourg, qui a proposé le premier CDU multimodal en utilisant la gare ferroviaire fret SCNF de la capitale alsacienne. Le projet a été arrêté en 2002 suite à la sortie de l'opérateur ferroviaire du projet. D'autres projets de CDU non aboutis ont eu lieu à Toulouse, où le projet n'a pas été mené dans sa totalité, et à Montpellier. Seul le CDU de La Rochelle est opérationnel depuis presque 10 ans. Les autres espaces logistiques urbains en France ont d'autres caractéristiques, comme les Espaces de Livraison à Proximité (Bordeaux et Rouen), petites plates-formes urbaines, parfois mobiles, pour l'organisation des livraisons en centre-ville, ou les systèmes de livraison du dernier mètre écologique, comme La Petite Reine ou Colizen, qui s'appuient sur des petites plates-formes logistiques en zone dense des aires urbaines. Enfin, des plates-formes de consolidation de type CDU mono-utilisateur existent aussi, notamment à Paris, avec les expériences de Chronopost, Monoprix et Natoora. Il reste quelques cas qui n'ont pas encore été énumérés, notamment l'ELU Cordeliers à Lyon, CDU privé opéré par Deret logistique mais avec un fort support de la communauté d'agglomération, et le CDU multi-opérateur de Saint-Etienne qui, après deux ans d'études de faisabilité, a été construit puis mis en service en juin 2013.

Les expériences de centres de distribution urbaine en Italie sont nombreuses. Nous constatons que dans la plupart de cas, les CDU sont placés dans des infrastructures déjà existantes, sauf dans le cas de Lucques, où la plateforme urbaine a été conçue et implantée grâce à des fonds monétaires à disposition de la communauté européenne. Le premier exemple de CDU a eu lieu à Sienne, en 1999, avec une surface logistique de 500 m<sup>2</sup> (Spinedi, 2008). La deuxième expérience est celle de Ferrare, avec le CDU Ecoporto, actif depuis 2002. A Gênes en 2003, un CDU a été lancé, cofinancé par le projet européen MEROPE (Frosini *et al.*, 2004). Depuis la période d'expérimentation, le service n'est pas arrivé à trouver sa propre stabilité et le CDU a cessé ses fonctions après la fin du financement européen. Dans la ville de Padoue, la plateforme

logistique urbaine Cityporto a été introduite en 2004, sous la pression de volontés locales : la collectivité, la plate-forme logistique intermodale régionale installée dans la périphérie de la ville, et la chambre de commerce (Gonzalez-Feliu et Morana, 2010). La plateforme de Vicence est née en 2005, par des sollicitations de l'administration publique municipale.

A Milan, en 2005, le service de distribution de marchandises Cityplus a été développé et expérimenté par la volonté de l'opérateur de transports publics ATM-Milano et de la commune. En 2007, des centres de distribution urbaine sont introduits dans les villes de Lucques, Modène et Frosinone. A Lucques et à Frosinone, les nouveaux services de distribution urbaine ont été créés grâce à la disponibilité de ressources provenant de projets européens, tandis qu'à Modène le projet de CITYPORTO a été réalisé grâce aux investissements économiques locaux. Enfin, en 2008, Parme, Venise – Mestre, Aoste et Ravenne ont entamé des projets destinés à la réalisation de CDU ; les initiatives développées à Parme, Venise-Mestre et Aoste ont pu l'être grâce aux investissements économiques locaux (Vaghi et Percoco, 2011). En revanche, à Ravenne, c'est un projet européen qui est à l'origine de l'initiative.

Dans les autres trois pays, très peu d'expériences de plateformes logistiques urbaines ont été identifiées et très peu ont été pérennisées. En Espagne, deux expériences ont eu lieu entre 2003 et 2009. A Malaga, un CDU basé sur l'exemple de La Rochelle (dans sa première version) avec un modèle très proche de celui de Vicence a été développée en 2004 (Gonzalez-Feliu, 2008). Ce centre de distribution a bénéficié d'aides publiques et, après plus de trois ans d'existence, ses revenus ont commencé à s'équilibrer avec ses coûts d'exploitation<sup>8</sup>. Le CDU a néanmoins été arrêté en 2010<sup>9</sup> à cause de la crise économique qui a frappé l'Espagne. A Barcelone, une expérience de quartier pour alimenter 60 commerces a démarré en 2006. Elle est basée sur une micro-plate-forme similaire à certains CDU de proximité et ELP en France. L'expérience s'est arrêtée à cause de ses coûts d'exploitation trop importants, mais les résultats de l'expérimentation ont été jugés très enrichissants pour les expériences suivantes et ont permis d'identifier un ensemble de facteurs clés de succès de ce type d'initiatives (CITET, 2009). Récemment, deux nouveaux exemples, basés sur la notion de micro-consolidation (*i.e.*, des CDU de petite taille, à cheval entre l'ELP et le CDU classique) ont vu le jour en Espagne : le cas de San Sebastian est un exemple clé de CDU de proximité (Janjevic *et al.*, 2013) tandis que celui de Madrid a démarré en 2012 sous l'égide du projet Européen FRevue et est actuellement en cours d'étude. Le principe, dans les deux cas, est très proche à celui de Malaga et de Barcelone.

Le principal frein au développement des espaces logistiques urbains reste l'absence de véritable modèle économique permettant à ces dispositifs d'atteindre un équilibre financier. Nous allons nous attacher dans cette partie à identifier les principales formes d'interaction entre acteurs locaux publics et privés, dans le cadre de la gestion des ELU, et ce pour chaque pays étudié. Il convient de rappeler que les coûts supplémentaires, l'espace en ville utilisé à cet effet et la

---

<sup>8</sup> Source : <http://www.diariosur.es>, mis à jour le 10 février 2008

<sup>9</sup> Source : <http://www.infocif.es/empresa/centro-urbano-de-distribucion-ecologica-sa>

nouvelle organisation logistique chez les utilisateurs sont des freins considérables voire des véritables barrières au succès de la mise en œuvre d'espace de stockage de proximité.

A partir de ce tableau, nous avons suivi la méthode proposée dans Gonzalez-Feliu *et al.* (2014b) afin de réaliser des catégories homogènes de CDUs et ELPs. Nous avons formé neuf groupes, comme suit :

**Tableau 2.** Classification des 42 cas en 9 catégories

N.	Catégorie	Cas principaux	Autres exemples
1	CDUs multi-utilisateur avec délégation de service et obligation de passage	Monaco (6) Vicenza (31)	-
2	CDUs multi-utilisateur avec délégation de service sans obligation de passage	La Rochelle (9) COTAS (26)	1, 3, 7, 8, 10, 12, 23, 25, 27, 28, 33, 38, 41
3	Plate-forme collaborative de mutualisation	Van Sharing (40) Ecologus (42)	-
4	CDUs multi-utilisateur sans délégation de service ni obligation de passage	Padoue (29) Simplicité St Etienne (20)	32, 34, 35, 36, 39
5	CDU mono-utilisateur géré entièrement en privé	Samada-Monoprix (17) Milan (30)	-
6	Micro-CDU mono-utilisateur sur espace cédé par la communauté urbaine	Chronopost Concorde (15) ELU Cordeliers (21)	22,
7	ELP mono-utilisateur lié à un service de livraison du dernier mètre	La Petite Reine (14)	16, 19
8	ELP multi-utilisateur	ELP Bordeaux (13)	2, 4, 18
9	CDU mutli-utilisateur géré entièrement en privé	Sogaris (5) City Logistics (24)	11

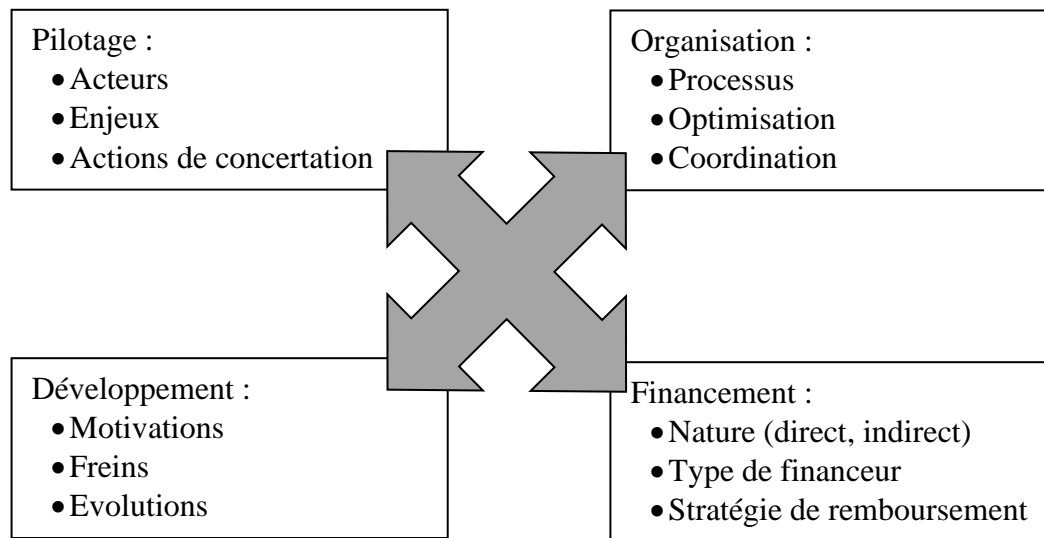
Sur cette base, nous avons identifié les six cas suivants comme étant des cas représentatifs, et donc méritant d'une analyse plus approfondie : le CDU de La Rochelle, le CDU de Padoue, le CDU de Parme, le CDU de Milan, la plate-forme Chronopost-Concorde et le système de La Petite Reine. Les expériences multimodales n'ont pas été sélectionnées dans la mesure où la plupart ont été arrêtés car jugés non rentables ou trop spécifiques, et de ce fait elles méritent d'être traitées à part. Le système Vert Chez Vous est très innovateur mais reste encore à un stade expérimental et très ancré (pour le moment) dans la réalité parisienne. Il est donc trop tôt pour en faire une étude approfondie. La Plate-forme Sogaris des années 60 n'a pas tenu longtemps et reste très ancienne, tout comme l'exemple de Montpellier, qui est plus récent mais qui est très proche de la logique allemande de rentabilité économique sans aide des collectivités publiques (voir Gonzalez-Feliu, 2008, pour plus de détail sur ce type de CDU). Même si son évolution logique est celle des hôtels logistiques qui, quant à eux, sont d'actualité (Boudoin *et al.*, 2013), ce type d'ELU reste encore conceptuel et les deux exemples phares (Porte La Chapelle à Paris et Les Halles à Lyon) sont en voie de construction, donc d'étude ; c'est pourquoi ce type de cas ne sera pas développé. Finalement, les cas de Monaco et Vicence, qui sont très similaires, n'ont pas été sélectionnés pour une question de transférabilité. En effet, si ces cas sont très intéressants, il est aujourd'hui peu probable qu'ils soient appliqués dans d'autres contextes, car l'interdiction totale d'accès au centre-ville est considéré comme une

violation au droit à la libre concurrence (Ville *et al.*, 2013). Si, dans les deux cas traités (et bien connus de la littérature), les autorités juridiques ont permis ces interdictions, cela est dû au fait exceptionnel du contexte de mise en place du CDU : à Monaco, le fait d'être dans une principauté qui a ses lois spécifiques a fait qu'il a été possible, au niveau national, de appliquer un tel type de loi ; à Vicenza, dont le cas a fait l'objet d'un long procès avec appel, la Cour de justice italienne a donné raison aux autorités locales par le fait du périmètre restreint (quelques rues dans une petite ville) et pour des raisons de protection du patrimoine de l'humanité (le site est classé à l'Unesco) et de santé publique, tant en indiquant qu'une telle la décision était prise en raison du contexte particulier et qu'il ne devrait pas forcément être ainsi dans d'autres contextes (Ville *et al.*, 2013). Ces deux exemples ne sont donc pas très représentatifs, du fait de leur spécificité et de la difficulté à être transférés dans d'autres contextes. De plus, et même s'ils sont très intéressants, ils sont très connus et ont généré une littérature riche (Interface Transport, 2004 ; Rosini, 2005 ; Gonzalez-Feliu, 2008 ; Spinedi, 2008 ; Dablanc *et al.*, 2010 ; Ville *et al.*, 2013). Pour ces raisons, les cas de Monaco et Vicence ne sont pas traités ici.

Par la suite, nous allons procéder à l'analyse des six cas représentatifs. Deux d'entre eux ont déjà fait l'objet d'articles où ils sont décrits en détail (La Rochelle et Padoue), tandis que deux autres (Chronopost et Parme) sont bien connus mais le premier n'a pas fait l'objet d'analyses approfondies et le deuxième a été principalement valorisé en Italie (Dablanc *et al.*, 2010 ; Morganti, 2011). Le cas de La Petite Reine est aussi d'actualité, et plusieurs autres systèmes (Natoora, Colizen, mais aussi d'autres systèmes non reportés dans cet article) s'en sont fortement inspirés. Néanmoins, ce sont des exemples qui restent peu explorés (Janjevic *et al.*, 2013). Le dernier, le cas de Milan, a fait l'objet d'analyses moins nombreuses (Gonzalez-Feliu, 2008) et les rares qui existent restent très exploratoires. Néanmoins, chacun de ces exemples représente une alternative spécifique et mérite d'être analysé. L'analyse effectuée portant sur la recherche de la rentabilité, nous allons l'axer sur quatre leviers :

- Le pilotage : les acteurs impliqués dans le pilotage et le suivi du projet de déploiement du CDU sont identifiés dans un premier temps. Ensuite, les différentes actions de concertation ainsi que les principaux outils de pilotage sont présentés et analysés pour chaque cas.
- L'organisation des processus : la mise en place d'un CDU nécessite d'une organisation spécifique et donc d'un management des processus de consolidation et de distribution. Les méthodes d'optimisation seront donc identifiées et analysées.
- Le développement : après avoir étudié les leviers du pilotage et de l'optimisation, il est important d'analyser le développement du CDU, *i.e.* la manière dont le système s'est étendu et/ou a évolué pendant la période où il est (ou a été) opérationnel. Nous allons donc regarder les actions entreprises et les contraintes auxquelles le CDU a été soumis pour mieux comprendre son évolution.

- Les stratégies de financement : même si l'optimisation est importante, la plupart des CDU qui n'ont pas abouti ont échoué à cause d'un manque de possibilité de se financer correctement pour assurer leur continuité.



**Figure 3.** Les leviers de la rentabilité des CDU et ELP (adapté de Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014b)

La méthode de classification, ainsi que le choix des six cas et leur description sont détaillés dans Gonzalez-Feliu *et al.*, (2014b). Nous présentons par la suite (Tableau 3 et Tableau 4) la synthèse des 6 cas sur la base des 4 leviers de rentabilité présentés ci-dessus.

**Tableau 3.** Les principaux éléments de pilotage et d'organisation des six cas sélectionnés

<b>Cas</b>	<b>Promoteur</b>	<b>Structure de pilotage</b>	<b>Organisation des processus</b>
La Rochelle	Communauté d'agglomération	Délégation de service public (actuellement à Véolia)	CDUs multi-utilisateur. Les marchandises sont transportées au CDU par différents transporteurs, ensuite des tournées avec des VUL vont livrer le centre-ville. Il n'y a pas d'obligation de passage par le CDU.
Chronopost	La Poste à travers sa filiale Chronopost	Interne à Chronopost	CDU de quartier mono-utilisateur (le principe est le même que celui d'un CDU multi-utilisateur mais en amont un seul transporteur alimente le CDU). Il est à proximité de la zone de livraison, qui est en général un quartier ou un arrondissement
La Petite Reine	La Petite Reine	Interne à La Petite Reine	ELP mono-utilisateur. Le principe est similaire à Chronopost mais les opérations ont lieu dans un espace très petit (parfois à l'extérieur) et les véhicules pour la livraison terminale sont des triporteurs électriques.
Padoue	Interporto di Padova (PPP dont l'activité principale est l'immobilier logistique)	Interne à Interporto à travers le service Cityporto	CDU multi-utilisateur. Les transporteurs qui déposent la marchandise dans le CDU n'ont pas d'obligation de passage mais ont en général signé des accords de collaboration.
Parme	Commune de Parme, et Centre Agroalimentaire Logistique (CAL)	Délégation de service public (à CAL)	CDU multi-utilisateur alimentaire, basé sur un marché de gros et géré par le même gérant que la marché de gros. Les remettants n'ont pas d'obligation de passage par le CDU.
Milan	ATM (opérateur de transport en commun)	Interne à ATM	Système de livraisons urbaines basé sur un réseau de CDU (3 au total). Chaque CDU a une zone d'affectation. Utilisation des moyens logistiques internes et des privilèges de l'opérateur TC (couloirs de bus) pour devenir compétitifs. Système en concurrence avec les autres opérateurs. Le service a arrêté en 2009 suite à une plainte des autres transporteurs pour concurrence déloyale.

**Tableau 4.** Les principaux éléments de développement et de financement des six cas sélectionnés

Cas	Développements	Financement
La Rochelle	Initiative publique, avec une délégation de service public (DSP) auprès d'un opérateur créé <i>ad hoc</i> . Depuis 2007, et à cause de la faible utilisation du CDU, une nouvelle DSP a été proposée mais en couplant le CDU à une navette et un service de véhicules en auto-partage (le tout sous l'étiquette véhicule électrique), ces deux autres services rapportent des gains économiques qui couvrent le déficit du CDU.	Le projet (phases d'étude, ainsi que les investissements initiaux) ont été publics, principalement financés par la municipalité, partiellement aidée par des programmes européens. Avec le nouveau système, les pertes du CDU sont compensées par les gains des deux autres services, ce qui permet à la collectivité de proposer une DSP sur un ensemble non déficitaire.
Chrono-post	Schéma logistique faisant partie d'une réorganisation interne. Le schéma a été développé pour mettre en avant deux innovations technologiques : le petit véhicule électrique pour la livraison final et les chariots à assistance électrique. Ces matériels sont aussi utilisés dans d'autres villes avec des schémas similaires ou différents, selon les cas.	La plupart des coûts sont couverts par une réorganisation logistique interne. Néanmoins, une aide publique indirecte peut être imputée en fonction des accords entre la collectivité locale (Paris) et Sogaris, gestionnaire du foncier (parking) où se situe le CDU, pour qu'il applique à Chronopost des prix moyens de foncier logistique de périphérie au lieu des prix actuels de la zone de Concorde.
La Petite Reine	Schéma logistique organisé autour d'un ELP, principalement dans des zones publiques ou semi-publiques. Des opérations de cross-docking entre des camions et des triporteurs électriques pour la livraison du dernier hectomètre ont lieu dans ces ELP. Système reproduit dans différentes villes.	Le système a bénéficié d'une aide initiale pour l'expérimentation. De plus, compte tenu de l'aspect social important (le système vise à employer des personnes en réinsertion) il a bénéficié aussi d'autres aides pour le personnel. Actuellement, il ne bénéficie plus d'aides et est financé les seuls revenus du service.
Padoue	Schéma de type CDU. Le gestionnaire réalise des opérations commerciales afin de capter plus de clients. Le système est géré par le propriétaire des locaux qui délègue les aspects opérationnels à une société coopérative créée à ce seul propos. Bien que né dans le secteur de la messagerie, aujourd'hui le CDU évolue en introduisant un service de livraisons de produits frais.	Le système a bénéficié d'aides extérieures pour réaliser l'expérimentation et les premières années d'exploitation. Le système est géré à coûts marginaux (seul le personnel est un coût, les véhicules étaient initialement prêtés par l'opérateur de transport en commun et les locaux sont la propriété du gestionnaire). Actuellement le système s'autofinance. Les véhicules ont été peu à peu rachetés.
Parme	Schéma de type CDU pour les produits frais. Le gestionnaire est le propriétaire des locaux du CDU. Initialement, la cible était les marchés. La grande distribution a ensuite été visée.	Le projet a bénéficié d'aides partielles pour les investissements et les premières années de fonctionnement. Depuis, le système est auto-financé par les revenus du service.
Milan	Organisation interne à l'opérateur de transport en commun. Utilisation de trois dépôts de bus comme ELP et livraisons dans les environs des agences, en mutualisant les livraisons de matériel interne à l'opérateur (billetterie, supports). L'opérateur utilisait les couloirs de bus pour faire circuler ses véhicules de livraison.	Le système résulte d'une réorganisation interne et est financé sur coûts marginaux (la plupart des coûts sont absorbés par les coûts de gestion interne de l'opérateur, à cause de la mutualisation de ce service avec d'autres opérations internes). L'utilisation des couloirs de bus était un avantage concurrentiel. Le système tirait des revenus de ces livraisons.



Nous observons que les schémas d'organisation sont très semblables, mais ce qui fait la différence, ce sont principalement la structure de direction et les choix de financement, qui ont une influence directe sur les principaux développements. Deux principaux schémas d'organisation sont respectés : le schéma de consolidation habituelle des CDU (La Rochelle, Parme, Padoue) visant à diminuer les flux entrant dans les centres urbains par une massification dans le CDU et des micro-schémas de consolidation, principalement liés à des logiques d'entreprise (Chronopost, La Petite Reine, Milan). Cependant, les questions d'organisation restent très similaires dans tous les cas : une optimisation de ressources est nécessaire pour réduire les coûts supplémentaires induits par la rupture de charge qui suppose introduire un CDU ou un ELP dans la chaîne de distribution urbaine. Au niveau du pilotage, les CDU sont en général portés ou initiés par une volonté des autorités publiques tandis que les micro-schémas de consolidation font partie d'une logique privée (même si, dans le cas de Milan, le porteur est l'opérateur de transport en commun et il agit selon une logique d'entreprise et de profit et non en ayant une vision d'utilité collective). Néanmoins, il semble que cette optimisation ne suffise pas à atteindre une rentabilité économique. En effet, les cas les plus réussis (Padoue, Parme, Chronopost, La Petite Reine) ont eu une phase préliminaire dans laquelle des accords ont été signés entre les parties prenantes impliquées directement ou indirectement dans le déploiement du CDU ; de plus, la capacité à atteindre la quantité de la demande minimale pour rendre ces projets économiquement viables semble directement liée à la façon dont ces acteurs sont connectés dans le processus de pilotage du déploiement de la CDU. Plus précisément, un accord était possible à Padoue et Parme puisque les pouvoirs publics et le promoteur du projet avait la capacité de coordonner toutes les parties prenantes à accepter les différentes décisions prises ainsi que de les impliquer dans les processus de décision. En ce qui concerne le financement, seuls deux des six cas reçoivent une aide financière publique permanente. A La Rochelle, la notion d'utilité publique est appliquée, jusqu'en 2007, par des subventions directes et, à partir de cette date, en groupant le CDU avec deux autres services (pour les voyageurs), *a priori* rentables ou directement subventionnés, le gérant des trois services pouvant compenser les pertes du CDU par les gains des deux autres services (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013c). Le cas de Chronopost est moins connu, mais la plate-forme installée au parking de la Concorde coûte à Chronopost un prix proche du foncier logistique de périphérie. Cela est possible grâce à une aide des collectivités à Sogaris (le propriétaire des lieux) pour compenser les éventuelles pertes dues à cette location à prix bas. Dans les autres cas, il n'y a pas de subvention qui couvre les coûts opérationnels, mais la plupart des systèmes (La Petite Reine, Padoue et Parme) ont reçu des aides directes ou indirectes pour leur mise en place, les expérimentations réalisées et la mise en fonctionnement sur régime opérationnel, mais ces subventions se sont arrêtées une fois que les systèmes sont devenus autonomes d'un point de vue de la rentabilité économique. Seul le cas de Milan semble ne pas avoir reçu d'aides publiques, mais le système fonctionnait sur les coûts marginaux d'ATM et profitait des avantages que l'opérateur de transport en commun avait en termes d'accès au centre-ville et de voies préférentielles. Dans tous les cas, ces plates-formes ont besoin de couvrir leurs coûts par des recettes ou autres gains, et pour cela il est indispensable de capter une demande minimale de marchandises. Jusqu'à ce que cette demande soit atteinte, il est indispensable d'aider

économiquement la plate-forme pour qu'elle ne cesse pas son activité. La façon dont le gestionnaire du système de logistique urbaine durable recherche cette demande semble également important afin de définir la viabilité: les systèmes comme ceux de Padoue et de Parme ont adopté des stratégies commerciales importantes, ainsi que La Petite Reine, alors que Chronopost avait réalisé des études préalables montrant qu'ils disposaient déjà de cette quantité minimale de demande pour justifier la viabilité économique si le coût de l'immobilier et ceux des activités logistiques étaient les mêmes que dans leurs autres plates-formes logistiques. Pour cette raison, et en rapport avec les coûts de l'immobilier, un soutien public semble nécessaire pour assurer la continuité de ces systèmes, mais le soutien indirect semble être le plus accepté, qu'il provienne de subventions indirectes (Padoue, Chronopost, La Petite Reine) ou d'un soutien non monétaire, principalement de type réglementaire (Padoue, Parme, Milan).

L'analyse de ces expériences montre néanmoins qu'il n'y a pas de "solution miracle". Chaque cas a des avantages et des inconvénients mais, surtout, les expériences réussies le sont principalement grâce au contexte et à l'implication des acteurs concernés. Par exemple, à Parme et à Padoue, de fortes et longues séances de concertation (qui ont duré plusieurs années) ont été nécessaires avant de développer la solution de logistique urbaine. Par contre, une fois qu'ils se furent mis d'accord, les acteurs concernés ont été moteurs et aidé au développement de cette solution. Reste à dire que bien, que le CDU Parme soit arrêté, il ne l'est pas à cause d'une mauvaise gestion ou d'un réel manque de clients, mais en raison d'un choix politique (Morganti et Gonzalez-Feliu, 2015). Les cas de Chronopost et de la Petite Reine montrent aussi l'implication des acteurs : les acteurs privés ont vu en la logistique urbaine durable une opportunité de développement et les acteurs publics ont soutenu ces démarches, souvent avec des aides indirectes et avec une démarche d'accompagnement sans forcément entrer dans l'interdiction des autres pratiques (et donc sans favoriser ces solutions en empêchant le développement d'actions concurrentes, mais en aidant ces schémas à devenir économiquement rentables). Le cas de La Rochelle montre que la volonté publique est de continuer avec le CDU, mais il manque d'organisation et souvent de communication, donc la collectivité doit assurer le financement complémentaire. Le cas de Milan a manqué de concertation et a fini par rencontrer l'opposition des transporteurs qui le croyaient en concurrence déloyale. La collectivité a donc dû arbitrer et le système a été finalement arrêté.

La comparaison de ces solutions a été possible grâce à une collecte de données cohérentes et à une analyse conjointe de ces données. Néanmoins, cette analyse reste encore exploratoire. Pour aller plus en détail et réaliser des analyses plus détaillées et systématiques, il est important de définir les déterminants d'une logistique urbaine durable, présentés ci-dessous.

#### **4.2. Catégorisation des déterminants d'une logistique urbaine durable**

La leçon que nous pouvons tirer de ces expériences en Europe est que le seul objectif de massifier les tournées intra-urbaines ne peut suffire à justifier économiquement une nouvelle infrastructure et une modification de l'organisation habituelle des transporteurs, car le coût de la rupture de charge supplémentaire dans la chaîne logistique, notamment lorsque cette rupture de charge se fait dans un terminal situé en milieu urbain, n'est pas compensé par le gain financier lié à la rationalisation des flux. Une solution de logistique urbaine doit avant tout être économiquement viable. La seule présence d'une plate-forme logistique (comme le CDU) ne

suffit dans aucun des cas à assurer cette continuité. Plusieurs éléments, de nature différente, doivent être considérés dans la préparation et la planification d'un système de logistique urbaine durable dans les trois dimensions (sociale, économique et environnementale) du développement durable.

Les trois dimensions nous serviront à évaluer la durabilité d'une action de logistique urbaine. De même, l'approche des quatre capacités peut nous servir à définir les déterminants d'une logistique urbaine. En d'autres termes, nous pouvons définir une logistique urbaine durable comme une logistique urbaine tout d'abord capable de connaître et comprendre le contexte actuel, d'identifier les principaux problèmes et de mesurer les impacts actuels de cette logistique sur l'économie, l'environnement et la société. Ensuite, elle doit être capable d'identifier les possibilités d'action pour changer la situation actuelle et surtout de mesurer l'étendue de ce champ d'action. Ensuite, elle doit être capable d'identifier plus en détail puis de mesurer les gains potentiels de ces actions, en d'autres termes de mesurer sa capacité à éviter. Enfin, et en complément à la capacité à éviter, une logistique urbaine durable est celle qui sait anticiper, *i.e.* identifier les futurs impacts et les estimer afin d'anticiper les effets et éventuellement les actions à mettre en place pour les éviter.

En ce qui concerne la capacité à connaître et comprendre, il est important d'avoir un socle de connaissances de la situation actuelle : les pratiques de logistique urbaine, leur positionnement ainsi que la représentativité et le poids de ces pratiques par rapport à l'ensemble de la logistique urbaine, et les alternatives actuelles à ces pratiques. Pour cela, il est important de pouvoir produire les données nécessaires (par collecte ou modélisation) à ces effets (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013b). Mais cette condition nécessaire n'est pas suffisante. Sans un référentiel de pratiques existantes, de mesures à réaliser, et d'impacts de base de la logistique urbaine, il ne sera pas possible de bien connaître les déterminants d'une logistique urbaine durable, ainsi que les actions à réaliser, leur potentiel et leurs possibles impacts. De plus, sans un référentiel d'informations qualitatives qui explique le contexte et les alternatives il sera difficile de comprendre les pratiques actuelles (Gonzalez-Feliu et Morana, 2014).

La capacité à agir doit aussi être identifiée et mesurée. Pour cela, il est indispensable de définir les principaux leviers d'action pour agir, ainsi que leur potentiel, leur rayon d'influence et leur capacité effective à agir (Gonzalez-Feliu et Morana, 2011).

La capacité à éviter et la capacité à anticiper sont étroitement liées, en tout cas en ce qui concerne la production de données et les référentiels nécessaires à leur identification et analyse. En effet, les indicateurs qui mesurent les impacts de la logistique urbaine peuvent être utilisés pour estimer les gains potentiels (et donc la capacité à éviter) mais aussi à identifier les impacts futurs des actions afin d'anticiper les effets non souhaités et pouvoir les traiter progressivement. Pour cela, au lieu de se limiter à une imposition d'ensembles d'indicateurs (comme dans Henriot *et al.*, 2008), il nous semble plus important d'identifier un grand ensemble de possibles indicateurs et une méthode pour guider les acteurs à choisir un petit ensemble commun de ces indicateurs par consensus (Gonzalez-Feliu et Morana, 2014). Ensuite, il est aussi important de définir des méthodes unifiées de calcul de ces indicateurs (cela sera vu dans la troisième partie), ainsi que de calculer, pour des pratiques actuelles, les valeurs moyennes de ces indicateurs

(Morana *et al.*, 2014 ; Gonzalez-Feliu et Morana, 2014) afin de définir une base de données de référence pour les estimations de ces impacts à éviter ou à anticiper.

Afin de pouvoir analyser la durabilité d'une solution de logistique urbaine durable par ces déterminants (et donc l'approche des quatre capacités), il est important de disposer d'un cadre d'évaluation et d'analyse qui puisse s'appliquer à l'estimation des quatre capacités. Du moment où, dans cette approche, la solution envisagée est dans un premier temps comparée au contexte actuel puis estimée dans un futur ou une situation évoluée, il nous semble pertinent de définir un cadre général d'analyse par la méthode d'analyse avant-après.

## **5. L'analyse avant-après comme méthodologie d'évaluation et analyse de solutions de logistique urbaine**

Les analyses avant et après sont des procédures très utilisées en recherche expérimentale, principalement en médecine (Moher *et al.*, 2001 ; Micek *et al.*, 2006), mais aussi en psychologie/psychiatrie (Morgan, 2000), économie (Dinardo, 2008), sociologie et anthropologie, entre autres (Shadish *et al.*, 2002). Dans les transports, c'est dans le sujet de la sécurité que ce type d'études a été proposées pour la première fois (Hauer, 1997).

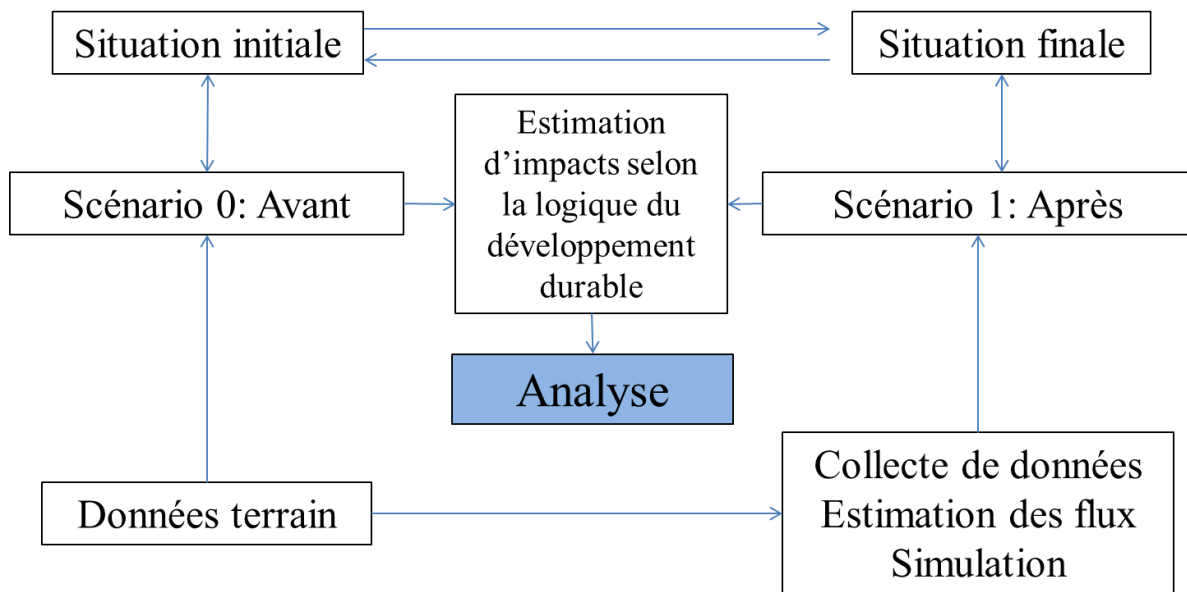
En logistique urbaine, bien que très utilisée de fait pour les évaluations, la méthodologie n'a pas été perçue comme importante (peu d'auteurs explicitent son utilisation alors qu'ils comparent deux situations temporellement différentes), et ce n'est qu'à partir de Leonardi *et al.* (2012) que la terminologie a été utilisée.

Cette méthodologie est souvent utilisée dans le cadre d'expérimentations ou quasi-expérimentations (Gribbons et Herman, 1997). En effet, en logistique urbaine, les comparaisons avant-après suite à des expérimentations font souvent appel à ce cadre méthodologique (Vaghi et Percoco, 2011 ; Allen *et al.*, 2012b ; Leonardi *et al.*, 2012). Néanmoins, il est possible de réaliser des analyses avant-après sur une base de simulation. Dans ce cas, au lieu d'obtenir des résultats par mesure ou enquête, nous les reproduisons par simulation ou autre type d'estimation. Pour cela, il nous semble donc important de définir un cadre unifié pour réaliser des analyses avant-après en logistique urbaine.

Dans les analyses avant-après nous souhaitons identifier les impacts d'un changement sur le système de logistique urbaine existant (ou sur une référence). Ce changement résulte en un gain ou perte différentiel(le) par rapport à cette référence. Ce type d'analyses s'articule autour d'une estimation de deux états d'un même système :

- L'état 0, ou le « avant », qui reproduit soit la situation actuelle, soit une situation de référence, soit, dans des études rétrospectives, une situation passée à laquelle nous pouvons comparer la situation actuelle. Il représente l'état du système avant l'application du changement.
- L'état 1 ou le « après », reproduit l'état du système après l'application du changement. Il représente en général la situation après l'application et déploiement de la solution de logistique urbaine proposée, mais dans certains cas il peut décrire une situation actuelle qui est comparée soit à une référence soit à une situation passée.

Afin d'estimer les deux situations, il est important de les quantifier (Figure 4). Pour cela, les différentes techniques présentées dans le paragraphe 2 peuvent être utilisées, tant pour la situation initiale que pour la situation finale, afin de construire les deux scénarios à simuler. Pour cela, il est important que les deux scénarios soient construits selon les mêmes bases, afin d'assurer la comparabilité entre l'avant et l'après simulés. Pour cela, en plus de la construction sur les mêmes bases, il est important que la méthode d'impacts des deux scénarios soit la même et résulte de bases et hypothèses identifiables, vérifiables et comparables avec d'autres simulations. En d'autres termes, la méthode proposée pour l'évaluation de la durabilité de la logistique urbaine doit être de compréhension facile par la communauté scientifique et de pratique, et les hypothèses posées faciles à identifier afin d'en montrer la cohérence.



**Figure 4.** Représentation de la méthodologie d'analyse avant-après généralisée

La méthodologie générale de l'analyse avant-après se décline donc comme suit :

1. Construction du scénario initial : identification des données d'entrée et des hypothèses nécessaires à la construction du scénario.
2. Construction du scénario final (*idem* que pour le scénario initial).
3. Quantification des flux de transport du scénario. Dans le cas d'analyses ex-post, cette quantification se fait par analyse (voire reconstruction lorsque nécessaire) des données collectées pour les deux états (initial et final). Pour les analyses avant-après *ex-ante*, cette quantification se fait par modélisation ou simulation : estimation de la demande, simulation de l'offre et interaction offre-demande (les détails de ce type de simulation seront présentés en partie 2).
4. Evaluation de la durabilité du scénario (les méthodes d'évaluation proposées seront présentées en partie 3).
5. Comparaison des deux scénarios, analyse et propositions. Il est important, après la définition des impacts, de bien analyser, interpréter et commenter ces résultats afin d'identifier les différents éléments permettant de quantifier et qualifier les quatre capacités d'une logistique urbaine durable.

Les recherches présentées dans la suite de ce mémoire contribuent aux différentes étapes de ce cadre méthodologique général. Dans la partie 2, nous nous centrons sur les apports en modélisation des flux de transport de marchandises en ville. Ces approches ont la particularité de se concentrer sur l'offre et sur la demande de transport, et aussi sur les déplacements inter-établissements et ceux du consommateur final, offrant donc un spectre plus large des flux imputés à la logistique urbaine. Dans la partie 3, nous présenterons les trois principales contributions au calcul d'indicateurs et cadres d'analyse pour estimer les impacts de la logistique urbaine durable : l'application d'analyses coûts avantages socio-économiques pour définir les paramètres de service et les conditions de viabilité d'une solution de logistique urbaine, la définition d'analyses de cycle de vie pour estimer les impacts environnementaux directs et indirectes du transport urbain de marchandises et la proposition d'indicateurs et analyses d'accessibilité marchandises pour estimer les impacts indirects sur les questions d'aménagement et de planification du territoire.

## **6. Conclusion**

Après plus de vingt ans de travaux et recherches sur la logistique urbaine, nous constatons qu'il existe encore un manque d'unification et une absence de cap commun entre les différents acteurs. Selon nous, cela peut être dû à plusieurs causes. Nous en énoncerons trois. La première est celle de la production des données, qui non seulement n'est pas unifiée mais, de plus, les données disponibles ne sont pas toujours accessibles et/ou exploitables. La deuxième est liée à la variété d'acteurs et donc de définitions de ce qui serait une logistique urbaine durable. La troisième est celle du manque de repères et référentiels, ainsi que de bases unifiées de calcul dans l'estimation des impacts de la logistique urbaine. Bien qu'il existe une pléthore de modèles et méthodes pour estimer ces impacts, si les bases de comparaison et les méthodologies générales (ou cadres d'analyse) sont les mêmes, ces méthodes peuvent être comparables, ou du moins, leurs différences en termes d'estimation peuvent être identifiées en vue d'une comparaison.

Mais pour cela, il est important de commencer par une caractérisation et une définition de ce qu'est la logistique urbaine durable. Cette première partie propose donc de synthétiser ces années d'avancées en logistique urbaine pour proposer une vision univoque mais très large de ce qui est la logistique urbaine durable, ses acteurs avec leurs enjeux (qui ne sont pas toujours coïncidents), les types de flux considérés, les éléments qui définissent une solution de logistique urbaine et les déterminants qui font qu'elle est durable.

Enfin, cette première partie propose un cadre unifié d'analyse basé sur l'analyse avant-après. Ce cadre d'analyse nécessite de définir des méthodes de collecte de données (qui, selon cette vision, seront adaptés aux besoins énoncés par les acteurs mais aussi aux ressources disponibles), des méthodes d'estimation des flux et des procédures de calcul des indicateurs de durabilité de la logistique urbaine, afin de réaliser ces analyses de scénarios avant-après. Bien qu'il soit possible d'utiliser les méthodes existantes, et compte tenu de la diversité d'acteurs et de flux, ce mémoire propose de nouveaux apports à la communauté scientifique, qui seront détaillés dans les deux parties suivantes. Le premier porte sur les méthodes d'estimation des flux, qui intégreront des modèles de demande et des modèles d'offre pour les deux principales

catégories de flux : les déplacements inter-établissements et les déplacements du consommateur final. Le deuxième portera sur les méthodes d'estimation des impacts, plus précisément sur le développement de trois types de méthodes existant dans d'autres domaines mais aujourd'hui peu appliquées à la logistique urbaine : l'analyse coûts avantages socio-économique, l'analyse du cycle de vie et les analyses d'accessibilité marchandises et d'attractivité commerciale.

## 7. Tableau récapitulatif

N°	Article	Apport principal	Limites
1	Palacios Argüello, L., Morganti, E., Gonzalez-Feliu, J. (2017), Food hub: Una alternativa para alimentar las ciudades de manera sostenible, <i>Revista Transporte y Territorio</i> , accepté pour publication.	Extension des principes des ELU et les CDU à la logistique alimentaire	Analyse basé sur trois cas préliminaires qui doit être approfondie
2	Gonzalez-Feliu, J., Goodchild, A., Guerrero, D. (2016), Data-driven innovations in policy-oriented freight transport models and planning methods, <i>European Journal of Transport and Infrastructure Research</i> , vol. 16 n° 1, pp. 1-3.	Classification des méthodes de production de données en transport de marchandises	Classification à approfondir
3	Morganti, E., Gonzalez-Feliu, J. (2015), City logistics for perishable products. The case of the Parma Food Hub, <i>Case Studies on Transport Policy</i> , vol. 3, n° 2, pp. 120-128.	Etude de cas du seul CDU alimentaire	La quantification reste approximative du fait du manque de données précises
4	Gonzalez-Feliu, J., Malhéné, N., Morganti, E., Morana, J. (2014), The deployment of city and area distribution centers in France and Italy: Comparison of six representative models, <i>Supply Chain Forum: An International Journal</i> , vol. 15, n° 4, pp. 84-99.	Méthode systématique de comparaison d'études de cas	Les analyses sur les déterminants doivent être approfondis par ailleurs
5	Gonzalez-Feliu, J., Morana, J. (2014), Assessing urban logistics pooling sustainability via a hierarchic dashboard from a group decision perspective. In Macharis, C., Melo, S., Woxenius, J., Van Lier, T. (eds.), <i>Sustainable Logistics</i> , Emerald, pp. 113-135.	Application de l'approche des quatre capacités à la logistique urbaine	Recherche à un stade encore exploratoire
6	Gonzalez-Feliu, J., Semet, F., Routhier, J.L., eds. (2014), <i>Sustainable urban logistics: Concepts, methods and information systems</i> , Springer, Heidelberg.	Définition de la logistique urbaine durable	Certains aspects de la logistique urbaine ne sont pas pris en compte
7	Ambrosini, C., Gonzalez-Feliu, J., Toilier, F. (2013), A design methodology for scenario-analysis in urban freight modelling, <i>European Transport</i> , vol. 54, Paper n. 7, pp. 1-21.	Méthodologie de simulation de scénarios	La méthodologie reste spécifique au cas d'application
8	Gonzalez-Feliu, J., Malhéné, N., Morganti, E., Trentini, A. (2013), Développement des espaces logistiques urbains: CDU et ELP dans l'Europe du Sud-Ouest, <i>Revue Française de Gestion Industrielle</i> , vol. 32, n. 4, pp. 73-92.	Comparaison d'études de cas	Les modèles organisationnels et la comparaison reste exploratoire
9	Ville, S., Gonzalez-Feliu, J., Dablanc, L. (2013), The limits of public policy intervention in urban logistics: Lessons from Vicenza (Italy), <i>European Planning Studies</i> , vol. 21, n. 10, pp. 1528-1541.	Classification finale composantes logistique urbaine. Etude de cas Vicenza	Le cas est trop concret et sa transférabilité reste difficile à réaliser
10	Gonzalez-Feliu, J., Gardrat, M., Pluvinet, P., Ambrosini, C. (2013), Urban goods movement estimation for public decision support: goals, approaches and applications. In Arndt, W.H., Beckmann, K.J., Gies, J., Gonzalez-Feliu, J., (eds.), <i>Commercial/Goods Transportation in Urban Areas</i> , Deutsches Institut für Urbanistik, Difu, Berlin, pp. 171-185.	Première classification de méthodes de production de données en logistique urbaine	Analyse bibliographique à mettre à jour compte tenu des derniers développements en la matière
11	Dablanc, L., Gonzalez-Feliu, J., Ville, S. (2010), L'organisation du transport des marchandises en ville : jusqu'où les politiques municipales peuvent-elles juridiquement aller ? Le cas de Vicence (Italie) et les leçons à retenir pour les villes européennes, <i>Politiques et Management Public</i> , vol. 27, n. 4, pp. 53-72.	Etude de cas Vicenza	Le cas est trop concret et sa transférabilité reste difficile à réaliser
12	Gonzalez-Feliu, J., Morana, J. (2010), Are City Logistics Solutions Sustainable? The Cityporto case. <i>TeMA. Journal of Land Use, Mobility and Environment</i> , vol. 3, n. 2, pp. 55-64.	Etude de cas Padoue	Etude exploratoire, à approfondir pour les aspects quantitatifs





**Partie 2. Modélisation de l'offre et de la demande logistique et de transports urbains de marchandises**

## 1. Introduction

Le premier pas dans la réalisation de simulations de scénarios de logistique urbaine durable est celle de l'estimation des flux imputés à cette logistique urbaine. L'estimation de ces flux se fait principalement à partir de deux catégories d'approches : la collecte et traitement ultérieur de données terrain et la modélisation (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013b). La collecte de données est souvent utilisée en logistique globale, principalement pour réaliser des estimations de demande, mais présente l'inconvénient d'avoir une précision étroitement liée aux ressources mises pour collecter ces données (Holguin-Veras et Jaller, 2014). En effet, plus les besoins en données sont importants (en quantité, qualité ou granularité) plus les ressources mobilisées sont importantes. Une façon alternative de pouvoir estimer ces flux avec des données standard est celle de développer des modèles adaptés. D'où la grande quantité et diversité d'approches de modélisation en logistique urbaine (Crainic, 2008 ; Comi *et al.*, 2012 ; Taniguchi *et al.*, 2012 ; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013b). Néanmoins, il y a encore aujourd'hui une confusion dans ce domaine, du manque d'unification des approches et de la diversité des disciplines mobilisées, qui n'utilisent pas le même vocabulaire ni les mêmes notations. Afin de positionner les travaux présentés ci-dessous, nous considérerons deux critères principaux dans la classification de ces modèles.

Le premier est le type de flux traités. Comme nous l'avons vu auparavant, les flux de la logistique urbaine peuvent être groupés en trois catégories : déplacements inter-établissements, déplacements du consommateur final et flux de la gestion urbaine.

Le deuxième est le type de modélisation proposée, *i.e.*, le phénomène physique modélisé. Nous observons les 3 principaux groupes de modèles suivants :

- modèles de demande, qui visent à estimer les besoins en déplacements (ou en quantité de marchandise) à l'origine et/ou la destination d'une zone (ou entre deux zones) d'une aire urbaine considérée (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014a) ;
- modèles d'offre, qui simulent les schémas logistiques proposés pour réaliser un transport qui satisfait une demande donnée (Crainic, 2008) ;
- modèles de choix (aussi dits comportementaux), qui estiment les choix possibles d'un ou plusieurs acteurs en termes d'actions de logistique urbaine (Liedtke et Tavasszy, 2009 ; Marcucci et Gatta, 2014).

Dans ce contexte, les travaux présentés dans cette partie s'intéressent à la modélisation de la logistique urbaine durable avec un souci d'intégration et de production de modèles qui tiennent compte des différents éléments imputés à la logistique urbaine. En ce qui concerne les flux traités, bien qu'un cadre théorique et conceptuel tenant compte de la totalité des flux ait été proposé (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014f), et qu'un exemple de son utilisation ait été présenté (Cattaruzza *et al.*, 2015), la plupart des travaux se concentrent sur l'interaction entre les flux inter-établissements et les déplacements du consommateur final. Pour cela, une estimation spécifique de chacune de ces catégories est réalisée, puis des travaux de mise en commun et d'intégration de tous ces flux sont réalisés en continu.

En ce qui concerne les types de modèles, une première étape a été consacrée aux modèles d'offre (2005-2009), puis une deuxième aux modèles de demande (2009-2012). A partir de

2012, un objectif d'intégration entre offre et demande a été toujours pris en compte dans le développement de ces modèles.

Cette partie présente donc les principales contributions à la modélisation de la logistique urbaine. Elle est organisée comme suit :

- a) dans un premier temps, une vision d'ensemble de la littérature en modélisation de l'offre et de la demande de logistique urbaine est proposée afin de positionner et motiver les travaux présentés ensuite ;
- b) ensuite, trois principales contributions sont présentées : l'introduction de la vision abductive à la modélisation de la demande inter-établissements, l'application d'une vision de problématisation des solutions à la modélisation de l'offre inter-établissements, et une approche intégrée offre-demande pour la modélisation des déplacements du consommateur final et de leur substitution par de nouvelles formes de distribution à domicile ou à proximité de ce lieu. Pour chaque contribution, les apports et limites des travaux présentés sont proposées ;
- c) enfin, pour conclure, une mise en perspective de ces travaux est présentée.

## 2. Etat de l'art et limites des démarches actuelles

Dans la littérature, nous observons plusieurs visions différentes du transport de marchandises en ville et de la logistique urbaine (Woudsma 2001, Taniguchi *et al.*, 2001; Russo et Comi, 2006; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2010b). Néanmoins, plusieurs auteurs sont d'accord dans le fait que les flux de transport imputables à la logistique urbaine peuvent être groupés en trois principales catégories, comme nous l'avons vu dans la partie 1 : flux pour l'approvisionnement des activités économiques de la ville (dits déplacements inter-établissements), déplacements pour l'approvisionnement du consommateur final et flux liés à la gestion urbaine. Dans cette partie, nous nous concentrerons néanmoins sur les déplacements inter-établissements et les déplacements du consommateur final, qui représentent environ 90% des taux d'occupation de la voirie du transport de marchandises en ville. La troisième catégorie, qui n'a pas encore été très développée en termes de modélisation, ne sera pas analysée ici. De plus, pour modéliser les flux de logistique urbaine, il est important d'estimer l'offre et la demande logistique (Crainic, 2008).

En ce qui concerne la demande, nous pouvons distinguer les modèles d'estimation de la demande en déplacements inter-établissements (ou en demande logistique urbaine, Russo et Comi, 2006) et les modèles d'estimation des déplacements du consommateur final.

Plusieurs auteurs ont essayé de caractériser les modèles d'estimation de la demande pour les déplacements inter-établissements (Russo et Comi, 2004, 2010 ; Anand *et al.*, 2012, 2015 ; Comi *et al.*, 2012 ; Gonzalez-Feliu et Routhier, 2012 ; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012c, 2014a ; Bonnafous *et al.*, 2014 ; Nuzzolo et Comi, 2014). Plusieurs critères sont pris pour la classification de ces modèles. Néanmoins, le paradigme de modélisation, *i.e.* la méthodologie générale de construction des flux, semble être le critère de différenciation principal de ces modèles (Ortuzar et Willumsen, 2001). D'après ce critère, nous pouvons distinguer quatre principales catégories de modèles, présentés ci-dessous.

La première catégorie est celle des *modèles à seule génération*, qui produisent comme résultat un nombre de déplacements (ou une quantité de marchandises) à destination (et/ou à l'origine) d'un établissement ou d'une zone. Ce paradigme de modélisation a émergé dans les années 1970, avec le but de caractériser la demande de transport de marchandises de dimensionner les infrastructures et promouvoir le développement économique des zones commerciales (Demetsky, 1974; Meyburg et Stopher, 1974; Loebel et Crowley, 1976), mais aussi des zones d'activité pour les services ou la construction, entre autres (Maejima, 1979). Ces modèles étaient basés sur l'hypothèse de génération constante à l'employé (Slavin, 1976 ; Holguin-Veras *et al.*, 2012), *i.e.* que, pour chaque établissement, le nombre de déplacements est obtenu en multipliant le nombre d'employés par une constante obtenue en faisant la moyenne de déplacements par employé. Récemment, ces approches sont redevenues populaires avec de nouveaux modèles catégoriels, *i.e.* les fonctions de génération ne sont pas toujours basées sur la génération constante mais dépendent de la catégorie de l'établissement concerné (Holguin-Veras *et al.*, 2011, 2013; Alho et de Abreu e Silva, 2014, 2015 ; de Oliveria et dos Santos Fontes Pereira, 2014 ; Jaller *et al.*, 2015 ; Aditjandra *et al.*, 2016 ; Sanchez-Diaz *et al.*, 2016b).

La deuxième catégorie est celle des *modèles à 4 étapes*, qui sont généralement articulés comme suit est : (1) génération, où, pour chaque établissement (ou zone), le nombre de déplacements en émission (expéditions) et en attraction (réceptions) est généré ; (2) distribution, où, pour chaque couple d'origine et de destination, un nombre de déplacements est identifié ; (3) choix modal, où, pour chaque déplacement, un mode de transport est identifié et (4) affectation du trafic, où, pour chaque nombre de déplacements entre un origine et une destination effectués par un mode de transport, l'itinéraire dans le réseau de transport (principalement routier) est calculé. Ces modèles sont principalement utilisés dans le transport de personnes et le transport interurbain de marchandises, où ils sont considérés comme standards (Ortuzar et Willumsen, 2001). Néanmoins, ce paradigme semble peu adapté au transport de marchandises en ville (Gentile et Vigo, 2013) du fait de la diversité de flux inter-établissements et de ces modes d'organisation, où les tournées (de nature et mode de gestion différents) sont prédominantes par rapport aux transports en trace directe. Pour cela, plusieurs auteurs ont développé d'autres modèles, dérivés du paradigme des quatre étapes mais en l'adaptant à la nature en tournées propre au transport de marchandises en ville. De ce fait, nous observons deux sous-groupes de modèles à 4 étapes :

- Modèles à 4 étapes classiques, qui résultent de l'application directe du modèle à quatre étapes, *i.e.* (1) génération, (2) distribution, (3) choix du camion, au lieu du mode de transport, et (4) affectation dans le trafic. Ces modèles naissent du besoin d'inclure les marchandises dans les simulations trafic et donc de produire des matrices OD de transport de marchandises (Watson, 1975; Slavin, 1976; Ogden, 1992; Eriksson, 1997; Ministère VROM, 1999; D'Este 2001 ; Janssen et Vollmer, 2005).
- Modèles à 4 étapes adaptées, qui se proposent d'adapter le modèle classique pour tenir compte de la nature en tournées des transports urbains de marchandises. Les principales étapes de ces modèles restent au nombre de 4, comme suit : (1) génération de la demande du TMV (nombre de déplacements ou quantité de marchandises), (2) distribution de ces demandes pour produire une matrice OD marchandises (*i.e.* mise en relation du lieu de destination de la marchandise avec le lieu d'expédition, non encore lié avec la tournée,

(3) construction des tournées de livraison avec sa subséquente estimation d'une matrice O/D de véhicules et (4) affectation du trafic lorsque prévu par le modèle.

Quelle que soit la sous-catégorie de modèle, l'étape de génération se fait principalement par des approches économétriques (Boerkamps et van Bisbergen, 1999) ou des méthodes catégorielles telles que définies dans la première catégorie de modèles présentée ci-dessus. La deuxième étape est principalement réalisée avec des modèles gravitaires (Ogden, 1978 ; d'Este, 2001) ou de maximisation d'entropie (Holguin-Veras *et al.*, 2010). Le choix du véhicule (sous-catégorie 1) ou de la tournée (sous-catégorie 2) peut se faire par des méthodes de choix discret (Hunt et Stefan, 2007; Russo et Comi, 2010 ; Nuzzolo *et al.*, 2012). Les tournées sont en général estimées en utilisant les méthodes d'optimisation des tournées (Boerkamps et van Bisbergen, 1999), des procédures empiriques qui alimentent les méthodes de choix discret (Hunt et Stefan, 2007 ; Nuzzolo *et al.*, 2012) ou des méthodes de simulation multi-agents (Wisetjindawat et Sano, 2003). Enfin, l'attribution du trafic peut se faire en utilisant des méthodes classiques de simulation du trafic (Wisetjindawat *et al.*, 2006).

La troisième catégorie est celle des modèles de génération directe de matrices O/D (aussi appelés modèles de synthèse O/D). Ces modèles ne distinguent pas les étapes de génération et de distribution, *i.e.* qui génèrent directement les matrices OD à partir d'une base de données de déplacements de véhicules (List et Turnquist, 1994; Holguin-Veras et Patil, 2008; Muñuzuri *et al.*, 2009; 2011). Ils utilisent en général des bases de données principalement issues de comptages et génèrent des matrices OD à partir de la méthodologie proposée par Cascetta (1984). Bien que moins précis que d'autres modèles, ils demeurent des outils intéressants pour estimer le trafic sur à des zones bien définies pour un diagnostic lorsque seules des données de comptages sont disponibles.

La quatrième catégorie est celle des modèles de génération directe des distances parcourues, sans une construction explicite des tournées. Ils sont organisés en trois étapes : (1) génération de la demande, en général un nombre de livraisons issue d'une approche de génération constante (Aubert et Routhier, 1999 ; Guerrero *et al.*, 2014) ; (2) définition des types et caractéristiques des tournées (Routhier et Toilier, 2007 ; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014a) ; (3) pour chaque livraison, affectation à un type de tournée puis estimation des distances parcourues (Gérardin *et al.*, 2000 ; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014f). Ces modèles suivent généralement des procédures empiriques, sans l'aide de modèles de distribution classiques, mais avec des statistiques descriptives à partir d'une analyse détaillée des données (Aubert et Routhier., 1999; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014a).

A ces quatre catégories, plusieurs auteurs rajoutent une cinquième, dite « mixte » (Comi *et al.*, 2012 ; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012c; Bonnafous *et al.*, 2014 ; Nuzzolo et Comi, 2014), car ils identifient dans la catégorie un ensemble de modèles qui combindraient différentes approches ici présentées. Quatre modèles sont considérés dans cette catégorie : l'approche déplacement/marchandise de Ogden (1978), le modèle Wiver (Sonntag, 1985), les travaux de Holguin-Veras *et al.* (2010) pour tenir compte des déplacements de marchandises ainsi que de ceux à vide et le modèle City Goods (Gentile et Vigo, 2013). Néanmoins, en explorant bien ces modèles et en ne considérant que le paradigme de modélisation, nous observons que ces modèles ont une base de modèle à quatre étapes, qui reste la vision prédominante dans la

construction du modèle. Nous pouvons donc assimiler ces modèles à des modèles à quatre étapes, l'un considéré comme classique (Ogden, 1978) et les trois autres comme adaptés.

Ce contexte très hétérogène conduit à un manque de standard dans la modélisation de la demande en transport inter-établissement. De plus, tous ces modèles restent essentiellement déductifs, sans une réelle analyse statistique des données qui amène à la définition de logiques de génération. Certes, certains modèles se basent sur des analyses préalables des données (Sonntag, 1985 ; Aubert et Routhier, 1999 ; Hunt et Stefan, 2007 ; Gentile et Vigo, 2013) mais ces analyses servent à étudier les grandes lignes de la génération et elles aident à justifier les choix, a priori, de logiques de génération, mais ces logiques ne découlent pas des analyses statistiques. En d'autres termes, les choix réalisés en matière de génération sont réalisés sur la base des connaissances des auteurs ou du suivi de la littérature, mais ne résultent pas d'une analyse statistique (par exemple la vérification d'invariants ou de corrélations linéaires ou non avant la proposition de régressions). Les travaux proposés en modélisation de la demande en transport inter-établissements introduisent donc cette relation, en faisant un premier pas vers la modélisation inductive et abductive de la demande en logistique urbaine.

En logistique urbaine, l'une des directions de recherche principales est la modélisation et l'optimisation de l'offre de transport via les méthodes de la recherche opérationnelle (Taniguchi *et al.*, 2001 ; Crainic, 2008). Les principaux problèmes d'optimisation traités sont la localisation de plates-formes logistiques urbaines (Guyon *et al.*, 2012, 2015), le design du réseau de transport urbain de marchandises (Crainic, 2000 ; 2008) et l'optimisation des tournées de véhicules (Cattaruzza *et al.*, 2015). Plusieurs auteurs s'intéressent à ces sujets, mais les approches restent très méthodologiques avec peu d'applications pratiques. En effet, la plupart des auteurs dans ce domaine réalisent des travaux classiques de la recherche opérationnelle, qui consistent à modéliser mathématiquement un problème d'optimisation, puis à développer une méthode pour obtenir l'optimum théorique ou s'en rapprocher. Les objectifs de ces recherches sont en général d'ordre mathématique ou calculatoire, et non d'ordre applicatif, bien que plusieurs applications s'en soient dérivées ensuite (Guyon *et al.*, 2012).

Un autre champ très développé en logistique urbaine est celui de la simulation multi-agents (Taniguchi *et al.*, 1999 ; Wisetjindawat et Sano, 2003 ; Liedtke, 2009). Ces modèles permettent de simuler le comportement de différents acteurs de la logistique urbaine, principalement les transporteurs, par des techniques propres à l'intelligence artificielle. Ces modèles nécessitent d'importantes ressources pour leur construction et calage mais les derniers développements montrent leur application possible sur des cas réels.

Certains auteurs proposent, quant à eux, des procédures empiriques pour définir l'offre de transport (Ségalou *et al.*, 2004 ; Gevaers *et al.*, 2011 ; De Langhe, 2014). Ces travaux font en général partie d'évaluations ou de diagnostics de la logistique urbaine et ne sont pas souvent considérés comme une contribution de recherche en soi mais comme une partie d'un travail plus général.

Les approches de modélisation de l'offre de logistique urbaine présentent plusieurs limites. La première est le manque de relation entre la théorie et la pratique. En effet, les modèles d'optimisation et de simulation restent très conceptuels et même lorsqu'ils sont opérables il reste à les relier à la pratique et aux données de terrain. Les procédures empiriques restent très

spécifiques aux cas réels traités et il y a peu de retour aux aspects théoriques ou méthodiques. Une meilleure relation de ces deux approches semble donc pertinente. Les principaux travaux en modélisation de l'offre logistique porteront sur ces aspects.

En ce qui concerne les déplacements du consommateur final, deux principales sous-catégories de flux sont considérées : les déplacements d'achat des ménages (qu'ils soient motorisés ou non) et les flux de livraison au consommateur final ou à proximité du lieu de consommation (flux B2C).

En ce qui concerne cette deuxième sous-catégorie, ces flux semblent les plus faciles à collecter et de conséquence à modéliser, car la plupart des entreprises de livraison de colis ont avancé des systèmes d'information avec les données nécessaires pour produire ces modèles. Cependant, ce n'est pas le cas de nos jours, étant donné que ces données sont considérées comme confidentielles et ayant un impact sur la libre concurrence des entreprises. De conséquence, les modèles concernant les flux B2C sont limités à quelques travaux. Une partie de ces flux sont parfois inclus dans certains modèles présentés ci-dessus qui considèrent la messagerie express puisque ce type de transporteurs réalisent à la fois des livraisons B2B et B2C. Les modèles concernant les flux d'e-commerce sont principalement des modèles d'optimisation où la demande ne soit pas estimée alors est considérée comme une entrée (Visser et Nemoto, 2003; Gevaers *et al.*, 2011). Une autre famille de modèles visent à reconstituer les flux et d'estimer la demande potentielle au moyen de procédures empiriques utilisant des jeux de données souvent partiels (Patier et Alligier, 2004; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014a; Morganti *et al.*, 2014). Ces modèles utilisent une fonction de génération liée à la population (ils génèrent un certain nombre de livraisons à faire à une zone en fonction de la population et un certain nombre de routes à chaque origine), puis affecter une typologie de l'itinéraire et la fonction de la distance (par rapport à la densité des clients sur une zone donnée et l'origine des déplacements) à chaque origine dans le but de construire des itinéraires de livraison B2C.

En ce qui concerne les déplacements d'achat des ménages, ils ont été souvent exclus de la modélisation du transport de marchandises en ville (Taniguchi *et al.*, 2001 ; Woudsma, 2001) car souvent assimilés au transport de personnes. D'ailleurs, le motif achat est présent dans toutes les enquêtes ménages déplacements, et la modélisation de ces déplacements est plus récurrente dans le transport de personnes que dans celui de marchandises. Mais comme souligné par Russo et Comi (2004) et Ségalou *et al.* (2004), l'objectif d'un déplacement d'achat est d'acquérir des biens de consommation qui doivent ensuite être transportés au lieu de consommation. Il s'agit donc d'un déplacement à la fois de personnes et de marchandises, l'objet de l'ensemble des déplacements liés à un achat étant principalement de ramener la marchandise achetée au domicile ou autre lieu de consommation.

Dans ce contexte, nous observons que les modèles intégrés du transport urbain de personnes incluent le motif achats. Cependant, ces modèles sont développés et calibrés sur la base des déplacements de travail, ce qui fait que les déplacements d'achat sont caractérisés sur les mêmes bases et avec les mêmes hypothèses que les déplacements de travail. Or, d'après les résultats de Cubukcu (2001), les facteurs de génération des déplacements d'achat ne sont pas toujours les mêmes que ceux pour se rendre au lieu travail (et/ou en revenir). En conséquence, nous nous



concentrons ici sur les modèles spécifiquement construits pour estimer les déplacements d'achat. Nous pouvons identifier quatre catégories de modèles :

La première est celle des modèles à seule génération (Vickerman et Barmby 1984; Cubukcu 2001; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2010b), définis par analogie aux modèles de demande de déplacements inter-établissements. Ils visent à générer, pour chaque zone d'une ville, la quantité de déplacements à l'origine ou à destination d'une zone (Cubukcu, 2001). Ils sont en général motivés par les besoins des commerces de détail et des planificateurs urbains de connaître la quantité potentielle ou effective des visites sur les lieux de vente. Les principales approches utilisées sont les régressions linéaires (Keefer, 1966 ; Badoe et Steuart, 1997 ; Cubukcu, 2001) et les équations structurelles (Vickerman et Barmby, 1984).

La seconde est celle des *modèles à quatre étapes*, qui reste l'approche la plus utilisée car les déplacements d'achat restent proches des autres déplacements personnels urbains (Ortuzar et Willumsen, 2001). Deux sous catégories peuvent être identifiées : celle des modèles classiques (Ortuzar et Willumsen, 2001) et celle des modèles à quatre étapes adaptées. Deux adaptations principales sont observées dans la littérature : la première évite le choix modal (il est donc un modèle en trois étapes), en générant dans la première étape le nombre de déplacements motorisés, à savoir celles qui sont faites en voiture (Ségalou *et al.*, 2004). Le deuxième réalise un double choix (mode et lieu d'achat) après la génération ou après la distribution, selon les approches (Crocco et al, 2010; Comi et Conte, 2011; Barone *et al.*, 2014; Nuzzolo et Comi , 2014). Néanmoins, tous ces modèles restent très proches de l'approche classique.

La troisième catégorie est celle des *modèles d'aire de chalandise* (Kubis et Hartmann, 2007) comme base de modélisation. Dans ces modèles, la génération se fait à destination et au lieu de domicile, puis les lieux d'achat et les lieux de localisation du ménage sont mis en relation par des approches principalement gravitaires. L'objectif de ces modèles n'est pas d'estimer les déplacements d'achat en détail mais de quantifier le potentiel de chaque zone en termes de répartition des déplacements d'achat dans la zone par lieu d'habitation des acheteurs (Kubis et Hartmann, 2007 ; Athiyaman, 2011).

Ces travaux restent spécifiques aux déplacements d'achat, principalement motorisés. En ce qui concerne les flux de commerce électronique et autres formes de distribution au consommateur final, les travaux existants se limitent à proposer des données terrain descriptives (Gevaers *et al.*, 2011) ou à proposer des algorithmes d'optimisation des livraisons (Nemoto, 2004), dans la logique des travaux sur la modélisation de l'offre présentés ci-dessus. Les travaux réalisés sur la modélisation des déplacements du consommateur final représentent une première intégration entre les modèles de demande et ceux d'offre de logistique urbaine. Les principales contributions à la littérature portent sur une première génération de la demande des besoins au lieu d'achat et l'affectation de ces besoins au lieu d'habitation, ainsi que des procédures d'estimation des flux de déplacements d'achat substitués par de nouvelles formes de distribution plus la modélisation de ces nouveaux schémas logistiques.

### **3. Apports et limites des recherches en modélisation de l'offre et de la demande de TMV**

### **3.1. Proposition de modèles inductifs et abductifs**

#### **3.1.1. Motivation**

La littérature scientifique en logistique urbaine compte une multitude de travaux sur la modélisation de la demande, la quasi-totalité d'entre eux restreints aux seuls déplacements inter-établissements (souvent seules les livraisons aux commerces sont considérées). Nous avons vu que quatre paradigmes de modélisation peuvent être définis mais, dans tous les cas, les tentatives de standardisation restent rares et les modèles sont principalement déductifs. Dans ces modèles, les choix sont faits *a priori* sur une logique déterministe et sans une justification statistique des choix réalisés.

De plus, plusieurs travaux remettent en question les modèles déductifs les plus représentatifs, comme le modèle à quatre étapes, devenu un standard pour modéliser la demande de mobilité personnelle urbaine, mais jugé peu adapté à la modélisation de la demande de logistique urbaine (Gentile et Vigo, 2013 ; Bonnafous *et al.*, 2014 ; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014a). Néanmoins, tous les travaux en modélisation de la demande des déplacements inter-établissement sont soit purement déductifs soit veulent dépasser ce stade mais reviennent dans l'une des premières étapes de leurs méthodologies à une hypothèse déterministe propre de la démarche déductive (Gonzalez-Feliu et Routhier, 2012 ; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014f).

Une alternative à ces modèles peut donc être déployée en proposant des approches non purement déductives. Par exemple, dans d'autres domaines la démarche inductive est prédominante ou en tout cas très répandue (Aspinall, 1992). Il est donc envisageable d'appliquer ces méthodes à la modélisation de la demande de logistique urbaine. Néanmoins, cette démarche (qui est principalement probabiliste) peut se heurter aux limites du besoin de grandes quantités de données mais aussi à la difficulté à conclure sur les facteurs et logiques de génération sans faire de choix non appuyés par les statistiques. Dans ce contexte, une troisième voie pourrait être déployée : la démarche abductive. Elle serait moins lourde à mettre en place que les modèles inductifs mais avec une justification qui part des observations (et donc sans le besoin de réaliser des hypothèses fortes et déterministes comme dans les modèles déductifs).

Actuellement, la démarche abductive reste méconnue non seulement en logistique urbaine mais en modélisation de la demande. Dans ce contexte, il semble intéressant d'explorer cette démarche et de proposer de compléter les modélisations catégorielles par une démarche de modélisation standardisable. C'est pourquoi les travaux proposés ici en modélisation de la demande pour les déplacements inter-établissements portent sur ces deux démarches et sur leurs synergies.

#### **3.1.2. Principes et déroulé méthodologique**

L'abduction ou inférence abductive (*i.e.* de la meilleure explication) est un mode de raisonnement qui consiste, lorsque l'on observe un fait dont nous connaissons une cause possible, à conclure à titre d'hypothèse que le fait est probablement dû à cette cause-ci (Josephson *et al.*, 1994). L'abduction a suscité un intérêt croissant dans différentes disciplines comme le droit, les sciences informatiques, plus précisément dans l'intelligence artificielle ou les systèmes experts (Josephson et Josephson, 1996).

Derrière la vision abductive, l'idée est d'inférer des phénomènes (*i.e.* avec des procédures similaires à celles de la démarche inductive) puis stimuler, à travers ces inférences, le choix des hypothèses pour en déduire enfin les formalisations des phénomènes (*i.e.* avec des procédures propres à la démarche déductive). En d'autres termes, une première analyse statistique des données permet de réduire le champ des possibles et de sélectionner un sous-ensemble des logiques à tester. Ensuite, cet ensemble de logiques peut être testé par déduction, étant réduit, puis les différentes logiques comparées pour en sélectionner la plus pertinente.

En ce qui concerne la modélisation abductive des déplacements inter-établissements, nous proposons la méthodologie suivante, qui applique l'abduction à l'analyse catégorielle. La méthodologie de modélisation proposée pour la demande de déplacements inter-établissements est donc organisée comme suit :

1. collecte et traitement des données ;
2. analyse statistique de forme et dispersion ;
3. mise en évidence de caractéristiques particulières de l'ensemble de données ;
4. mise en relation de ces caractéristiques avec des distributions statistiques ;
5. réduction du nombre de possibilités à tester à un sous-ensemble petit (trois ou quatre) ;
6. évaluation de la pertinence de chaque logique de génération sélectionnée ;
7. choix du modèle de génération.

Dans ce contexte, l'analyse statistique de ces données devient la pierre angulaire de la méthodologie inductive. En d'autres termes, pour pouvoir identifier les principales logiques de génération à partir des données il est important de bien les comprendre et analyser. Pour cela, une première analyse de significativité statistique est nécessaire. La significativité considérée ici est directement liée à la quantité de données disponibles, c'est-à-dire qu'un échantillon est considéré ici comme significatif s'il dispose d'une quantité suffisante d'individus pour réaliser des hypothèses, tests et calculs statistiques qui, le soient eux aussi significatifs. Une fois choisi le niveau d'agrégation des données, une analyse statistique détaillée peut être réalisée (analyse de dispersion, de corrélation, de forme, de symétrie, etc.) afin d'identifier, à partir des principaux indicateurs statistiques choisis, un ensemble de logiques de génération possibles (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2016). Ensuite, chacune de ces logiques peut être testée en développant le modèle résultant (par exemple en définissant les constantes ou obtenant les relations par régression, entre autres) afin d'obtenir un sous-ensemble de modèles de génération. Ces modèles sont ensuite comparés sur la base de l'erreur quadratique moyenne par rapport aux données d'enquêtes existantes.

Enfin, pour chaque catégorie, la logique de génération qui donne l'erreur moyenne quadratique la plus petite est choisie. Avec cette méthode, chaque catégorie résulte en une logique différente, qu'elle soit de causalité, de génération constante ou aléatoire ; toute autre logique non encore explorée pourrait être testée par la suite, pourvu qu'elle ait été préalablement justifiée par une analyse statistique descriptive.

### 3.1.3. Résultats

Nous proposons ci-dessus un exemple d'application de cette méthode. Pour pouvoir réaliser les analyses nécessaires au déploiement de la méthode, il est important de disposer d'un ensemble de données suffisamment large et pertinent, de qualité suffisante et issues d'une collecte de données dont les hypothèses et les choix d'agrégation et d'échantillonnage soient connus et vérifiables. Les données étant donc au cœur de la modélisation, il est indispensable de les définir même avant de présenter la démarche méthodologique en détail : nous avons extrait de la base de données composée des résultats des trois enquêtes Marchandises en Ville (Ambrosini *et al.*, 2010) toutes les opérations d'enlèvement des trois villes confondues (Bordeaux, Dijon et Marseille). Cela dérive de l'hypothèse que les logiques de génération sont indépendantes de la ville et étroitement liées à la catégorie d'activité (au niveau élémentaire, *i.e.*, pour un établissement indépendamment de son contexte), qui est soutenue par différents travaux scientifiques avec des preuves quantitatives (Gentile et Vigo, 2013 ; Holguin-Veras *et al.*, 2013 ; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014a).

Ensuite, nous choisissons l'objet de modélisation : l'expédition, qui peut être caractérisée, entre autres, par son lieu, sa quantité de marchandise (en unités de conditionnement, poids et volume), les différentes destinations de cette expédition, son mode de gestion (compte propre expéditeur, compte propre destinataire ou compte d'autrui), le véhicule utilisé, le lieu de chargement, les lieux de déchargement, le temps de parcours de chaque étape de la tournée et le temps de stationnement pour enlever ou livrer les marchandises dans la tournée. A partir de cette définition, il est possible de réaliser une première analyse inductive de la génération, *i.e.* de regarder, catégorie par catégorie, si nous pouvons définir, à partir des analyses statistiques descriptives des données, une logique de génération.

Nous pouvons ensuite définir le méta-modèle de génération. Rappelons que ce modèle est dit d'émission. En d'autres termes, et contrairement aux autres travaux de la littérature scientifique où les livraisons sont générées à destination, nous commençons par générer la demande à son origine, pour dans un deuxième temps, affecter les destinations potentielles à cette origine. Ces modèles ne sont pas nouveaux, mais sont en général réalisés après un modèle d'attraction, et donc pilotés par les réceptions. Ici, les réceptions sont la conséquence des envois, et non le contraire. Autrement dit, le but du modèle proposé est de générer des flux de marchandises en milieu urbain en mettant l'accent sur les expéditeurs et non sur les récepteurs. Pour ce faire, nous avons considéré un établissement  $e$  d'une zone urbaine. Cet établissement est défini par une classe d'activité  $a$  (à savoir le type de locaux, dans 35 catégories). En outre, nous connaissons aussi son nombre d'employés  $Emp_e$ . Le nombre d'expéditions  $del_e^a$  de cet établissement  $e$  est ensuite défini par (1):

$$del_e^a = f(Emp_e) \quad (1)$$

Comme le montre Holguin-Veras *et al.* (2011), certaines catégories d'établissements ont une fonction de génération qui dépend du nombre d'employés, mais d'autres ont une fonction de génération constante à destination. Nous proposons de compléter cette vision en ajoutant une troisième possibilité : si ni la relation linéaire ni l'hypothèse constante ne peuvent être définies, nous pouvons modéliser la génération d'expéditions par une variable aléatoire mais qui suit une loi de probabilité (normale lorsque la catégorie est fortement significative). En d'autres termes, si la variabilité des données ne permet pas de définir un invariant, il semble plus judicieux de

définir la génération par une moyenne et un écart type, puis par une loi de probabilité (normale ou pseudo-normale). Le choix de la distribution de probabilité dans les catégories à génération aléatoire (troisième possibilité) dépend de écart type  $\sigma$ . Statistiquement, la valeur d'une variable aléatoire qui suit une loi normale centrée réduite  $N(0 ; 1)$  a 95% de probabilités d'être comprise dans l'intervalle  $[-1,96 ; +1,96]$  (Wonnacott et Wonnacott, 2001). En extrapolant à une loi normale ni centrée ni réduite, si  $1,6.\sigma < \text{Moyenne}$ , alors nous pouvons définir une loi normale avec 97,5% de possibilités que la valeur soit positive. Par conséquent, si  $1,6.\sigma > \text{Moyenne}$  nous définirons une Loi de Rayleigh, qui fait partie des lois logarithmiques-normales, est asymétrique et permet d'éviter des valeurs négatives (Rayleigh, 1880). Nous pouvons ensuite classer l'ensemble des établissements en un certain nombre  $n$  de catégories. Pour chaque catégorie  $P_i$ ,  $i=\{1 ; \dots ; n$ , la logique de génération correspondante peut être définie comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} del^e = f^a(emp^e) \text{ Si la catégorie } a \text{ est dépendante de l'emploi} \\ del^e = K^a \text{ si nous pouvons définir une invariante} \\ del^e = r^a \text{ autrement} \end{array} \right. \quad (2)$$

où  $f^a$  est une fonction du nombre d'employés, définie pour chaque catégorie dépendant de l'emploi ;

$K^a$  est une constante, définie pour les catégories où une invariante peut être définie ;

$r^a$  est une valeur aléatoire qui suit une distribution de probabilité définie préalablement.

La méthodologie proposée pour obtenir ces logiques de génération est articulée en trois grandes étapes, définies comme suit (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2016) :

1. Pour chaque catégorie, une analyse de dispersion est effectuée, comme dans Gonzalez-Feliu *et al.* (2014a). En d'autres termes, nous calculons pour chaque catégorie le nombre moyen de livraisons  $E(n)$  (indépendamment de l'emploi), ainsi que l'erreur standard correspondant  $\sigma(n)$ . Ensuite, le coefficient de variation CV est estimé à indiquer sur l'importance de l'utilisation des valeurs moyennes de la nature et de bonnes invariant voyages qui est l'hypothèse principale derrière le modèle constant. CV est estimé comme suit:  $CV = E(n) / \sigma(n)$
2. Ensuite, pour chaque catégorie, au même niveau d'agrégation, une analyse économétrique est réalisée (comme sur Holguin-Veras *et al.*, 2013). Deux analyses de régression linéaire sont prévues, l'une pour la forme  $y = a.x + b$  et l'autre pour la forme  $y = c.x$ . Ces deux modèles sont estimés par la méthode des moindres carrés.
3. Ensuite, chacun des trois modèles (l'approche constante et les deux modèles linéaires) sont comparés entre eux en utilisant l'erreur quadratique moyenne comme indicateur pour la comparaison. Le modèle donnant l'erreur quadratique moyenne la plus petite est enfin sélectionné.

Nous présentons par la suite les résultats de ce cadre de modélisation. Le modèle a été construit sur un échantillon de 454 établissements représentatifs issus des enquêtes « Marchandises en Ville » sur l'aire urbaine de Bordeaux (Ambrosini *et al.*, 2010). Ce chiffre correspond au nombre d'établissements ayant renseigné des opérations d'enlèvement (donc des expéditions).

Seules les catégories significatives (faible ou fortement) ont été retenues. Pour cela, l'échantillon a été réduit à 332 établissements. Compte tenu de la petite taille de l'échantillon, nous avons choisi la catégorisation la plus adaptée à une analyse de statistique descriptive qui puisse dégager des conclusions.

Nous proposons de regarder les 4 classifications principales issues des enquêtes ménages déplacements (Ambrosini *et al.*, 1996, 1999a,b) : une première agrégation en 8 macro-catégories d'activité, deux classifications en 29 et 44 catégories d'activité respectivement et une classification en 111 catégories qui tiennent compte à la fois de l'activité et du nombre d'employés. A ce stade, nous pouvons faire le choix de la catégorisation, sur des bases objectives. Tout d'abord, il est important de regarder la significativité statistiques, *i.e.* si le nombre d'individus dans chaque catégorie est suffisant pour réaliser des conclusions par une analyse de statistique descriptive. D'après Wonnacott et Wonnacott (2001), nous avons besoin d'au moins 30 individus pour conclure qu'un échantillon est statistiquement significatif. Néanmoins, il arrive que dans certaines catégories le nombre d'individus est inférieur à 30. Faut-il donc rejeter toute statistique sur ces données ? La réponse est bien entendu non, mais il est important d'avoir un nombre d'individus assez important pour pouvoir au moins obtenir des moyennes et indicateurs de dispersion qui aient un sens. Pour cela, nous proposons de définir deux types de significativité statistique : (1) la significativité forte, *i.e.* celle au sens de Wonnacott et Wonnacott (2011), *i.e.* celle obtenue lorsqu'une catégorie présente au moins 30 individus, et (2) la significativité faible, qui s'obtient lorsqu'une catégorie présente moins de 30 individus mais elle en compte au moins la moitié, soit 15 individus. Nous reportons ces résultats sur le Tableau 5 :

**Tableau 5.** Relations entre le niveau d'agrégation et la significativité statistique des données (en nombre d'expéditions, pour les résultats de l'enquête de Bordeaux de 1996, d'après Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014a)

Système de classification		Pourcentage de catégories avec au moins 35 individus	Pourcentage de catégories avec au moins 10 individus
ST8	8 catégories	6/8	8/8
ST29	29 catégories	8/29	20/29
ST44	44 catégories	9/44	26/44
ST111	111 catégories	1/111	33/111

Nous observons que la taille totale de l'échantillon n'est pas suffisante pour permettre une division fine en 111 catégories, ni même en 44 si nous souhaitons avoir toutes les catégories. Néanmoins, comme le modèle est basé sur l'émission de déplacements et non sur l'attraction, il est possible de ne pas tenir compte de certaines catégories si nous considérons qu'elles n'émettent pas de flux de marchandises (ou si elles le font sporadiquement). Pour cela, la classification en 29 catégories semble la plus pertinente.

Le Tableau 6 présente les principaux résultats de l'analyse. Nous rapportons dans les colonnes du tableau respectivement la taille de l'échantillon, les résultats de la régression linéaire et les résultats de l'analyse de dispersion. Enfin, nous avons signalé le modèle qui a été choisi pour chaque catégorie (soit une constante, une fonction linéaire de l'emploi ou une génération aléatoire, dans ce dernier cas la loi de probabilité : normale ou de Rayleigh). En ce qui concerne

la régression linéaire, le modèle sera validé et retenue si la valeur critique de F est inférieure à 1/1000, si le R<sup>2</sup> est supérieur à 0,4 et l'analyse de variance ne montre pas une invariance forte (nous pouvons considérer comme invariante une distribution statistique où la moyenne est supérieure à 10 fois l'écart type, comme dans Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014a). Nous observons 3 modèles linéaires en fonction de l'emploi dépendant (catégories 1, 7 et 8, *i.e.* 1, agriculture et commerce de gros intermédiaire et non alimentaire) et un modèle constant (catégorie 3, industrie chimique). Pour le reste des catégories, la moyenne est inférieure à 1,96 fois l'écart type, donc nous proposons une génération aléatoire selon une loi de Rayleigh.

**Tableau 6.** Principaux résultats de l'analyse inductive (présentées dans Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014a)

Cat.	Nom	Ech.	Résultats de la régression linéaire		Analyse de dispersion		Modèle retenu
			Meilleur R <sup>2</sup> trouvé	Valeur critique de F	Moyenne	Ecart type	
1	Agriculture	15	<b>0,81</b>	<b>1,60E-07</b>	2,80	3,80	Linéaire
2	Artisans	17	0,22	0,03	14,88	54,18	Rayleigh
3	Industrie chimique	21	<0,01	0,80	32,48	<b>2,77</b>	Constant
4	Industrie intermédiaire	54	0,11	0,01	16,04	49,27	Rayleigh
5	Industrie de biens consommation	37	0,33	<b>8,59E-05</b>	3,08	2,60	Rayleigh
7	Commerce de gros intermédiaire	57	<b>0,43</b>	<b>1,05E-08</b>	8,30	10,07	Linéaire
8	Commerce de gros non alimentaire	38	<b>0,42</b>	<b>3,14E-06</b>	42,53	107,54	Linéaire
9	Commerce de gros alimentaire	33	0,01	0,25	10,03	11,13	Rayleigh
24	Tertiaire, services	24	0,03	0,18	1,79	2,27	Rayleigh
25	Tertiaire, autres	21	<0,01	0,76	2,65	5,37	Rayleigh
34	Industrie lourde, construction	15	0,35	0,01	2,00	1,96	Rayleigh

Une fois la génération réalisée, nous pouvons développer la construction des tournées de livraison. Le modèle doit donc être capable de simuler des itinéraires de transport de marchandises dans les contextes urbains sans besoin de préciser explicitement des données spatialisées. Mais, comme le signalent Ambrosini *et al.* (1996), il est important de tenir compte les trois principaux modes de gestion du transport de marchandises en ville : (i) compte d'autrui, *i.e.* lorsque le transport est effectué par un professionnel du transport, ou compte propre, qui peut être réalisé (ii) par l'expéditeur ou (iii) par le destinataire, *i.e.* lorsque le récepteur lui-même va avec son propre véhicule récupérer directement la marchandise chez l'expéditeur ou à une plate-forme intermédiaire. La composition de ces trois modes de gestion en termes de pourcentage est différente pour chaque catégorie. En outre, la longueur des tournées de livraison en nombre d'arrêts est également liée à la fois à la catégorie et au mode de gestion (Gonzalez-Feliu et Morana, 2014 ; Cattaruzza *et al.*, 2015).

Pour cela, nous proposons la procédure de construction empirique suivant, organisée en 4 étapes:

1. Définition du pourcentage par mode de gestion du transport pour chaque catégorie.
2. Définition des catégories de tournée et de caractérisation de chaque catégorie en termes de longueur et composition des tournées.
3. Procédure empirique de construction de chaque tournée.

## 4. Estimation de la distance de chaque tournée.

Pour définir cette répartition par mode de gestion du transport, nous avons repris la classification (ST29), pour les catégories retenues dans la phase de génération, et estimé le pourcentage de transport en compte propre. A partir de l'hypothèse que la répartition par mode de gestion est indépendante des aspects territoriaux et de la culture locale, et donc principalement liée aux caractéristiques des établissements impliqués dans le transport de marchandises (expéditeur et récepteur), nous pouvons estimer la répartition par mode de gestion en utilisant la base de données « opérations » issue des enquêtes « Marchandises en Ville », qui inclut des données sur les parcours enquêtés dans les trois villes (Bordeaux, Marseille et Dijon) et retravaillées dans Gonzalez-Feliu et Morana (2014). En d'autres termes, étant donné un établissement  $e$  appartenant à la catégorie  $a$ , et ayant un nombre d'expéditions qui partent de cet établissement, noté  $del_e^a$ , nous définissons le pourcentage des livraisons qui suivent un mode de gestion  $m$  comme  $P_m^a$ . Nous définissons trois modes de gestion: transport en compte d'autrui (CA); compte propre expéditeur (CPE) et compte propre destinataire (CPD). Pour que la somme des livraisons effectuées par chaque mode de gestion soit égale au nombre total de livraisons  $del_e^a$ , la condition suivante doit être remplie:

$$\sum_m P_m^a = 1; m \in \{CA; CPE; CPD\} \quad (3)$$

Si nous supposons que chaque établissement  $e$  appartenant à une même catégorie  $a$  a la même répartition de ses expéditions par mode de gestion, le nombre de livraisons effectuées par mode de gestion  $m$  peut être défini comme suit:

$$del_{em}^a = P_m^a \cdot del_e^a \quad (4)$$

L'ensemble des valeurs qui prennent les différents  $P_m^a$  est synthétisé dans le Tableau 7 :

**Tableau 7.** Répartition moyenne par mode de gestion des expéditions hebdomadaires pour les catégories retenues

Catégorie	Nom	P <sub>CA</sub>	P <sub>CPE</sub>	P <sub>CPD</sub>
1	Agriculture	47,23%	13,05%	39,72%
2	Artisans	25,17%	21,40%	53,42%
3	Industrie chimique	73,83%	15,57%	10,60%
4	Industrie intermédiaire	76,65%	17,96%	5,40%
5	Industrie de biens consommation	63,09%	12,81%	24,11%
7	Commerce de gros intermédiaire	66,61%	9,26%	24,14%
8	Commerce de gros non alimentaire	69,84%	14,00%	16,16%
9	Commerce de gros alimentaire	55,15%	8,03%	36,83%
24	Tertiaire, services	62,71%	14,96%	22,33%
25	Tertiaire, autres	50,72%	25,77%	23,51%
34	Industrie lourde, construction	83,90%	2,86%	13,24%



Nous observons une forte prédominance du transport en compte d'autrui (9 des 11 catégories retenues présentent plus de la moitié d'expéditions en compte d'autrui, et pour 4 d'entre elles cette proportion est supérieure à 2/3). En ce qui concerne la proportion d'expéditions en compte propre, le compte propre destinataire (le mode de gestion du transport le plus difficile à modéliser et à optimiser) est généralement plus faible que le compte propre expéditeur, sauf dans le tertiaire-services, dans l'industrie chimique et intermédiaire. En tout cas, aucun de ces deux modes de gestion n'est négligeable.

Après cela, nous devons construire les tournées de livraison (pour le CA et le CPE) ou d'enlèvement (pour le CPD). Compte tenu de la catégorie d'établissement *ae* et la proportion de parcours de transport gérées selon le mode *m*, nous définissons la composition statistique des tournées à partir des données de la base de tournées urbaines construite dans Gonzalez-Feliu et Morana (2014) à partir de la table « parcours-arrêts » de l'enquête « Marchandises en Ville » (Ambrosini *et al.*, 2010). Ces parcours sont donc définis par une taille (en nombre de livraisons), la taille du véhicule, la quantité de marchandises transportée et la distance parcourue (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014a; Gonzalez-Feliu et Morana, 2014 ; Cattaruzza *et al.*, 2015).

Nous présentons dans le Tableau 8 une synthèse des résultats obtenus à partir de la base de données des tournées issue de l'enquête « Marchandises en Ville ». Nous observons que les parcours en CA et CPE (où le transport est organisé et réalisé avec les mêmes logiques) présentent des caractéristiques très similaires pour toutes les catégories jusqu'à 30 arrêts. La principale différence se constate dans les poids livrés (Tableau 9), mais en termes de moyenne et écart type du nombre d'arrêts, les tournées de ces deux catégories sont très proches. Cependant, la composante spatiale a un rôle important, et les premières analyses de données d'enquête recueillies montrent une différence significative en termes de kilomètres parcourus (Ambrosini *et al.*, 1996, 1999a,b).

**Tableau 8.** Nombre d'arrêts moyen et écart type pour chaque catégorie de parcours de livraison ou enlèvement.

Catégorie de tournée en nombre d'arrêts	Nombre moyen d'arrêts			Écart type du nombre d'arrêts		
	CA	CPE	CPD	CA	CPE	CPD
Trace directe (1 arrêt)	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
2 à 10 arrêts	6,47	6,48	3,47	2,37	2,19	1,83
11 à 20 arrêts	15,49	15,69	11,03	2,79	2,81	0,58
21 à 30 arrêts	24,70	24,94	-	2,58	2,34	-
31 arrêts ou plus	45,95	30,49	-	12,23	6,43	-

**Tableau 9.** Poids moyen par livraison, poids moyen total transporté et capacité moyenne des véhicules de livraison pour chaque catégorie de parcours de livraison ou enlèvement.

Catégorie de taille en nombre d'arrêts	Poids moyen livre à chaque arrêt (en kg)			Poids total moyen expédié (en kg)			Capacité moyenne du véhicule (en kg)		
	CA	CPE	CPD	CA	CPE	CPD	CA	CPE	CPD
Trace directe (1 arrêt)	3937	3469	3940	3937	3469	3940	9708	7646	9000
2 à 10 arrêts	1336	352	1023	5804	1794	61	8479	6469	5643
11 à 20 arrêts	489	103	56	3898	1440	116	5824	6658	5872
21 à 30 arrêts	62	30	-	1140	1753	-	5721	4976	-
31 arrêts ou plus	52	4	-	1181	1143	-	5815	3200	-

Enfin, nous présentons dans le Tableau 10 les résultats de l'application du modèle proposé sur un échantillon d'établissements issu de l'enquête « Marchandises en Ville » de Bordeaux. L'échantillon présente un ensemble d'établissements choisi aléatoirement dans l'enquête bordelaise. Nous appliquons le modèle sur cet échantillon et le comparons aux résultats de l'enquête, dans les deux cas agrégés par catégorie pour obtenir un effet global et lissé. Nous observons que les différences entre l'enquête et le modèle sont très hétérogènes : elles vont de 1% (commerces de gros non alimentaires) à 31% environ (autres activités tertiaires). Seule une catégorie dépasse le 25% de différence par rapport aux résultats de l'enquête. Les dix autres sont donc dans les niveaux de précision jugés satisfaisants par Ortuzar et Willumsen (2001).

**Tableau 10.** Application du modèle dans l'échantillon considéré

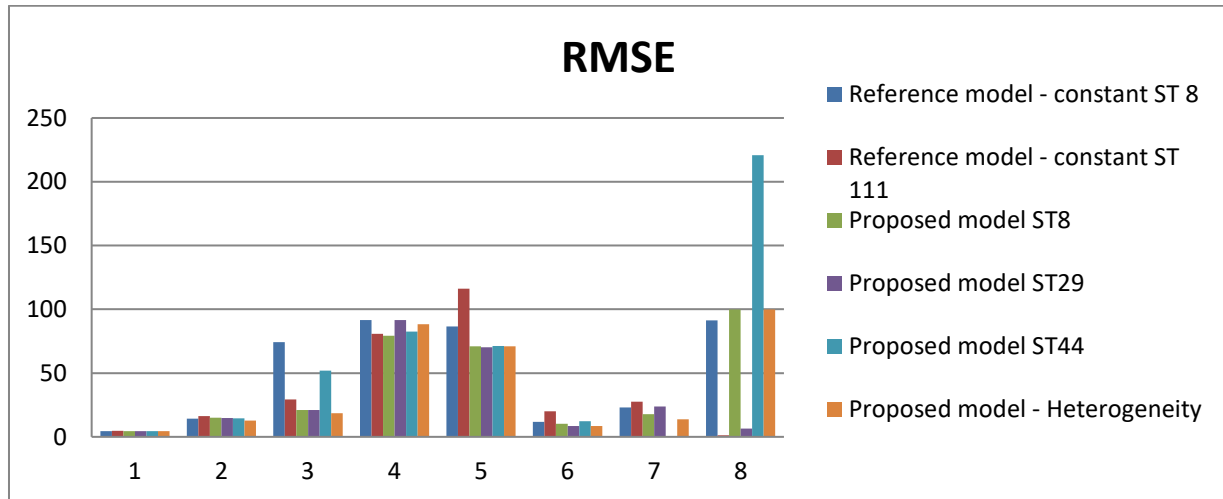
Catégorie		Nombre hebdomadaire de livraisons		
		Enquête	Modèle	Différence
1	Agriculture	109	118	+8,8%
2	Artisanat-services	376	357	-5,2%
3	Industrie chimique	146	170	+17,0%
4	Industrie intermédiaire	1232	1507	+22,3%
5	Industrie de biens consommation	654	560	-14,4%
7	Commerce de gros intermédiaire	1401	1249	-10,8%
8	Commerce de gros non alimentaire	681	687	+0,7%
9	Commerce de gros alimentaire	311	407	+31,2%
24	Tertiaire, services	271	326	+20,3%
25	Tertiaire, autres	923	1249	+35,4%
34	Industrie lourde, construction	381	289	-24,1%

### 3.1.4. Apports

Le cadre de modélisation proposé n'est pas un standard ou un outil clé en main mais une méthodologie reproductible sur différents contextes et un cadre de développement et d'analyse des modèles. Il constitue une alternative aux modèles déductifs en apportant une méthode pour définir des logiques d'optimisation souhaitables et ensuite tester leur pertinence (avec une logique abductive). Dans cette approche, la phase d'analyse des données prend une part importante et les choix ne se font pas *a priori* sur la seule logique de l'expertise, mais à partir des données collectées.

De plus, une application de cette démarche permet d'étudier les liens entre l'agrégation des données et qualité de la solution (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2016 ; Sanchez-Diaz *et al.*, 2016a). En effet, ces liens peuvent être cruciaux dans le développement de modèles de demande car,

comme souligné par Holguin-Veras et Jaller (2014), la quantité et la qualité des données dépendent directement des ressources disponibles pour sa collecte et traitement. Mais, jusqu'à quel degré de détail est-il nécessaire d'aller ? L'application de ces méthodes a montré que, pour la génération, et si l'on souhaite finalement agréger les résultats au niveau d'une ville, le niveau d'agrégation joue un rôle moins important que la définition de la logique de génération la plus pertinente pour chaque catégorie (Figure 5).



**Figure 5.** Comparaison de plusieurs modèles de génération de déplacements inter-établissements (élaboration auteur à partir des résultats présentés dans Sanchez-Diaz *et al.*, 2016a)<sup>10</sup>

En effet, si l'on regarde dans la figure ci-dessus, sur 5 des 8 macro-catégories, les erreurs sont très similaires entre les différents modèles. Il n'y a que 3 catégories (Industrie, catégorie 3, commerce, catégorie 5 et entreposage-transport, catégorie 8) où l'on trouve des erreurs différentes. Et si l'on regarde en détail, dans les catégories 3 et 5 les modèles les moins pertinents sont souvent des modèles basés sur les constantes. Il n'y a que la catégorie 8 qui présente *a priori* une grande différence entre les modèles et mériterait d'être étudiée en détail, pour identifier si est dû à une question d'hétérogénéité des données ou à un manque ou une limite dans l'approche de modélisation.

### 3.1.5. Limites et perspectives

L'approche proposée reste néanmoins limitée à la génération des déplacements. Actuellement, les autres phases du modèle ne sont pas encore développées en détail, en particulier la construction des tournées urbaines. Cela est dû en partie au fait que les données disponibles ne permettent pas de construire des tournées détaillées, mais seulement des chaînes moyennes de déplacements. Une approche abductive est en cours de développement pour étudier la meilleure logique de construction de ces tournées, en regardant entre autres la relation entre la génération et les modèles d'offre présentés ci-dessous.

<sup>10</sup> Catégories : 1. Agriculture, 2. Artisanat-services, 3. Industrie, 4. Commerce de gros, 5. Petit commerce, 6. Grande surface, 7. Tertiaire, 8. Entreposage-transport (catégories extraites de l'enquête Marchandises en Ville, Ambrosini et al., 1996, 2010).

De plus, les logiques de génération principalement testées sont la génération à la constante et les modèles linéaires. Or, les analyses statistiques montrent que d'autres logiques pourraient être envisagées. La proposition de modèles probabilistes sur une base abductive, avec le développement d'une méthodologie pour identifier la distribution de probabilité la plus pertinente sont en cours de développement (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014c ; Lopez *et al.*, 2016). De plus, une réflexion sur l'application de modèles non-linéaires devrait faire l'objet de la suite des travaux présentés dans Sanchez-Diaz *et al.* (2016a).

### **3.2. Approche de problématisation des solutions pour utiliser les algorithmes de la recherche opérationnelle de manière appliquée**

#### **3.2.1. Motivation**

Dans une première étape (liée principalement à la réalisation de la thèse de doctorat, *cf.* Gonzalez-Feliu, 2008) les modèles d'offre proposés suivaient les principes classiques de la recherche opérationnelle (telle que dans Toth et Vigo, 2002 ou Cordeau *et al.*, 2007, entre autres). Ces méthodes, tout comme les méthodes de la recherche opérationnelle utilisées en logistique urbaine (Taniguchi *et al.*, 2001 ; Crainic, 2008) reposent sur le principe de la résolution des problèmes de la recherche opérationnelle, dans sa vision majoritaire et plus répandue dans le monde. Néanmoins, cette vision présente d'importantes limites. Pour comprendre la mise en question de ces méthodes, il est important de revenir aux années 70-80, et à une figure controversée de la recherche opérationnelle (RO) : Russell Ackoff. Considéré comme l'un des pères de la RO, il est aussi considéré comme un anti-prophète de la discipline (Kirby, 2005), très critiqué par le courant nord-américain et très apprécié par le courant britannique de la RO. Parmi les écrits « bannis » d'Ackoff, nous retrouvons l'un des articles fondateurs de sa pensée (Ackoff, 1977), dans lequel il critique la vision encore actuelle de la RO, selon laquelle à trop se concentrer sur l'optimisation et à rester détaché de la réalité, nous finissons pour ne plus la représenter. Pour cela, Ackoff propose de compléter la vision « résolution du problème » classique de la RO par ce qu'il appelle la « problématisation de la solution ». En d'autres termes, une fois une réalité est modélisée et optimisée (« résolution du problème »), la recherche n'est pas finie, bien au contraire. C'est à ce moment qu'une nouvelle étape commence, dans laquelle la ou les solutions obtenues sont examinées et la représentativité de la réalité est analysée (Gonzalez-Feliu, 2013). Si cette représentation est jugée suffisante, la recherche s'arrête ; sinon, il est important de regarder si l'écart à la réalité recherchée vient du modèle (*i.e.* du problème formalisé) ou de l'algorithme développé. En d'autres termes, si un algorithme est très robuste du point de vue de l'algorithme et l'informatique, mais le résultat obtenu est sur-optimisé par rapport aux capacités réelles du secteur du transport actuellement, la solution n'est pas pertinente. Il faut donc soit changer l'algorithme soit revoir les objectifs et les hypothèses de l'optimisation.

Les méthodes proposées ici s'insèrent dans le cadre des enseignements d'Ackoff et de la vision hétérodoxe de la recherche opérationnelle (Chesterton *et al.*, 1975 ; Rosenhead, 1976, 2009 ; Kirby 2005, 2007 ; Mingers, 2011 ; Gonzalez-Feliu, 2013). Les travaux proposés ici se concentrent donc sur la phase de problématisation des solutions, très absente dans les approches classiques de la recherche opérationnelle, pour construire des schémas logistiques urbains (et donc une offre) qui ait un lien direct avec la réalité et les données collectées pour la modéliser.

### 3.2.2. Principes et déroulé méthodologique

Les méthodes présentées ici se proposent de construire des tournées avec une vision de problématisation de la solution. Plus précisément, nous souhaitons proposer une optimisation des tournées qui puisse représenter le transport de marchandises actuel ou dans un futur proche, *i.e.*, donner des tournées réalistes et leurs possibles évolutions. La méthodologie proposée ici se concentre donc sur les étapes de problématisation de la solution (Solution probleming, Ackoff, 1977) et est structurée comme suit (Gonzalez-Feliu et Parent, 2016) :

1. Définition des objectifs et la portée de l'analyse.
2. Représentation de la réalité et la modélisation ultérieure.
3. Production de données et définition des situations afin d'évaluer l'utilisation du modèle choisi.
4. Choix d'une première méthode de résolution du modèle proposé appliqué aux données et aux situations produites.
5. Analyse de la robustesse de l'algorithme.
6. Analyse de la pertinence, la cohérence et de la robustesse de la solution par rapport aux objectifs et la portée de l'analyse.
7. Analyse de la représentativité du modèle par rapport à la réalité observée.
8. Enfin, reformulation du problème, nouvelle formation mathématique du modèle ou révision / modification de la méthode de résolution. Pour ceci, des analyses itératives sont réalisées jusqu'à converger vers une combinaison satisfaisante qui inclut le problème, le modèle, la méthode de résolution et la solution obtenue avec cette méthode.

Cette description explicite de ces modèles méthodologiques conduit à remettre en question la pertinence de la recherche opérationnelle, ainsi que plusieurs applications potentielles. Même si elle est actuellement utilisée principalement sur une vision d'« optimisation globale », par exemple dans le transport de marchandises (Taniguchi *et al.*, 2001, Barnhart et Laporte, 2007), la recherche opérationnelle peut également être appliquée à d'autres objectifs, comme par exemple à des fins de simulation et d'évaluation (Gonzalez-Feliu et al 2014c; Macharis et al, 2014; Taniguchi et Thompson, 2015) ou pour reproduire des comportements réalistes (Deflorio et al., 2012). Cependant, la plupart des applications actuelles ne prévoient pas une utilisation des outils de la recherche opérationnelle autre que celle de l'optimisation (théorique ou approchée mais toujours dans une logique de recherche d'un optimum sans nécessairement représenter une réalité).

L'application précise sur l'estimation des tournées urbaines (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012, 2013 ; Gonzalez-Feliu et Salanova, 2012 ; Salanova Grau et Gonzalez-Feliu, 2015) s'articule donc comme suit. Premièrement, nous définissons le problème sur la forme d'un graphe (Lacomme *et al.*, 2003). Dans un schéma de distribution avec des CDU privés (*i.e.* des plates-formes urbaines de groupage-dégroupage mono-utilisateur et gérées de façon privée par leur respectif utilisateur), nous pouvons définir un graphe représentant le système de transport qui contient trois catégories de sommets : la première est celle des dépôts, correspondant aux emplacements

des expéditeurs ; la deuxième est celle des CDU privés qui peuvent être considérés comme des plates-formes intermédiaires où seules des opérations de crossdocking et d'entreposage à très court temps d'attente pour le chargement des marchandises concernées dans les véhicules de livraison finale ; la troisième est celle des clients, les destinations finales des produits. Chaque expéditeur dispose de ses propres clients (certains de ces clients reçoivent des marchandises de plus d'un expéditeur, d'où l'intérêt de la consolidation urbaine des marchandises). Pour réduire le nombre de fois où un client reçoit une livraison (et de conséquence le nombre de véhicules utilisés), les expéditeurs apportent tous leurs produits à un ou plusieurs CDU, où toutes les marchandises transportées sont consolidées et regroupées pour former des tournées de livraison vers les clients. Dans cette logique, toutes les marchandises livrées par les expéditeurs passent à travers les CDU, dans une logique de système de transport à plusieurs échelons (Gonzalez-Feliu, 2012b). De plus, nous assumons que chaque expéditeur dispose de sa propre flotte de véhicules ; en d'autres mots, nous considérons dans un premier temps que, pour chaque expéditeur, tous les véhicules ont les mêmes caractéristiques, mais chaque expéditeur ayant une flotte propre, les caractéristiques des véhicules de l'expéditeur  $i$  peuvent être différentes de celles de l'expéditeur  $j$ . La même hypothèse est appliquée aux CDU : chaque plate-forme dispose de sa propre flotte homogène de véhicules, spécifique au CDU mais les caractéristiques de cette flotte peuvent varier d'un CDU à un autre. L'objectif de la planification de ce système de distribution urbaine est alors de minimiser les coûts de transport pour livrer l'ensemble des clients de chaque expéditeur en utilisant le système multi-échelons présenté ci-dessus. Ce problème d'optimisation soulève trois questions principales (Salanova Grau et Gonzalez-Feliu, 2015) :

1. Grouper les clients pour des envois mutualisés et les affecter aux entreprises expéditrices (problème d'affectation).
2. Repérer les points de consolidation/crossdocking d'accueil les plus appropriés (problèmes de localisation-allocation).
3. Construire les tournées pour le deuxième échelon, ou niveau (problèmes de tournées de véhicules), *i.e.* pour les véhicules réalisant le transport mutualisé de marchandises du point de crossdocking aux clients.
4. Construire les tournées du premier échelon (problèmes de tournées de véhicules) *i.e.* les tournées qui livrent les points de crossdocking depuis les différents expéditeurs.

### 3.2.3. Résultats

Pour illustrer la méthodologie proposée, nous synthétisons ici les résultats présentés dans Gonzalez-Feliu et Salanova Grau (2015). Nous proposons deux algorithmes, un de type constructif (*i.e.* l'algorithme est utilisé pour construire les tournées avec une logique précise) et un de type multi-départ (*i.e.* l'algorithme part d'un ensemble aléatoire de tournées sur lesquelles choisir). Dans les deux cas, nous proposons de construire les tournées par un algorithme de type *cluster first route second*, qui consiste à affecter les clients d'abord à une tournée (*clustering*) puis de construire, pour chaque cluster, une tournée (*routing*). Enfin, pour améliorer légèrement la solution sans sur-optimiser par rapport à la réalité, nous utilisons dans les deux cas une

procédure de post-optimisation (*i.e.* une méthode combinatoire d'amélioration des tournées obtenues) par une recherche locale

Dans la phase de clustering, les clients sont affectés à chaque véhicule du deuxième échelon, puis à un point de crossdocking. Pour réaliser cette affectation, nous adaptons la méthode de clustering dite Sweep, l'un des algorithmes de ce type les plus connus (Toth et Vigo, 2002). L'algorithme, permet de partitionner l'ensemble des clients dans un nombre de clusters inférieur ou égal au maximal de véhicules de la flotte. Cet algorithme a été adapté sur le fait que chaque satellite dispose de sa propre flotte de véhicules, de sorte que chaque groupe est affecté *a priori* à un point de crossdocking et les caractéristiques du véhicule sont considérées dans la phase de regroupement. En d'autres termes, chaque grappe permettra de vérifier la condition suivante : la quantité totale de marchandises (en poids) correspondant aux clients affectés à la grappe doit être inférieure ou égale à la capacité d'un seul véhicule de la flotte de la plate-forme de consolidation correspondant. Pour plus de détail sur cette méthode, cf. Gonzalez-Feliu *et al.* (2013f) et Salanova-Grau et Gonzalez-Feliu (2015).

Une fois que les clusters sont constitués, les tournées peuvent être construites. Nous proposons deux approches heuristiques pour la construction des tournées : un algorithme constructif semi-glouton (*semi-greedy algorithm*) et un algorithme multi-départ génétique (*genetic algorithm*). L'algorithme semi-glouton est proposé à partir du constat qu'un chauffeur va essayer d'aller localement d'un point au plus proche, mais sa perception du « plus proche » ou sa connaissance de plusieurs facteurs externes peuvent faire qu'il n'aille pas au plus proche dans l'absolu, mais à l'un de ceux qui sont les plus proches du point où il se trouve. L'algorithme, adapté de celui proposé par Hart et Shogan (1987) construit la tournée de chaque véhicule suivantes une procédure itérative qui ajoute chaque client du cluster considéré à une position dans la tournée du véhicule correspondant. Compte tenu de l'itération  $i$  et une tournée inachevée, une liste de candidats est définie en prenant les  $n$  clients plus proches du dernier point actuel de la tournée. Cela est réalisé par la définition d'un seuil de distance  $\delta$ . Les clients dont la distance pour le dernier point de la route est inférieure à  $\delta$  sont inclus dans cette liste, qui sera appelée Liste Restreinte de Candidats (LRC). Ensuite, le client inséré sur la route est choisi au hasard parmi les clients LRC. Une fois les tournées de deuxième échelon étant définies, celles du premier peuvent être construites, soit avec le même algorithme, soit avec une programmation dynamique classique. L'algorithme proposé permet de résoudre des cas de plus de 1000 clients et de 5 CDU en moins de 1 seconde. Les détails de l'algorithme semi-gloutons peuvent être trouvés dans Gonzalez-Feliu (2012) et dans Salanova Grau et Gonzalez-Feliu (2015).

L'algorithme génétique proposé est adapté d'un algorithme classique pour le problème du voyageur de commerce. Ce choix est motivé par le fait que chaque tournée étant construite séparément et la contrainte de capacité étant vérifiée lors de la phase de clustering, le problème du voyageur de commerce approxime bien la construction des tournées. De plus, un algorithme génétique est très gourmand en temps de calcul donc l'appliquer pour construire chaque tournée séparément réduit significativement ce temps de calcul. En outre, le problème d'optimisation étant dans son ensemble très complexe, il est souhaitable de le simplifier avant d'appliquer cet algorithme. L'algorithme génétique proposé est un algorithme de mutation, qui commence à partir d'un ensemble de solutions possibles puis chaque génération est générée par mutation de

l'une antérieure pour trouver le meilleur chemin dans chaque cluster. Les détails concernant le processus de post-optimisation génétique peuvent être trouvés dans Salanova Grau et Gonzalez-Feliu (2015).

Afin d'évaluer la pertinence des algorithmes proposés pour faire face aux objectifs des utilisateurs potentiels (*i.e.* à adresser l'applicabilité des algorithmes dans le sens d'Ackoff, 1977), nous proposons de les comparer à un autre algorithme de la littérature. Néanmoins, dans la littérature les problèmes de distribution à deux niveaux ne présentent pas de cas avec consolidation et mutualisation, mais les plates-formes intermédiaires sont des centres d'éclatement. Nous avons donc appliqué ces algorithmes aux instances proposées par Gonzalez-Feliu (2008). Afin de les comparer à des algorithmes poussés, nous avons choisi l'algorithme considéré comme étant le plus performant actuellement pour ce problème, *i.e.* celui proposé par Hemmelmayr *et al.* (2012). Nous sommes conscients que ces algorithmes ne sont pas le meilleurs (au sens de la « résolution du problème » classique en RO et des aspects algorithmiques) pour ce problème simplifié, car ils ont été adaptés à un cas plus complexe et visent à trouver une solution appropriée rapidement. Les résultats obtenus par l'algorithme semi-gourmand sont loin d'être optimum théorique (à partir des 21 instances résolues, un seul résultat présente un écart à l'optimum théorique inférieur à 5%, et cinq sous 10%). Ces résultats nous permettent de préciser sur l'intérêt de l'amélioration de l'optimisation de poste intra-parcours (pour 5 des 21 instances, la solution obtenue par l'algorithme génétique présente un écart à l'optimum théorique de moins de 5%, et pour 11 cas cette lacune est de moins de 10%). Les résultats complets de cette comparaison peuvent être consultés dans Salanova-Grau et Gonzalez-Feliu (2015). Bien que ces résultats montrent que les algorithmes ne sont pas le meilleur moyen pour obtenir l'optimum théorique de ce problème simplifié, ils sont sur la ligne de ce que des outils commerciaux peuvent obtenir (voir Partika et Hall, 2010 pour une enquête sur les outils utilisés dans la pratique), et donnent des résultats proches à ceux relevés lors d'enquêtes quantitatives sur le transport de marchandises en ville (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2015).

Ensuite, il est important d'appliquer les algorithmes proposés dans un contexte urbain. Ces cas sont la base des scénarios proposés dans Gonzalez-Feliu et Salanova (2012) et Gonzalez-Feliu *et al.* (2013f). Le premier scénario ne considère pas de collaboration, et chaque transporteur a un système de livraison classique à un seul niveau. Les Scénarios 2 et 3 proposent un premier niveau de collaboration, car les systèmes de transport sont à deux niveaux, avec des points de crossdocking pour relier ces deux niveaux. Dans le scénario 2, aucune collaboration inter-entreprises n'est autorisée, dans le deuxième les points de crossdocking peuvent être mutualisés mais pas les véhicules. Ensuite, les scénarios 4 et 5 proposent une approche de mutualisation effective du transport. Plus de détails sur les scénarios peuvent être trouvés dans Gonzalez-Feliu et Salanova (2012) et Gonzalez-Feliu *et al.* (2013f).

**Tableau 11.** Résultats des deux algorithmes sur des données réalistes (adapté de Salanova-Grau et Gonzalez-Feliu, 2015)

Test	Nombre de véhicules	Distances totales parcourues (km)			Temps de calcul (s)	
		Semi-gourmand	Génétique	Différence	Semi-gourmand	Génétique
1	9	731,85	679,91	7,1%	0,06	95,18
2	48	1089,83	1043,86	4,2%	0,08	330,26



3	49	1499,11	1426,98	4,8%	0,15	454,09
4	46	1035,35	998,46	3,6%	0,09	355,91
5	48	1976,81	1168,78	40,9%	0,01	437,93

Nous rapportons dans le Tableau 11 le détail des solutions obtenues pour chaque partie de chaque scénario. Nous observons que les distances parcourues obtenues par l'algorithme semi-gourmand sont en moyenne de 5,5% plus élevées que les itinéraires obtenus par l'algorithme génétique. En outre, nous observons que ces différences ne sont pas uniformes. Nous observons un écart entre les deux algorithmes qui reste relativement faible pour les instances avec pas ou peu de collaboration. Cet écart devient très élevé (près de 41%) pour le dernier scénario, qui présente un fort niveau de collaboration. En termes de temps de calcul, l'algorithme semi-gourmand a un temps moyen de 0,078 secondes pour résoudre chaque scénario (c.-groupe de cas), tandis que l'algorithme génétique a besoin de 1,5 à 7,5 minutes. Bien que l'algorithme génétique présente des temps de calcul beaucoup plus élevés que l'algorithme semi-gourmand, ils restent réalisables dans des conditions réelles : un utilisateur peut attendre quelques minutes pour une solution si la solution produite est nettement meilleure que celle obtenue par un algorithme très rapide. Néanmoins, dans la simulation de plusieurs scénarios ou dans le déploiement d'outils d'aide à la décision en ligne, l'algorithme semi-gourmand semble plus pertinent. Pour ces raisons, nous pouvons conclure que l'utilisation de deux algorithmes est souhaitable, et dépend des objectifs du décideur et/ou de l'utilisateur.

### 3.2.4. Apports

La méthodologie proposée permet d'estimer des tournées réalistes, avec des temps de calcul qui restent petits. L'objectif étant de simuler des tournées possibles et acceptables par les chauffeurs, cette méthode reste pertinente dans la simulation de l'offre. En effet, en comparant la composition de ces tournées avec celles répertoriées dans les enquêtes marchandises en ville françaises (Ambrosini *et al.*, 2010), nous observons que ce type d'algorithmes permettent d'estimer des tournées très similaires aux tournées moyennes des enquêtes (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2015). Nous pouvons donc générer ces tournées pour la production d'indicateurs et analyses visant à aider les décisions en matière de logistique urbaine durable (Gonzalez-Feliu et Salanova, 2012 ; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013f).

De plus, ces approches sont les premières à être directement liées à des modèles de demande (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014c). Les approches de recherche opérationnelle classique sont en général calibrées et testées sur la base d'instances de test théoriques qui ne dérivent pas souvent de données réelles mais qui permettent d'estimer leur capacité à obtenir des solutions proches d'un optimum théorique (Toth et Vigo, 2002). Mais les transporteurs réalisent des parcours qui ne sont pas forcément proches de cet optimum théorique (Morana *et al.*, 2014), donc il est nécessaire de rapprocher les résultats de l'optimisation à la réalité (Ackoff, 1977). Pour ce faire, il est important de tester les méthodes proposées sur des données réelles (comme proposé ci-dessus) et donc de prévoir une méthode d'estimation de la demande adaptée. En testant ces modèles sur des scénarios réalisés avec un modèle de demande adapté (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014c), nous nous rapprochons de la vision de problématisation des solutions d'Ackoff (1977).

### 3.2.5. Limites

Ces méthodes présentent néanmoins plusieurs limites. La première est d'ordre méthodologique. Les méthodes proposées restent simples et standard (elles ont été développées principalement dans les années 60) et ne profitent pas de la puissance de calcul actuelle. Sans rentrer dans la construction d'algorithmes complexes et peu applicables, il serait souhaité de faire évoluer ces méthodes pour mettre à profit les outils informatiques actuels, comme par exemple en adaptant des techniques plus évoluées mais aujourd'hui considérées comme standard par la communauté, comme le *unified tabu search* (Cordeau *et al.*, 2001). Une utilisation intelligente du calcul en parallèle ou l'introduction de mécanismes d'apprentissage pour mieux simuler le comportement du chauffeur pourra aussi être envisagée (Azami *et al.*, 2015).

Une autre limite est le manque d'outil standard pour l'optimisation des tournées, qui limite la mise en application de ces méthodes. En effet, les algorithmes proposés ont été programmés en Matlab ou C++ et restent du domaine de la recherche, avec la contrainte d'utilisation par les personnes qui les ont développés. Pour lever ce verrou, l'intégration de plusieurs de ces méthodes, en combinaison à d'autres méthodes plus classiques (Faure *et al.*, 2014 ; Muñoz-Villamizar *et al.*, 2015) dans la plate-forme ANNONA est en cours.

Reste aussi la question de l'acceptation de la part de la communauté scientifique de recherche opérationnelle. L'approche de problématisation des solutions est peu commune en recherche opérationnelle, et certains auteurs la mettent dans la catégorie de méthodes « molles » (*soft OR*, Oral et Kettani, 1993), et sont souvent perçues comme moins « prestigieuses » que les méthodes classiques de résolution du problème. Néanmoins, la composante de modélisation et d'analyse que ces approches de problématisation de la solution renferment n'est pas négligeable. De plus, avec l'introduction de méthodes plus poussées sur le plan combinatoire et le besoin de la part des chercheurs opérationnels de données d'entrée pour tester leurs algorithmes sur une base réaliste, des collaborations entre les deux principales visions de la discipline ont débuté récemment (Cattaruzza *et al.*, 2015) afin de faire converger les approches purement calculatoires avec la vision de problématisation des solutions.

### **3.3. Méthode intégrée de modélisation demande-offre pour les déplacements du consommateur final**

#### **3.3.1. Motivation**

Comme nous l'avons vu auparavant, les modèles de demande de déplacements pour approvisionner le consommateur final sont peu nombreux. La plupart restent restreints aux déplacements d'achat motorisés. La modélisation de la demande de déplacements d'achat est principalement assimilée au transport de personnes et peu de travaux sont traités avec une vision de TMV. En effet, les modèles qui incluent les flux de déplacements d'achat sont principalement liés aux déplacements domicile-travail (Masson, 2000) mais certains travaux proposent des modèles spécifiques aux déplacements d'achats. De plus, les modèles d'offre restent des modèles d'optimisation peu liés à l'estimation de la demande. En outre, la substitution des déplacements d'achat par d'autres formes de distribution reste aujourd'hui un sujet très peu étudié.

Dans ce contexte, les travaux présentés ici vont dans la direction de proposer un modèle intégré qui permette à la fois d'estimer les déplacements (motorisés ou non) d'achat des ménages sur une situation initiale puis de simuler la substitution d'une partie de ces déplacements par de

nouvelles formes de commerce et distribution, ainsi que simuler les schémas logistiques de ces nouveaux services de livraison soit à domicile soit à proximité du domicile ou d'un autre lieu de vie ou de travail.

### 3.3.2. Principes et déroulé méthodologique

Le modèle proposé ici est un modèle intégré d'offre et de demande, *i.e.* qu'il permet d'estimer les deux dans le même modèle, pour étudier les impacts de la substitution de certaines pratiques commerciales ou d'achats et les déplacements qui en découlent sur l'occupation de la voirie.

Le modèle proposé est organisé comme suit (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012c) :

1. Estimation des déplacements inter-établissements (en utilisant un modèle existant, Gonzalez-Feliu, 2012c,d).
2. Génération des déplacements d'achat (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2010b, 2012a,c, 2016a).
3. Distribution des déplacements d'achat (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2010a).
4. Estimation des distances parcourues (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012c, 2014f).
5. Substitution des déplacements d'achat par de nouvelles formes de distribution (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012d).
6. Substitution des déplacements inter-établissement (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012d).
7. Estimation des taux d'occupation de la voirie (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013f, 2014b).

Contrairement aux modèles de demande inter-établissements, l'objet de la modélisation que nous avons choisi est la chaîne de déplacements. Cela vient du fait qu'un déplacement d'achat n'est jamais indépendant mais lié au moins à un autre déplacement : un déplacement réalisé pour se rendre à un lieu d'achat résulte ensuite (après l'achat) en un déplacement pour se rendre soit au lieu de domicile, soit au travail, soit dans un autre lieu (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2010b). Dans d'autres cas, ce déplacement se situe dans un ensemble plus complexe de déplacements (par exemple un départ du domicile, plusieurs déplacements d'achat ou pour réaliser des démarches, puis retour au domicile). Les principales chaînes de déplacement dont le motif principal est un achat sont les boucles domicile-achat-domicile (62% des déplacements d'achat, Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012a), les chaînes de déplacement domicile-plusieurs achats (et/ou démarches)-domicile (20% des déplacements d'achat environ, Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012a) et les chaînes travail-achat-(éventuellement une autre activité comme accompagnement)-domicile (12% des déplacements d'achat<sup>11</sup>). Ces chaînes n'obéissent pas aux mêmes logiques mais ont toutes un point en commun : le retour depuis le lieu d'achat est le domicile. Il semble donc possible de pouvoir construire un modèle qui relie le lieu d'achat au domicile puis qui construise la chaîne de déplacements d'achat correspondante.

### Génération des déplacements d'achat

---

<sup>11</sup> Données extraites de l'enquête ménage déplacement de Lyon 2006 pour compléter les travaux présentés dans Gonzalez-Feliu *et al.* (2012a).

La première étape à réaliser dans la construction d'un modèle de génération de chaînes de déplacements d'achat est celle la définition des hypothèses du modèle. La première hypothèse est celle du type de déplacements pris en compte. Nous avons déjà motivé l'utilisation des chaînes de déplacement d'achat au lieu des simples déplacements qui les composent. Ensuite, il est important de définir les modes de transport considérés dans notre modélisation. Les travaux préliminaires qui précèdent l'ensemble des recherches présentées ici génèrent l'ensemble des déplacements d'achat pour ensuite n'en garder que ceux réalisés en voiture particulière (Ségalou, 1999a ; Ségalou *et al.*, 2002, 2004). Une première modélisation (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2010b, 2012a,c) se concentre sur les déplacements motorisés (exclusivement en voiture particulière). Néanmoins, si nous souhaitons étudier l'impact de l'urbanisme commercial sur le report modal (comme exploré dans Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012b,c), il est important de tenir compte des autres modes. Le transport en commun, ainsi que les vélos, sont difficiles à inclure dans le modèle avec les données disponibles actuelles. Pour ces raisons, seuls deux modes sont considérés : les déplacements en voiture particulière et les déplacements à pied (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2016a).

En ce qui concerne les relations fonctionnelles, nous faisons l'hypothèse de linéarité. En d'autres termes, nous supposons que la fonction qui relie le nombre de chaîne de déplacements d'achat aux autres variables prenne la forme d'une fonction linéaire. Le but de cette modélisation revient donc à identifier les variables qui feront partie de cette relation.

De plus, ce modèle peut être décliné par catégorie d'espace urbain. Cela dérive de l'hypothèse que les variables qui influencent le taux de déplacements d'achat en voiture ou à pieds ne sont pas les mêmes ni le font dans la même mesure dans les différents zones de la ville. Trois catégories d'espace urbain sont considérées (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2010b, 2012a,c) :

- *zone urbaine principale*, qui contient la ville ou les villes principales de l'agglomération ;
- *périphérie proche*, qui correspond aux communes limitrophes de la zone centrale qui ont en général un tissu urbain moins dense ;
- *périphérie lointaine*, qui comprend le reste des zones de l'aire urbaine, principalement de type péri-urbain ou rural.

Cette catégorisation de l'espace urbain part d'observations sur les données de l'enquête ménage déplacements de Lyon et Dijon (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2010b, 2012c) et se détache volontairement de l'idée de couronne (même si dans les deux cas, la périphérie proche correspond à la première couronne périphérique des aires urbaines et la périphérie lointaine au reste de la périphérie). Cela est dû au fait que, bien qu'une majorité d'aires urbaines suivent une structure de développement axiale autour d'un centre et donc peuvent être modélisés par une logique de couronnes concentriques, nous observons des cas qui présentent soit une asymétrie qui ne permet pas de définir des couronnes complètes, soit une structure pluri-centrique dont chaque centre a ses zones d'influence et sa périphérie, avec des zones mixtes difficiles à caractériser par une logique de couronnes. Par contre, dans une logique d'espaces urbains non liés à une notion d'axialité ou de contiguïté, comme ce qui est défini ici, tous ses cas peuvent être représentés.

Après avoir défini les hypothèses de travail, nous présentons le modèle générique de génération des chaînes de déplacement d'achat, qui prend la forme suivante :

$$CAch_i^e = CAch_i^{e-VP} + CAch_i^{e-MAP} \quad (1)$$

Où  $CAch_i^e$  représente le nombre total de chaînes de déplacements d'achats à destination de la zone  $i$  (cette zone étant dans la catégorie  $e$  d'espace urbain), et  $CAch_i^{e-VP}$  et  $CAch_i^{e-MAP}$  le nombre de ces déplacements réalisés respectivement en voiture particulière (VP) et en marche à pied (MAP). Pour chaque mode  $h$ , le nombre de chaînes de déplacements d'achat (variable expliquée) est lié aux différentes variables explicatives comme suit :

$$CAch_i^{e-h} = \sum_k a^{ek-h} \cdot Men_i^{ek} + \sum_l b^{el-h} \cdot Comm_i^{el} \quad (2)$$

Où les ensembles des variables  $Men_i^{ek}$  et  $Comm_i^{el}$  représentent les variables caractéristiques des ménages (démographiques) et du tissu commercial (socio-économiques) respectivement. Les coefficients  $a^{ek-h}$  et  $b^{el-h}$  caractérisent la fonction linéaire et donnent la contribution de chaque variable à la génération des chaînes de déplacements d'achat.

Le modèle global prend donc la forme suivante :

$$CAch_i^e = \sum_k a^{ek-VP} \cdot Men_i^{ek} + \sum_l b^{el-VP} \cdot Comm_i^{el} + \sum_k a^{ek-MAP} \cdot Men_i^{ek} + \sum_l b^{el-MAP} \cdot Comm_i^{el} \quad (3)$$

Afin de définir le modèle exact ainsi que les paramètres de la fonction linéaire, nous réalisons une analyse de régression multilinéaire sur les données de l'enquête ménage Lyon 2006, en utilisant l'outil d'analyse statistique de Microsoft Excel. Plusieurs combinaisons de variables ont été testées, en commençant par un modèle avec toutes les variables possibles, puis, itérativement, la variable la moins significative est retirée du modèle, et un nouveau modèle avec une variable de moins est testé. Si ce modèle est significatif ainsi que toutes ses variables, il est retenu ; sinon, nous continuons jusqu'à qu'un modèle significatif soit obtenu.

Nous estimons ainsi, pour chacune des deux parties du modèle (déplacements VP et MAP), le modèle qui donne les meilleurs résultats en termes d'approximation (estimée par le coefficient  $R^2$  et confirmé par un F-Test). Nous présentons sur le Tableau 12 les résultats des régressions pour les configurations retenues comme meilleurs pour notre modèle. Nous présentons le  $R^2$ , la valeur de F et sa valeur critique.

**Tableau 12.** Résultats de calibrage du modèle de déplacements d'achat

Catégorie	Chaînes de déplacement VP			Chaînes de déplacement MAP		
	R <sup>2</sup>	F	Valeur critique de F	R <sup>2</sup>	F	Valeur critique de F
Zone urbaine principale	0,77	27,30	7,47E-08	0,84	47,87	4,92E-09
Périphérie proche	0,75	20,90	5,41E-06	0,68	52,93	9,22E-07
Périphérie lointaine	0,84	58,02	1,74E-08	0,49	21,28	2,48E-04

Nous observons des  $R^2$  supérieures à 0,65 pour toutes les catégories sauf pour les chaînes de déplacement en MAP en périphérie lointaine. Néanmoins, les valeurs de la régression pour cette catégorie restent dans des valeurs telles que nous pouvons considérer le modèle valide statistiquement (aux vues des considérations faites par Ortuzar and Willumsen, 2001).

### Distribution des déplacements d'achat : modèle gravitaire

Après avoir généré les chaînes de déplacement d'achat, un modèle de distribution a été développé pour relier ces chaînes aux ménages (*i.e.* pour mettre en relation le lieu d'achat principal de la chaîne et le ménage, *i.e.* la destination finale et donc le lieu de consommation des biens achetés). Etant donné 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. Ce modèle permet de déterminer une aire de chalandise en nombre de déplacements d'achat entre deux zones, étant donné les caractéristiques du tissu commercial de la zone de l'achat principal de la chaîne, 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 chaînes de déplacement d'achat  $CACh_{ij}$  ménages d'une zone  $i$  qui vont aller se déplacer pour faire des achats dans une zone  $j$ .

Nous proposons un modèle gravitaire en étendant le modèle de distribution proposée par Ségalou (1999b) à un modèle d'aire de chalandise. En effet, au lieu de relier une origine et une destination d'un déplacement, nous associons à chaque chaîne de déplacement un lieu de domicile. Bien que proches, ces deux modélisations présentent une différence fondamentale : dans la distribution d'un nombre de déplacements nous connaissons le nombre total de déplacements à l'origine et celui à la destination ; dans le cas présent, nous connaissons le nombre de chaînes associées à chaque destination d'achat (comme motif principal) et le nombre total de ménages, mais nous ne connaissons pas le nombre de chaînes de déplacement au départ d'une zone donnée (cette variable n'est pas générée dans la phase de génération). Le modèle général d'aire de chalandise se présente donc sous la forme suivante :

$$CACh_{ij} = CACh_{ij}^{e^{-VP}} + CACh_{ij}^{e^{-MAP}} \quad (4)$$

Chacun des éléments de la partie droite de l'équation peut s'écrire comme suit :

$$CACh_{ij}^h = A_j^h \cdot \prod_k Men_i^k a^{k-h} \cdot \prod_l Comm_i^l b^{l-h} \prod_m Comm_j^m c^{m-h} \cdot dist_{ij}^d \cdot CACh_j^h \quad (5)$$

Où  $CACh_j^h$  est le nombre de chaînes de déplacements d'achats générées par la zone  $j$  (et estimées à l'aide du modèle de génération présenté ci-dessus). Les variables  $Men_i^k$  se réfèrent aux caractéristiques démographiques de la zone d'origine des ménages,  $Comm_i^l$  et  $Comm_j^m$  aux caractéristiques socio-économiques respectivement de la zone d'origine des ménages et de celle du lieu d'achat principal, et  $dist_{ij}^d$  la distance entre ces deux zones. De plus,  $A_j^h$  est définie ainsi pour assurer que la somme de tous les déplacements affectés à chaque couple  $ij$  à destination est bien égale à  $CACh_j^h$  (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2010a) :

$$A_j^h = \frac{1}{\sum_k A_j^h \cdot \prod_k Men_i^k a^{k-h} \cdot \prod_l Comm_i^l b^{l-h} \cdot dist_{ij}^d} \quad (6)$$

Chaque  $a^{k-h}$ ,  $b^{l-h}$ ,  $c^{m-h}$  ainsi que  $d^h$  sont des coefficients dont leur détermination fait l'objet principale de la modélisation. Le modèle s'appelle gravitaire car cette relation rappelle la loi de

la gravité (Ortuzar et Willumsen, 2001). Afin de définir ces paramètres, nous devons linéariser l'équation 5, *i.e.*, l'exprimer comme une relation linéaire à l'aide de logarithmes (comme dans Gonzalez-Feliu *et al.*, 2010a). Nous procédons de manière analogue à l'obtention des modèles de génération.

**Tableau 13.** Résultats de calibrage du modèle de déplacements d'achat

Modèle	R <sup>2</sup>	F	Valeur critique de F
Chaînes de déplacement VP	0,95	6619,56	5,57.10 <sup>-26</sup>
Chaînes de déplacement MAP	0,83	4889,78	1,27.10 <sup>-23</sup>

Nous observons que dans les deux cas l'approximation est robuste. Néanmoins, l'estimation pour la marche à pied est moins bonne que pour les chaînes en VP.

### **Procédures de substitution des déplacements d'achat et le dernier kilomètre inter-établissements par de nouvelles formes de distribution au consommateur final**

La substitution d'un déplacement d'achat traditionnel par l'une de ces formes de distribution a un double impact sur les schémas de livraison au commerce (notamment lorsque la préparation de commande ne se fait plus dans un commerce de l'aire urbaine) et sur les déplacements d'achat.

La principale question qui se pose lorsqu'on souhaite modéliser ces mécanismes de substitution est donc celle des données disponibles. Bien que plusieurs bases de données sur le e-commerce soient disponibles (principalement des études réalisées par les CCI et la Fevad), elles sont d'un accès très difficile. De plus, n'étant pas conçues dans un but de modélisation, ces études résultent sur des jeux de données qui présentent une quantité et qualité d'information, ainsi qu'un niveau d'agrégation insuffisants pour pouvoir les utiliser dans une modélisation pour estimer les impacts d'une substitution des flux de déplacements d'achat traditionnels par de nouvelles formes de distribution au consommateur final. Néanmoins, et pour préparer le terrain à un moment où ces données seront accessibles, nous proposons un ensemble de procédures de substitution qui a besoin en entrée des pourcentages de ménages qui vont changer leurs habitudes en choisissant chaque nouveau schéma d'approvisionnement final (drive, LAR ou LPR). Dans ce contexte, le modèle peut être construit et, en manque de données sur les taux de substitution, des hypothèses peuvent être élaborées. Au moment où ces pourcentages seront connus, les hypothèses peuvent être revues et le modèle appliqué sur des cas réels. De la même façon, des scénarios futurs pourront donc être simulés avec ces procédures s'ils ont été traduits en hypothèses d'entrée du modèle.

Avant de définir les modèles proposés, il est important de préciser les principales définitions et hypothèses derrière cette modélisation. Prenons une aire géographique  $Z$  (principalement une aire urbaine), divisée en  $n$  sections ou zones. Chaque zone  $i$  est caractérisée par le nombre de boucles de déplacement d'achat dont le domicile est localisé dans cette zone, ainsi que le nombre de déplacements où est localisé le lieu du motif principal de la chaîne de déplacements (nous noterons respectivement ces nombres de déplacements  $T_i^{CAch-E}$  et  $T_i^{CAch-A}$ ). La même chose peut être réalisé avec les déplacements inter-établissements pour livrer les commerces,

*i.e.* le dernier kilomètre des chaînes de distribution (notés respectivement  $T_i^{DepIE-E}$  et  $T_i^{DepIE-A}$ ). Nous connaissons aussi, pour chaque catégorie de déplacements, les correspondantes matrices OD, notées respectivement  $[T_{ij}^{CAch}]$  et  $[T_{ij}^{DepIE}]$ .

Pour chaque canal de distribution  $ch$ , le taux d'utilisation commercial  $CS_i^{ch}$  est défini comme le pourcentage de chaînes de déplacement d'achats dont l'achat principal a lieu dans la zone  $i$  qui utilisent le canal de distribution  $ch$ . Rappelons que nous définissons quatre canaux possibles : les achats en magasin traditionnels, le drive, la LAD et la LPR. Nous faisons aussi l'hypothèse que les évolutions des comportements de déplacement d'achat ne seront pas les mêmes dans chacune des trois catégories d'espace urbain considérées (*i.e.* la zone urbaine principale, la périphérie proche et la périphérie lointaine, Gonzalez-Feliu *et al.*, 2010b). Rappelons aussi que deux modes pour les déplacements d'achat sont considérés ici : les déplacements en voiture particulière (qui associera aux variables l'indice VP) et la marche à pied (dont son indice associé est MAP). Connaissant le nombre total de chaînes de déplacement d'achat dont le motif principal est la zone  $i$ , nous calculons le pourcentage de chaînes de déplacements d'achat dont le motif principal a lieu dans la zone  $i$  pour chaque mode (respectivement  $P_i^{VP}$  et  $P_i^{MAP}$ ) comme suit :

$$P_i^{VP} = \frac{CAch_i^{VP}}{CAch_i} \quad (7)$$

$$\text{et } P_i^{MAP} = \frac{CAch_i^{MAP}}{CAch_i} \Leftrightarrow P_i^{MAP} = 1 - P_i^{VP} \quad (8)$$

A partir de ces définitions, nous pouvons décliner chacun de ces pourcentages par canal de distribution  $ch$ . Ces pourcentages, notés respectivement  $P_i^{VP-ch}$  et  $P_i^{MAP-ch}$ , sont définis par l'utilisateur en fonction des hypothèses et des scénarios qu'il se propose de simuler. Néanmoins, avec des données réelles collectées spécifiquement à ce propos, ils pourraient être définis par défaut pour une situation initiale.

A partir de ces pourcentages, nous pouvons définir le nombre de déplacements dont le lieu de préparation de la commande est situé dans la zone  $i$ , et correspondant à chaque canal  $ch$  et pour chacun des deux modes  $m$  (respectivement VP et MAP), noté  $T_i^{ch-m}$  et définie comme suit :

$$T_i^{ch-m} = P_i^{VP-ch} \cdot T_i \quad (9)$$

Enfin, nous estimons le total des déplacements qui vont être substitués par chaque canal  $ch$  comme suit :

$$T_i^{ch} = T_i^{ch-VP} + T_i^{ch-MAP} \quad (10)$$

Après le calcul des différents  $T_i^{ch}$ , nous pouvons procéder à la substitution des chaînes de déplacement par les nouvelles formes de distribution. Pour cela, deux procédures sont développées. La première vise à substituer les flux amont (le dernier kilomètre pour les chaînes d'approvisionnement des commerces de détail). La deuxième concerne la substitution des chaînes de déplacement d'achat proprement dites par des déplacements réalisés pour les nouveaux canaux de distribution.



Lors de l'utilisation de l'un des trois nouveaux canaux de distribution, le dernier kilomètre de la chaîne d'approvisionnement est modifié. Bien que, dans une vision globale, cet impact puisse se répercuter à l'ensemble de la chaîne logistique (Ayadi, 2014), ici nous allons restreindre la substitution aux seuls flux urbains, comme dans Gonzalez-Feliu *et al.* (2012e). Afin de réaliser cette substitution, deux principales approches peuvent être réalisées : une substitution au nombre de livraisons (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014d; Morana *et al.*, 2014) ou une substitution à la quantité de marchandises, en utilisant des algorithmes d'optimisation des tournées principalement (Cattaruzza *et al.*, 2015). Ici, nous appliquons les conclusions de nos travaux sur les deux approches pour offrir une méthodologie qui commence par estimer une quantité de marchandises à livrer à un commerce ou à une plate-forme logistique, puis des tournées sont construites, non à l'aide d'algorithmes de recherche opérationnelle, mais de procédures empiriques. Néanmoins, de cette façon, la construction des tournées peut en tout moment être substituée par d'autres procédures.

Afin d'estimer la quantité de marchandises qui est distribuée par ces canaux, nous avons besoin de calculer le poids total que la quantité totale des marchandises achetées à la zone  $i$  à être substitué par canal  $ch$ . Une première approche pour estimer ces poids a été réalisée dans Routhier *et al.* (2009) et Henriot et Routhier (2010). Dans cette approche, un poids total est affecté à chaque commerce de détail, en fonction de sa catégorie d'activité et du nombre d'employés. Ces correspondances ont été agrégées et synthétisées comme suit (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012d à partir des résultats d'Henriot et Routhier, 2010) :

**Tableau 14.** Quantité hebdomadaire moyenne de marchandises reçues par commerce et employé, en fonction de la catégorie d'activité, en kg (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012d)

Catégorie d'établissement	Poids moyen hebdomadaire par employé (kg)
Hypermarché ou assimilé	1560
Grande surface spécialisée	466
Supermarché	580
Supérettes associées, franchisées ou intégrées	535
Vêtements, chaussures, cuir	152
Boucherie, charcuterie	395
Epicerie, supérettes indépendantes	553
Boulangerie, pâtisserie	554
Cafés, hôtels, restaurants	64
Pharmacies	101
Quincailleries	161
Meubles	192
Librairies, papeteries	479
Autres	115
Non sédentaires	451

Nous pouvons ensuite réaliser une moyenne par grande catégorie d'activités (commerce de détail ou grande distribution) en étendant aussi ces poids aux marchandises transportées par les ménages lors de leurs déplacements d'achat (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012d) :

**Tableau 15.** Quantité journalier moyenne de marchandises en amont et en aval des commerces, en deux grandes catégories (en kg)

Catégorie de commerces	Poids journalier par employé	Poids par déplacement d'achat
Commerce de détail	35	5,8
Grande distribution	200	11,9

Au niveau des flux amont (*i.e.* le dernier kilomètre avant le lieu de préparation des commandes), les nouveaux canaux de distribution ont les impacts suivants sur les chaînes d'approvisionnement actuelles :

- **drive:** La substitution des achats traditionnels par le drive a un impact différent s'il s'agit d'un drive avec préparation en magasin (*i.e.* utilisant les produits qui sont au rayon du supermarché ou de l'hypermarché) ou sur site dédié (principalement un dépôt de proximité, avec sa chaîne d'approvisionnement spécifique) ;
- **livraisons à domicile :** le volume livré à domicile est en général préparé sur site dédié. Il doit donc être soustrait au volume livré au commerce concerné ;
- **livraisons en point relais:** La livraison en point relais implique, tout comme la livraison en domicile, d'une substitution de la quantité de marchandise livrée par ce canal en amont par une diminution du volume livré au commerce. Mais, comme pour le drive, les livraisons en point relais peuvent être préparées soit en magasin soit sur site dédiés.

Dans tous les cas, une fois nous avons estimé la quantité de marchandises à substituer, nous pouvons calculer les nouveaux volumes distribués au magasin, pour ensuite définir le nombre total de tournées ainsi que leur composition. Cela se fait à partir d'un tableau qui définit les principales catégories de tournées urbaines (le détail en est présenté dans Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012d).

Ensuite, nous estimons le nombre de chaînes de déplacements d'achat à substituer. La procédure de substitution des flux aval transforme les chaînes de déplacement à substituer par des chaînes de déplacements (B2B ou B2C) correspondant aux nouvelles formes de distribution. Chaque canal a ses propres logiques de substitution.

**Drive:** Seuls les supermarchés, les hypermarchés et la grande surface spécialisée sont concernés par les schémas de type drive. A partir des pratiques d'achat actuelles (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2010b, 2012a), nous pouvons estimer les distances parcourues pour supermarché ou hypermarché shopping en voiture privée. La chaîne de déplacement à substituer est remplacé par une chaîne de type Travail-Achat-Domicile (qui est la chaîne prédominante pour les achats en drive). Nous substituerons donc une ou plusieurs chaînes de déplacement par un détour dans un parcours Travail-Domicile pour retirer les marchandises. Ce détour est représenté par une distance moyenne  $d_u^{drive}$  estimée pour chaque catégorie d'espace urbain  $u$ . Il s'agit d'une distance moyenne calculée de façon très agrégée mais l'approximation demeure suffisante compte tenu du manque de données pour réaliser ces substitutions. L'idée est donc de donner un ordre de grandeur des impacts du drive pour des scénarios de situations futures. La distance totale parcourue (en voiture) par les ménages habitant dans la zone  $i$  appartenant à la catégorie

d'espace urbain  $u$  et allant chercher leurs courses dans un drive à la zone  $j$  est notée et calculée comme suit :

$$D_{ij}^{drive} = T_{ij}^{drive} \cdot d_u^{drive}$$

**Livraison à domicile:** La livraison à domicile est réalisée par des tournées de type B2C (Durand *et al.*, 2010). Les caractéristiques de ces tournées semblent néanmoins liées à la stratégie de préparation de commandes (Durand et Gonzalez-Feliu, 2012). La préparation des commandes peut avoir une portée locale (ce qui est le cas de la préparation de commande en magasin ou en dépôt de proximité) ou à portée régionale (ce qui est souvent le cas de la préparation de commandes en entrepôt central). Le premier cas correspond à la stratégie de Système U (préparation en magasin) ou Auchan (préparation en dépôt de proximité) et la deuxième à Carrefour (entrepôts Ooshop qui couvrent plusieurs agglomérations). Nous présentons ci-dessous les principales caractéristiques de ces tournées :

**Tableau 16.** Principales caractéristiques des tournées de livraison à domicile en départ d'un lieu de préparation des commandes à portée locale (Source: Durand et Gonzalez-Feliu, 2012, adapté d'Alligier, 2007)

	Zone urbaine principale	Périphérie proche	Périphérie lointaine	Moyenne
Composition – habitations pavillonnaires	5%	25%	60%	30%
Composition – habitations collectives	95%	75%	40%	70%
Nombre de points livrés $n_i^{LAD}$	8	12	11	10.3
Tournée – distance moyenne $d_i^{LAD}$	17 km	35 km	80 km	45 km

**Tableau 17.** Principales caractéristiques des tournées de livraison à domicile en départ d'un lieu de préparation des commandes à portée régionale (Source: Durand et Gonzalez-Feliu, 2012, adapté de Durand et Vlad, 2012)

	Toute catégorie d'espace urbain
Composition – habitations pavillonnaires	30%
Composition – habitations collectives	70%
Nombre de points livrés $n_i^{LAD}$	40
Tournée – distance moyenne $d_i^{LAD}$	200 km

Afin de procéder à la substitution des déplacements d'achat traditionnels par les tournées de livraison à domicile équivalentes, il est essentiel de transformer ces déplacements en un nombre de commandes pour la livraison à domicile (en d'autres termes, le nombre total de points de livraison pour les services de livraison à domicile). A partir des pratiques actuelles de livraison à domicile (Alligier, 2007; Durand, 2009 ; Durand et Vlad, 2011), des ratios de conversion peuvent être définis (comme dans Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012d). Nous supposons donc que 60% des déplacements sont substitués par un ordre, tandis que le reste sera substitué appliquant un

ratio 3/1, *i.e.* 3 voyages commerciaux seront substitué par 1 maison de bon de livraison (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012d) :

$$NO_{ij}^{LAD} = 0,6 \cdot NO_{ij}^{LAD} + 0,4 \cdot \frac{N_{ij}^{LAD}}{3}$$

Une fois que le nombre de commandes entre une zone  $i$  (lieu de préparation des commandes) et  $j$  (lieu de destination des ménages), a été déterminé, le nombre de tournées de livraison  $T_{ij}^{LAD-p}$  sont simulées comme suit:

$$T_{ij}^{LAD-p} = \left\lceil \frac{NO_{ij}^{LAD}}{n_{ij}^{LAD-p}} \right\rceil$$

où  $n_{ij}^{LAD-p}$  est le nombre de points d'un itinéraire de livraison à domicile dans un espace urbain de catégorie  $e$  et au départ d'un lieu de préparation de commandes de type  $p$ .

Les distances parcourues où  $D_{ij}^{LAD-p}$  pour les tournées de livraison à domicile sont alors estimées avec la formule suivante :

$$D_{ij}^{LAD-p} = T_{ij}^{LAD-p} \cdot (2 \cdot d_{ij} + N_{ij}^{LAD-p} \cdot d_e^{LAD-p})$$

où  $d_e^{LAD-p}$  est la distance entre deux points de livraison pour les tournées au départ d'un lieu de préparation des commandes de type  $p$  et à destination d'une zone urbaine de catégorie  $e$ .

**Tableau 18.** Caractéristiques des tournées considérées

	Lieu de préparation des commandes à portée locale			Lieu de préparation des commandes à portée régionale
	Zone urbaine principale	Périphérie proche	Périphérie lointaine	
Nombre de points livrés $n_i^{LAD}$	15	21	20	200
Tournée – distance moyenne entre deux points de livraison $d_e^{LAD}$	0,5 km	1,5 km	3 km	4 km

**Points relais :** L'usage de points relais pour retirer les commandes réalisées implique la substitution d'un déplacement (ou ensemble de déplacements) d'achat par deux types de flux qui ont un point de rupture de charge en commun : le point relais ou point de retrait de la marchandise. D'un côté, à partir du lieu de préparation des commandes, une tournée de livraison est organisée pour livrer les différents points relais. Là aussi, deux cas peuvent être identifiés : des tournées dédiées, et donc spécifiques à cette livraison, ou la mutualisation de ces flux dans les schémas traditionnels de livraison (dans l'hypothèse où les points relais seraient des magasins existants dont leurs schémas classiques d'approvisionnement pourraient accueillir ces livraisons sans un changement organisationnel significatif). Du moment où la modélisation des schémas mutualisés (dans une optique générale et transférable aux différents cas de figure) est présentée dans un autre chapitre, nous présentons ici seulement le premier cas.

Afin d'estimer les schémas de distribution aux points relais, et dans une logique de simulation de scénarios futurs possibles, nous avons fait le choix d'assimiler les points relais à des 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 peut être synthétisée comme suit : étant donné un réseau de points relais et ses dépôts associés et connaissant les flottes utilisées, des tournées sont composées de manière proche à celle des véhicules de la livraison à domicile, mais en tenant compte des avantages de la massification dans un système de livraison de ce type. Ensuite, le nombre de kilomètres de la distribution est réalisé. 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. La même procédure peut être appliquée dans le cas de plusieurs réseaux de livraison concurrents.

Tout d'abord, le nombre de tournées de livraison  $T_{ij}^{LAD-p}$  depuis les lieux de préparation des commandes situés dans la zone  $i$  et à destination des points relais de la zone  $j$  est estimé de manière analogue à celle de la LAD, donc selon la relation suivante :

$$T_{ij}^{PR} = \left\lceil \frac{NO_{ij}^{PR}}{n_{ij}^{PR}} \right\rceil$$

où  $n_{ij}^{PR}$  est le nombre de points d'une tournée de livraison en point relais dans un espace urbain de catégorie  $e$  et au départ d'un lieu de préparation de commandes de type  $p$

et  $NO_{ij}^{PR}$  le nombre de livraisons en point relais entre la zone  $i$  et la zone  $j$ , estimé de manière analogue à  $NO_{ij}^{LAD}$

L'estimation des tournées de livraison en point relais est réalisée à partir des résultats du tableau suivant, qui a été estimé à partir des enquêtes Marchandises en Ville en assimilant les points relais à des supérettes :

**Tableau 19.** Principales caractéristiques des livraisons en point relais dans chaque catégorie de zone urbaine

	Zone urbaine principale	Périphérie proche	Périphérie lointaine	Moyenne
Composition – habitations pavillonnaires	5%	25%	60%	30%
Composition – habitations collectives	95%	75%	40%	70%
Nombre de points livrés $n_i^{PR}$	16	20	20	18
Tournée – distance moyenne $d_i^{PR}$	60 km	75 km	115 km	90 km

### 3.3.3. Résultats

L'une des principales questions que se posent certaines communautés d'agglomération est celle de l'impact de la généralisation de certaines pratiques du e-commerce<sup>12</sup>. La généralisation de

<sup>12</sup> Propos tenus par des techniciens de la Mairie de Paris, l'agglomération grenobloise et le CEREMA lors d'entretiens individuels réalisés fin 2013

ce pratiques passe par une systématisation de l'épicerie en ligne, les courses alimentaires étant de loin les achats qui motivent le plus des déplacements, mais aussi les moins sensibles aujourd'hui à l'utilisation du e-commerce (Durand *et al.*, 2010). Afin de comparer les principaux systèmes de distribution de l'épicerie en ligne et d'estimer leur impact du point de vue de la logistique urbaine, nous avons commencé par simuler leurs schémas de distribution élémentaires, *i.e.* le drive, la livraison à domicile et le point relais urbain. Nous pouvons identifier en France 4 principaux modèles de services d'épicerie en ligne (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012e). Chacun de ces modèles, présentés brièvement ci-dessous, ont été l'objet de simulation d'un scénario, comme suit :

- S1-1: Le scénario « Expressmarché » est basé sur l'hypothèse que tous les ménages utilisant les services d'épicerie en ligne sont desservis par un magasin au sein de leur zone de localisation. Pour approvisionner ces ménages, ce scénario considère deux schémas différents: les supérettes et supermarché de proximité livreront des zones de chalandise plus petites et essentiellement urbaines, tandis que les hypermarchés et les supermarchés de périphérie livreront principalement les zones péri-urbaines avec des tournées plus longues que celles des zones urbaines. Dans les deux cas, deux types de services sont proposés: la collecte en magasin et la livraison à domicile. En ce qui concerne la collecte en magasin, le comportement des ménages est supposé être similaire à celle des déplacements d'achat traditionnels. En ce qui concerne les itinéraires de livraison à domicile, ils sont considérés comme similaires à ceux définis par Alligier (2007) à partir d'enquêtes spécifiques (véhicules avec un PTAC inférieur à 3,5 tonnes qui livrent 10 ménages en moyenne avec une distance moyenne parcourue d'environ 50 km). Dans ce scénario, tous les commerces de détail offrent ces deux types de service.
- S1-2: Le scénario « Auchan direct » suppose un service de livraison à domicile avec préparation des commandes en entrepôt dédié. Cela suppose l'utilisation d'un dépôt régional (environ 50 km du centre-ville), avec les changements que cette structure suppose sur la chaîne d'approvisionnement globale. La distance totale parcourue est en moyenne de 200 km par tournée. Ce scénario suppose que seules les enseignes de la grande distribution (hypermarchés) proposent ce service.
- S1-3: Le scénario « Ooshop » est similaire au scénario précédent (S1-2) mais la différence principale est celle de l'emplacement des entrepôts de préparation des commandes. Au lieu d'une plate-forme centrale pour l'ensemble de l'aire urbaine, ce scénario définit un ensemble de plates-formes locales situées dans les zones périphériques (à environ 20 km du centre-ville) à partir desquelles des véhicules de livraison à domicile livrent environ 25 ménages par tournée avec une distance d'environ 120 km (TL & Associés et LET, 2009).
- S1-4: Le scénario « Cdiscount » représente une généralisation du point relais alimentaires à l'ensemble de l'aire urbaine. Les marchandises sont transportées de la plate-forme de distribution correspondante à des points relais qui correspondent à des supérettes de proximité mais dont des tournées spécifiques de livraison doivent être simulées. Les véhicules utilisés pour ces livraisons sont des camions urbains d'un PTAC

d'environ 7 tonnes. Ensuite, les produits achetés sont collectés par les clients qui viennent les récupérer soit en voiture soit à pied.

De plus, deux scénarios combinés découlent de la combinaison de S1-1 S1-4 et peuvent être définie comme suit:

- S2-1 : Le premier scénario mixte est un scénario fil de l'eau. Dans ce scénario, les utilisateurs d'épicerie en ligne utilisent les quatre modèles, en suivant les tendances actuelles. Pour cela, et pour chaque zone de l'aire urbaine, chaque modèle sera déployé proportionnellement à la population de la zone, avec la répartition suivante : 10% Expressmarché, 30% Auchandirect, Ooshop 40%, et 20% de Cdiscount. De conséquence, Cdiscount est réparti dans toute la région, mais plus concentré dans les centres urbains, alors que Auchandirect et Ooshop servent toutes les zones. Expressmarché est plus développé dans la ville principale (hors hypercentre) et la périphérie proche (les environs proches de la ville principale).
- S2-2: Le deuxième scénario mixte prend en compte les meilleures pratiques pour chaque canal et tient compte des synergies entre les modèles et la localisation des établissements et des ménages. Cela est une situation hypothétique qui peut toutefois être considérée comme réaliste: les commerces de détail sont en concurrence, et aucune stratégie de collaboration entre eux n'est envisagée. Seule la collaboration interne pour optimiser les ressources de chaque entreprise est considérée. Les pourcentages de distribution sont fixés comme suit: 10% Expressmarché, 25% Auchandirect, Ooshop 25%, et 40% de Cdiscount. En outre, la répartition géographique de ces services est faite pour diminuer les distances parcourues par les tournées de livraison à domicile et par les déplacements d'achat pour récupérer les produits. Plus précisément, les modèles Expressmarché et Cdiscount sont plus développés dans la principale ville et ses environs proches (35-40% de la population totale), alors que les modèles Auchandirect et Ooshop servent les zones périphériques.

Pour simuler ces scénarios, nous utilisons la méthodologie intégrée de simulation proposée dans Gonzalez-Feliu *et al.* (2012c, 2014).

Le Tableau 20 présente les résultats des simulations des scénarios. La première colonne contient l'identifiant de chaque scénario. Ensuite, les taux d'occupation de la route sont estimés respectivement pour le dernier kilomètre des flux B2B, les flux de B2C et les déplacements d'achat motorisés. Enfin, le total des taux d'occupation de la voirie est présentés. Nous observons que le scénario de référence produit près de 8,3 millions de dans la zone urbaine de Lyon et que, en 2006, les flux de livraisons de l'épicerie en ligne sont considérées comme négligeables.

**Tableau 20.** Résultats des simulations en taux d'occupation de la voirie (en millions de km.EVP et en différence de pourcentage par rapport à la situation de référence, S0)

Scenario	Déplacements B2C	Déplacements B2C	Déplacements d'achat	Total
S0	0,39	0,00	3,94	4,33
S1-1	-9,0%	+6,7%	-9,8%	-3,7%
S1-2	-20,2%	+10,5%	-15,0%	-6,0%
S1-3	-16,8%	+7,1%	-15,0%	-8,5%
S1-4	-14,6%	+3,1%	-14,1%	-11,3%
S2-1	-12,3%	+6,5%	-13,4%	-7,2%
S2-2	-12,3%	+6,1%	-18,6%	-12,2%

Nous observons que le scénario S1-1 a un effet limité sur la réduction de l'occupation de la voirie (moins de 4%) en raison de leur emplacement et leur répartition géographique (il n'existe pas de structures de proximité suffisantes pour assurer un approvisionnement efficace des ménages).

Le scénario S1-2 montre l'avantage d'utiliser des plates-formes spécifiques, qui peuvent être justifiées dans les aires urbaines de taille moyenne (de 500 000 à 3 000 000 habitants). De plus, ce système implique une réduction conséquente des taux d'occupation de la route pour les déplacements d'achat (environ 15%) mais une augmentation des flux B2C car tous les ménages qui utilisent le service de livraison à domicile. Cela compense une partie de la réduction dans les déplacements d'achat. En outre, les flux B2B représentant moins de 10% que les flux de consommation finale, les gains importants de ces flux (environ 20%) restent faibles en comparaison aux flux B2C ou aux déplacements d'achat. Toutefois, les gains globaux en termes d'occupation de la voirie par rapport au scénario de référence atteignent 6% pour ce scénario, presque le double par rapport au scénario précédent.

Le scénario S1-3 a des impacts globaux très proches du scénario S1-2 (la différence entre ces deux scénarios est d'environ 2,5% en termes de gains en taux d'occupation de la voirie par rapport au scénario de référence), *i.e.* une réduction globale de 8,5% en termes d'occupation de la voirie. Nous observons de gains moindres dans les déplacements inter-établissements, du fait que les plates-formes utilisées sont existantes et profitent d'un schéma d'approvisionnement assez optimisé, donc les gains potentiels sont moindres que dans le cas où un nouveau schéma est créé. Néanmoins, la capillarité et la réduction des distances parcourues par les véhicules de livraison à domicile permettent une augmentation des taux d'occupation de la voirie par ces livraisons moins importante que dans le scénario S1-3, le tout résultant donc par un gain global légèrement supérieur pour ce scénario.

C'est cependant le scénario S1-4 le plus avantageux des quatre scénarios simples. En effet, il résulte d'une réduction des déplacements d'achat des ménages (B2B) d'environ 14% (soit environ 1% de moins que S1-2 et S1-3, donc très proche) avec une augmentation contenue des flux B2C (environ 3% seulement) et une réduction des flux B2B également proche de ceux obtenus dans S1-3 (environ 14%), ce qui se traduit en une réduction de près de 11,5% des taux d'occupation de la voirie tous flux confondus.

Si les quatre schémas sont combinés suivant des pratiques actuelles (S2-1), il en résulte une réduction totale d'environ 7%, ce qui est proche de S1-2 mais finalement moindre que celle de S1-3 et S1-4. Cela est dû au fait que les synergies entre les 4 modèles ne sont pas exploitées ici.



En effet, chaque modèle semble avoir son public cible, c'est pourquoi nous avons proposé un deuxième scénario mixte (S2-2) où chaque modèle est déployé dans les zones géographiques qui les favorisent (en termes d'impacts sur les taux d'occupation de la voirie). En combinant ainsi les quatre modèles, nous obtenons une réduction globale de plus de 12% des taux d'occupation de la voirie. Bien que toutes les alternatives fonctionnent dans toute la zone urbaine, les points relais de proximité privilégient les ménages et les livraisons de proximité (simulées séparément dans S1-1 et S1-4) dans la zone urbaine principale et dans un proche périphérie. En outre, les livraisons à domicile sont privilégiés dans les zones périphériques de la ville principale et dans tous les environs, en évitant d'entrer dans le centre-ville pour cette livraison à domicile véhicules, qui sont plus grandes que celles de proximité livraisons à domicile. Plus précisément, ce scénario conduit sur une réduction de près de 20% des déplacements d'achat avec une augmentation d'environ 6% des livraisons à domicile et de proximité (flux B2C) et un gain d'environ 12% des déplacements inter-établissements.

Cette simulation a été utile pour tester différents scénarios de déploiement de l'épicerie en ligne, et permet d'adresser les impacts de ces modèles logistiques, seuls ou combinés. Dans les choix des décideurs (publics ou privés) en termes d'épicerie en ligne et urbanisme commercial, une simulation de ce type peut aider la prise de décisions stratégiques en quantifiant les impacts et en donnant donc des ordres de grandeur pour guider les principaux choix à réaliser.

Une autre application des méthodologies proposées dans les chapitres précédents (6,7 et 8) est la simulation de scénarios à long terme. Le but de cette simulation est d'estimer les gains potentiels en émissions de gaz à effet de serre de ces scénarios et dans un deuxième temps d'analyser si le facteur 4 (*i.e.* la réduction de 75% des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050) est possible et, si oui, selon quelles conditions. Pour cela, une simulation progressive de scénarios est proposée. En d'autres termes, chaque scénario est une évolution du précédent, qui rajoute des éléments et pousse plus loin la volonté de réduction d'émissions de gaz à effet de serre par rapport au précédent. Les scénarios proposés sont les suivants :

- S0 : scénario tendanciel ("fil de l'eau"), extrapolant les tendances actuelles (1999 et 2006) à l'horizon 2050 ;
- S1 : scénario "recentrage de la population et densification des activités dans l'agglomération", qui combine une densification de la population dans les zones centrales de l'agglomération, et une évolution du tissu commercial qui accompagne cette densification, à partir de l'hypothèse suivante : les volumes fournis aux ménages par les hypermarchés, les supermarchés et les petits commerces de détail restent similaires (soit 40 % pour le petit commerce, et 30 % pour chaque type de surface commerciale de la grande distribution) ;
- S2 : scénario "gestion du transport dans l'organisation des échanges entre les établissements et généralisation des nouvelles formes de livraison à proximité". Nous posons l'hypothèse que la part du transport pour compte d'autrui passe de 45 % (aujourd'hui, en nombre de livraisons et enlèvements) à 75 % (en 2050). De plus, nous posons aussi comme hypothèse que la moitié des achats des ménages passe par le e-commerce et les livraisons à domicile.

- S3 : scénario mixte, basé sur une combinaison des scénarios S1 et S2. Ce scénario résulte de la combinaison des hypothèses du scénario S2 avec celles du scénario S3.

Les hypothèses et choix faits dans la définition de ces scénarios sont présentés dans Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012b) et ne seront pas détaillés ici. L'estimation de chacun de ces scénarios (y compris le scénario en 2006 et la situation au fil de l'eau) est réalisée avec la méthodologie proposée ci-dessus en vue d'estimer, pour chacun d'eux, le différentiel en termes d'occupation de la voirie et d'émissions de gaz à effet de serre. Dans le Tableau 21, nous avons reporté l'impact de chaque scénario relativement aux distances totales parcourues. Nous avons travaillé sur les kilomètres équivalent-voiture particulière (EVP), annuels (*cf.* données de l'année 2006). Le tableau indique, en pourcentages, les gains ou pertes par rapport à 2006.

**Tableau 21.** Impacts sur les trafics à l'horizon 2050 (en millions de km EVP annuels et en %) par rapport à 2006

<b>Km EVP</b>	<b>Déplacements inter-établissements</b>	<b>Déplacements pour l'approvisionnement des ménages</b>	<b>Total</b>
<b>2006</b>	<b>1 215</b>	<b>1 225</b>	<b>2 440</b>
<b>S0</b>	+7,0 %	+7,5 %	+7,3 %
<b>S1</b>	+10,2 %	-20,6 %	-5,3 %
<b>S2</b>	-11,4 %	-37,6 %	-24,6 %
<b>S3</b>	<b>-16,1 %</b>	<b>-54,7 %</b>	<b>-34,8 %</b>

La part respective des mouvements entre les établissements et les déplacements motorisés des ménages pour motif achat en nombres de km-EVP est quasiment identique. Dans le cas du fil de l'eau (S0), nous constatons que le nombre total annuel de kilomètres EVP parcourus diminue d'environ 7 % et concerne, de manière similaire, les flux inter-établissements et les déplacements pour achats des ménages. Dans le cas du scénario S1, nous observons une légère augmentation (d'environ 5 %) sur le total des km-EVP. Cela s'explique par le fait que les activités commerciales n'accompagnent pas la population, d'où une augmentation des distances compte tenu que l'offre commerciale dans les zones d'habitation n'est pas suffisante. Le scénario S2 montre que la combinaison de ces deux actions est plus efficace que le seul recentrage des populations et des activités commerciales, avec un gain global d'environ 25%. Le scénario S3 permet d'améliorer encore ces résultats, avec une diminution des distances parcourues (km-EVP) d'environ 35 %, soit une économie de 15% des km-EVP sur les mouvements inter-établissements et 55% sur les déplacements à destination du consommateur final.

**Tableau 22.** Emissions annuelles de gaz à effet de serre (en milliers de TCO<sub>2</sub>-éq), à Lyon en 2006 et facteur d'impact des différents scénarios à l'horizon 2050

<i>TCO<sub>2</sub>-éq</i>	<i>Sans changements technologiques</i>	<b>ST : Avec changements technologiques en 2050</b>		
	<b>Total</b>	<b>Déplacements inter-établissements</b>	<b>Déplacements pour l’approvisionnement des ménages</b>	<b>Total</b>
<b>2006</b>	<b>606</b>	<b>379</b>	<b>227</b>	<b>606</b>
<b>S0</b>	0,93	1,40	1,64	1,48
<b>S1</b>	1,06	1,36	2,06	1,56
<b>S2</b>	1,33	1,45	3,90	1,90
<b>S3</b>	391 <b>1,55</b>	192 <b>1,98</b>	58 <b>3,90</b>	250 <b>2,42</b>

Dans le Tableau 22 sont reportées les tendances relatives aux émissions de gaz à effet de serre, exprimées en tonnes annuelles d'équivalent-CO<sub>2</sub> (TCO<sub>2</sub>-éq). Un facteur d'impact par rapport à la situation 2006 est aussi calculé pour chaque scénario. Lorsque ce facteur est supérieur à 1, il y a diminution des émissions. Nous constatons l'importance des changements technologiques : avec un facteur d'impact de 1,48 dans le cas du fil de l'eau (S0), ils entraînent une réduction de 38 % des émissions de gaz à effet de serre par rapport à 2006. Ces changements sont plus importants pour les véhicules particuliers (-45%) que pour les mouvements entre les établissements (-34%). Les changements d'organisation à eux seuls, ont un facteur d'impact de 1,33, soit une réduction des émissions de gaz à effet de serre de 25% par rapport à 2006. Ces estimations permettent de comparer dans une aire urbaine, à l'horizon 2050, les impacts relatifs en termes de GES de deux scénarios complémentaires : des changements d'organisation plausibles, avec des changements technologiques non encore déployés.

*In fine*, le meilleur scénario (S3) résulte en un facteur d'impact de 2,42. Nous sommes loin du facteur 4. Seuls les déplacements vers les consommateurs finaux approchent ce dernier avec un facteur de 3,90. Ce sont les poids lourds qui sont les moins économes en CO<sub>2</sub>-éq, avec un facteur de 1,65, alors que les véhicules utilitaires légers présentant un facteur de 3,22, essentiellement expliqué par le choix technologique de la motorisation totalement électrique.

### 3.3.4. Apports

Les méthodes proposées ici sont une première contribution à la littérature en modélisation du transport de marchandises en ville en permettant d'estimer les impacts de différents types de scénarios commerciaux et urbanistiques sur les deux principales composantes des flux de transport urbain de marchandises. Bien que plus agrégées que les modèles de Russo et Comi (2010) et Nuzzolo et Comi (2012), les approches proposées sont de simple application et transférables d'une ville à une autre sans besoin d'une grande quantité de données (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012c). Les principaux apports de la modélisation intégrée des déplacements du consommateur final sont les suivants.

Tout d'abord la remise dans le débat des déplacements d'achat comme composante importante du TMV. Longuement laissés sur un deuxième plan, les travaux présentés, ainsi que ceux de Nuzzolo et Comi (2012) et Comi et Rosato (2014) ont permis de montrer les impacts de ces déplacements dans la planification de la logistique urbaine. Un outil de modélisation de ces flux, le logiciel STG-Sim (Gonzalez-Feliu et Peris Pla, 2014) a été développé et intéresse

plusieurs collectivités, principalement dans le développement de nouveaux quartiers commerciaux et dans l'identification des impacts du drive sur les déplacements des ménages.

Le deuxième apport est la méthodologie intégrée en soi comme moyen de simuler différents types de scénarios. Ces scénarios ont trois principales composantes (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012b ; Gonzalez-Feliu et Ambrosini, 2013) : localisation (des activités et des ménages), organisation (schémas logistiques) et technologies (principalement motorisation). La localisation et la taille des activités et des ménages a un impact direct sur la demande, l'organisation sur l'offre, et les technologies ont un impact indirect sur l'organisation (capacités des véhicules) et direct sur les impacts environnementaux (indicateurs, *cf.* partie 3). Un modèle intégré d'offre et de demande permet donc de tenir compte de ces trois aspects là où les modèles de seule demande ont des limites à estimer les variations d'offre et les modèles de seule offre nécessitent d'une estimation de la demande.

### 3.3.5. Limites

Ces approches ont une principale limite dans la construction des schémas logistiques des nouvelles formes de commerce et de distribution : le manque de données ne permet que d'estimer des schémas actuels et sur la base d'informations partielles. Ces méthodes restent donc empiriques et spécifiques aux schémas simulés, et nécessitent donc d'ultérieures recherches afin de produire des méthodes de simulation plus robustes et transférables.

Le modèle de simulation des déplacements d'achats présente aussi des limites dans la construction des chaînes de déplacement. Les différentes chaînes peuvent être caractérisées avec des modèles probabilistes ou des modèles catégorielles au lieu des procédures actuelles (fortement empiriques). De plus, les deux modélisations (déplacements inter-établissements et déplacements du consommateur final) restent générées sur des logiques et avec des unités différentes. Un premier travail se porte sur la génération de ces déplacements sur une même base (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2016a) et pourra être étendu pour réaliser un modèle qui génère les flux de logistique urbaine d'une manière intégrée et inter-opérable.

## 4. Conclusions et perspectives

Les travaux proposés en modélisation portent sur trois principaux sujets :

1. La proposition d'une première démarche abductive pour la modélisation de la demande de déplacements inter-établissements.
2. Une vision de problématisation de la solution pour la modélisation de l'offre de déplacements inter-établissements.
3. Une première modélisation intégrée offre-demande pour les déplacements du consommateur final qui tient aussi compte du dernier kilomètre des déplacements inter-établissements.

Ces modèles vont vers une logique de double intégration dans la modélisation de la logistique urbaine. La première est l'intégration des différents types de flux ; la deuxième l'intégration de modèles d'offre et de demande. Ce cadre de modélisation (qui inclurait les trois composantes de flux de la logistique urbaine, Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014d, ainsi que des modèles d'offre et de demande) a une première application dans les approches présentées dans Gonzalez-Feliu *et*

*al.*, (2012c, 2014a). Néanmoins, ces approches restent partielles et un modèle qui inclut une double modélisation (offre et demande) avec une intégration des trois catégories de flux (inter-établissements, du consommateur final et de gestion urbaine) n'est pas encore finalisé. Néanmoins les travaux présentés ici constituent un premier pas vers cette modélisation intégrée.

Les principaux apports de ces travaux à la modélisation intégrée sont d'un côté la proposition d'une première modélisation conjointe des flux (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012b,c,d) et de l'autre des premières approches où les modèles d'offre et de demande sont combinés (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012c, 2014a). Néanmoins, le cadre reste incomplet : les déplacements de gestion urbaine ne sont pas encore inclus et les relations entre les modèles restent à être améliorées dans certains cas. En effet, les modèles de demande nécessitent des approfondissements pour être mieux intégrés à la logique des modèles d'offre, et ces modèles d'offre pourraient être améliorés par de nouveaux algorithmes à la fois robustes et adaptés aux situations réalistes. Ces travaux font l'objet de développements en cours (Lopez *et al.*, 2016 ; Sanchez-Diaz *et al.*, 2016a) et devraient permettre une meilleure intégration de l'offre et la demande de transport urbain de marchandises. D'autre part, les modèles de demande et d'offre ne distinguent pas les types de marchandises. Or, la logistique alimentaire devient un sujet porteur et nécessite d'outils adaptés pour caractériser et évaluer les chaînes logistiques de produits alimentaires à destination des commerces ou les habitants urbains. Pour ces raisons, une thèse en cours<sup>13</sup> porte sur la modélisation intégrée de l'offre et la demande pour la logistique urbaine alimentaire (B2B) et une autre<sup>14</sup> sur les zones commerciales et leur impact sur les pratiques d'achat quotidien ou hebdomadaire (principalement alimentaire) des ménages.

Pour résumer, plusieurs pistes de recherche sont donc envisagées :

1. Proposition de modèles probabilistes de génération des déplacements inter-établissements.
2. Développement d'algorithmes avancés de recherche opérationnelle dans une logique de problématisation de la solution pour une modélisation intégrée offre-demande dans une logique de représentation de l'ensemble des flux logistiques urbains.
3. Application de ces modèles d'offre à la logique du consommateur final (simulation des chaînes de déplacements d'achat par des méthodes de la recherche opérationnelle, application d'algorithmes d'optimisation des tournées pour les schémas logistiques de la livraison à domicile et en point relais).
4. Modélisation de la logistique urbaine alimentaire.

---

<sup>13</sup> Laura Palacios, thèse démarrée en février 2016

<sup>14</sup> Sonagnon Houwatou, thèse démarrée en octobre 2015

## 5. Tableau récapitulatif

N°	Article	Apport principal	Limites
1	Cattaruzza, D., Absi, N., Feillet, D., Gonzalez-Feliu, J. (2016), Vehicle Routing Problems for City Logistics, <i>EURO Journal of Transportation and Logistics</i> , doi: 10.1007/s13676-014-0074-0.	Première application de la modélisation intégrant les 3 types de flux, typologie de flux détaillée et de modèles d'offre	Le travail de simulation est un exemple. La revue de littérature manque de de problématisation
2	Gonzalez-Feliu, J., Muñuzuri, J., Cedillo-Campos, M.G., Ambrosini, C., Taniguchi, E., Chiabaut, N. (2015), Contraintes de livraison et politiques d'accès au centre-ville : à la recherche du « véhicule optimal » urbain par une simulation de scénarios, <i>Logistique &amp; Management</i> , vol. 23, n°2, pp. 31-45.	Relations entre problème d'optimisation, algorithme et réalité	Le travail proposé est préliminaire et nécessite d'approfondissements (seul un type de transport est analysé)
3	Salanova Grau, J.M., Gonzalez-Feliu, J. (2015), Comparing fast VRP algorithms for collaborative urban freight transport systems: a solution probleming analysis, <i>The IUP Journal of Supply Chain Management</i> , vol. 12, n. 2, pp. 7-23.	Approche problématisation des solutions pour un schéma de logistique urbaine collaborative	Les approches proposées restent simples et pourraient être approfondies
4	Gonzalez-Feliu, J., Cedillo-Campos, M.G., Garcia-Alcaraz, J.L. (2014), An emission model as an alternative to O-D matrix in urban goods transport modelling, <i>Dyna. Journal of the Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellin</i> , vol. 81, n. 187, pp. 249-256.	Premier modèle abductif de demande de déplacements inter-établissement	La construction des tournées est à un stade préliminaire
5	Gonzalez-Feliu, J. (2013), Vehicle Routing in Multi-Echelon Distribution Systems with Cross-Docking: A Systematic Lexical-Metanarrative Analysis, <i>Computer and Information Science</i> , vol. 6, n. 3, pp. 28-47.	Extension de la problématisation des solutions pour l'optimisation des tournées de véhicules	Certains aspects restent théoriques (article de revue de la littérature)
6	Deflorio, F.P., Gonzalez-Feliu, J., Perboli, G., Tadei, R. (2012), The influence of time windows of urban freight distribution services costs in City Logistics applications, <i>European Journal of Transport and Infrastructure Research</i> , vol. 12, n. 3, pp. 256-274.	Première approche de problématisation des solutions appliquée à l'identification d'indicateurs de flexibilité et compatibilité des clients dans tournées avec fenêtres de temps	L'algorithme proposé est difficile à reproduire
7	Gonzalez-Feliu, J. (2012), Freight distribution systems with cross-docking: a multidisciplinary analysis, <i>Journal of the Transportation Research Forum</i> , vol. 51, n. 1, pp. 93-109.	Première approche de problématisation des solutions appliquée à l'analyse de systèmes de transport à deux niveaux	La relation entre analyses quantitatives et qualitatives sont faibles
8	Gonzalez-Feliu, J. (2012), Cost optimisation in freight distribution with cross-docking: N-echelon location routing problem, <i>Promet – Traffic &amp; Transportation</i> , vol. 24, n. 2, pp. 143-149.	Premier modèle conceptuel du transport de marchandises multi-niveaux	Le modèle proposé est très théorique et conceptuel

9	Gonzalez-Feliu, J., Ambrosini, C., Gardrat, M., Routhier, J.L. (2012), Comprendre les chaînes de déplacement pour l'approvisionnement des ménages, <i>Revue Française de Gestion Industrielle</i> , vol 31, n. 3, pp. 105-122.	Premier modèle de génération des chaînes de déplacements d'achat	Le modèle reste de seule génération
10	Gonzalez-Feliu, J., Ambrosini, C., Henriot, F., Routhier, J.L. (2012), La logistique urbaine à l'épreuve du facteur 4, <i>Recherche Transports Sécurité</i> , Vol. 28, pp. 88-100, doi: 10.1007/s13547-012-0031-y.	Utilisation du cadre de modélisation intégré proposé pour l'analyse de scénarios de réduction de CO2 à 2050	Le modèle est essentiellement de demande et l'offre n'est simulée qu'empiriquement
11	Gonzalez-Feliu, J., Ambrosini, C., Pluvinet, P., Toilier, F., Routhier, J.L. (2012), A simulation framework for evaluating the impacts of urban goods transport in terms of road occupancy, <i>Journal of Computational Science</i> , vol. 6, n. 4, pp. 206-215, doi: 10.1016/j.jocs.2012.04.003.	Proposition du cadre de modélisation intégré avec focus sur le modèle d'estimation des déplacements d'achat motorisés	Déplacements motorisés seulement.
12	Gonzalez-Feliu, J., Ambrosini, C., Routhier, J.L. (2012), New trends on urban goods movement: modelling and simulation of e-commerce distribution, <i>European Transport/Trasporti Europei</i> , vol. 50, Paper n. 6, pp. 1-23.	Proposition de procédures de substitution pour modéliser de nouveaux schémas de distribution du commerce électronique	Les procédures restent essentiellement empiriques
13	Gonzalez-Feliu, J., Salanova, J. (2012), Defining and evaluating collaborative urban freight distribution systems, <i>Procedia – Social and Behavioral Science</i> , vol. 39, pp. 172-183.	Premier algorithme pour la résolution d'un problème d'optimisation de tournées collaborative	La méthode a un degré d'approximation élevé
14	Gonzalez-Feliu, J. (2011), Two-echelon transportation optimisation: unifying concepts via a systematic review, <i>Working Papers on Operations Management</i> , vol. 2, n. 1, pp. 18-30.	Première revue de littérature systématique sur les problèmes d'optimisation de tournées à deux niveaux	La recherche est à un stade préliminaire
15	Gonzalez-Feliu, J., Toilier, F., Routhier, J.L. (2010), End consumer movement generation in French medium urban areas, <i>Procedia – Social and Behavioral Science</i> , vol. 2, n. 3, pp. 6189-6204.	Premier modèle de génération des déplacements d'achat qui tient compte de la catégorie d'espace urbain	Le modèle ne réalise que la génération





**Partie 3. Evaluation de la logistique urbaine durable : indicateurs, données de référence et simulation systématique de scénarios**

## 1. Introduction

Nous venons de voir que les modèles présentés dans la partie antérieure permettent d'estimer les flux de la logistique urbaine. Toutefois, l'étude et analyse de leur durabilité nécessite des méthodes d'évaluation et d'analyse. La littérature présente une multitude de méthodes d'évaluation qui résultent, dans la pratique, d'un manque d'unification et donc de comparabilité des solutions de logistique urbaine durable. De plus, pour la plupart des approches, les évaluations se font sur la base de critères comme la distance parcourue, le taux de chargement et les émissions directes (principalement le CO<sub>2</sub>), mais peu d'analyses économiques ou des impacts environnementaux ou sociaux indirects sont proposées.

Pour cela, une dernière partie des travaux proposés compte contribuer à la littérature dans ce sujet, et plus précisément dans trois axes complémentaires. Le premier est l'introduction des notions de dynamique et théorie des groupes (avec la recherche de consensus et la concordance du groupe pour objectif) afin de proposer un cadre unifié pour choisir les indicateurs à considérer dans un tableau de bord de la logistique urbaine durable. Le deuxième porte sur les méthodes d'évaluation en soi, et propose d'adapter, en interagissant avec les modèles de simulation et estimation des flux, deux méthodes peu utilisées pour le moment : l'analyse coûts-avantages et l'analyse du cycle de vie. Le troisième vient d'un constat : le manque d'approches spatiales dans l'analyse de la logistique urbaine durable, et propose un premier cadre pour définir des indicateurs d'accessibilité marchandises et réaliser des analyses des solutions de logistique urbaine avec un regard direct sur le territoire.

## 2. Etat de l'art et limites des démarches actuelles

L'évaluation de la durabilité est un sujet porteur dans différentes disciplines et est devenue une priorité tant en transport (Banister, 2008 ; Lopez-Ruiz et Crozet, 2010) qu'en logistique (Belin-Munier, 2010 ; Morana, 2013). En logistique urbaine, l'évaluation de la durabilité a suscité une grande quantité et variété de travaux, mais aucune de ces méthodes n'a pas encore réussi à s'imposer comme générique et transférable. En effet, même si certains auteurs prônent leur méthode comme étant génériques (Henriot *et al.*, 2008 ; Filippi *et al.*, 2010 ; Patier et Browne, 2010), elles restent peu utilisées en dehors des travaux des équipes les ayant proposées. De plus, par leur variété et hétérogénéité, les travaux en la matière font penser qu'il semble difficile de proposer une méthode générale applicable et transférable à tous les cas. Mais, sont ces travaux vraiment différents ? Est-il si difficile de trouver des points de convergence ? Et peut-on néanmoins définir des bases unifiées pour l'évaluation de la logistique urbaine durable ? Pour comprendre cela, il est important d'examiner plus en détail la littérature en la matière.

L'analyse de la littérature est difficile du fait qu'il n'existe pas à notre connaissance de synthèse de travaux traitant de l'identification d'indicateurs d'évaluation de la logistique urbaine durable. Bien que des dizaines de travaux de recherche proposent des méthodes et indicateurs pour l'évaluation, leur positionnement vis-à-vis de la littérature se fait soit par la méthode de simulation, où les revues de littérature sont plus nombreuses (Ambrosini *et al.*, 2008 ; Anand *et al.*, 2012 ; Comi *et al.*, 2012 ; Gonzalez-Feliu et Routhier, 2012 ; Taniguchi *et al.*, 2012 ; Cattaruzza *et al.*, 2015), soit en partant du principe non-existence de standard, en évitant ainsi l'analyse des travaux de la littérature (Behrends *et al.*, 2008 ; Henriot *et al.*, 2008 ; Patier et

Browne, 2010). Nous proposons ici une analyse de ces travaux qui ne vise pas à être exhaustive, mais qui essaiera d'identifier les principales pistes de réflexion sur l'évaluation de la logistique urbaine durable afin de faire sortir les principales visions et approches dans la méthodologie de cette évaluation. Compte tenu de la complexité et la diversité des travaux en la matière, nous nous intéresserons plus particulièrement à ceux proposant des évaluations et des analyses des résultats de simulation. Les travaux dont l'objet est de présenter des modèles sans une réelle analyse de résultats ou un objectif d'évaluation ne sont pas considérés ici.

L'évaluation de la logistique urbaine durable a été l'un des premiers sujets à être identifiés dans la thématique. En effet, les premières mentions à la logistique urbaine en tant que telle (*citylogistik* en allemand et *city logistics* en anglais) remontent à la deuxième moitié des années 90 (Ruske, 1994 ; Hesse, 1995 ; Domanski, 1996 ; Kholer, 1998), avec des objectifs de durabilité (néanmoins avec une prédominance forte pour l'efficacité énergétique et le respect de l'environnement) mais ce n'est qu'à la fin de cette décennie qu'a lieu la première conférence internationale sur le sujet : City Logistics (Taniguchi et Thompson, 1999). Ainsi, les tous premiers travaux sur l'évaluation de la logistique urbaine sont issus de cette conférence (Mizutani, 1999 ; Ooishi et Taniguchi, 1999 ; Takahashi et Hyodo, 1999 ; Visser *et al.*, 1999 ; Whiteing, 1999). Ils proposent principalement des méthodes de simulation et/ou une analyse de scénarios. Les indicateurs utilisés sont principalement d'ordre logistique (ou distance parcourue) ou environnemental (mais ceux derniers sont directement issus du premier groupe d'indicateurs), principalement des émissions de gaz à effet de serre. Ils se focalisent plus sur les aspects modélisations que sur les indicateurs d'évaluation ou sur l'analyse et discussion des résultats.

Taniguchi et van der Heijden (2000) proposent quant à eux une méthodologie pour évaluer les initiatives de logistique urbaine sur la base d'une simulation dynamique de trafic combinée à une optimisation de tournées faite par des algorithmes de recherche opérationnelle. Les auteurs proposent des indicateurs comme la distance totale parcourue, le coût des tournées ou les émissions de gaz à effet de serre. Cette méthode est testée sur un cas théorique et restreint (un réseau de petite taille en quadrillage) mais n'est pas appliquée sur des données réalistes. Cette méthode a été étendue dans Taniguchi *et al.* (2003) et Tamagawa *et al.* (2010) en se focalisant sur l'affinement des modèles mathématiques ; les indicateurs restent similaires à ceux proposés dans Taniguchi et van der Heijden (2000). D'autres travaux d'évaluation similaires peuvent être trouvés (Crainic *et al.*, 2004 ; Qureshi et Hanaoka, 2006) ; ils sont basés principalement sur la proposition et affinement de modèles plutôt que sur les impacts en eux-mêmes. De plus, Hosoya *et al.* (2003) proposent une méthodologie d'évaluation des politiques publiques de logistique urbaine qui se fonde sur les mêmes bases que l'évaluation des politiques publiques pour le transport urbain de personnes (Hensher et Button, 2000). En effet, ils appliquent un modèle à quatre étapes adapté (*cf.* deuxième partie de ce mémoire) pour estimer les flux de transport de marchandises aux commerces, à partir desquels des coûts monétaires (d'exploitation) du transport et des émissions de NO<sub>x</sub> sont estimés.

Par ailleurs, Ségalou *et al.* (2004) proposent une estimation des impacts environnementaux de la logistique urbaine, sous sa vision étendue (*i.e.* en incluant les déplacements inter-établissements, les déplacements pour l'approvisionnement des ménages et les flux de gestion

urbaine) de la logistique urbaine. Les auteurs réalisent une quantification des flux à partir de diverses sources de données (principalement enquêtes « Marchandises en Ville », enquêtes ménages déplacements et bases de données sur le BTP et la logistique des déchets). Les auteurs estiment, *via* un modèle d'émissions directes, les taux d'émission de gaz à effet de serre ainsi que plusieurs autres polluants (principalement NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO et hydrocarbures). D'autres évaluations sur la base d'enquêtes ou de mesures sont aussi proposés, mais sur des systèmes concrets, tels que la livraison du e-commerce (Esser et Kurte, 2006) ou les CDU (Morganti, 2011 ; Vaghi et Percoco, 2011 ; Tozzi *et al.*, 2014). Ces évaluations sont basées principalement sur des aspects environnementaux (émissions directes du transport).

Behrends *et al.* (2008) abordent la question de la durabilité du transport de marchandises en milieu urbain du point de vue des entreprises de transport. Un modèle inspiré par Sjöstedt (1996) est présenté, montrant de nombreux acteurs (expéditeurs, transporteurs, autorités publiques) et trois éléments majeurs (véhicules, marchandises, infrastructure) qui interagissent de manière à générer des flux de circulation et les opérations de transport. Enfin, un indicateur de durabilité est proposé sur la base d'une relation entre le niveau des émissions de CO<sub>2</sub> et le PIB (produit intérieur brut), l'intensité de transport (par exemple l'activité de transport par rapport au PIB), l'intensité de la circulation (niveau de trafic) et la capacité technique (rapport entre les émissions de CO<sub>2</sub> et l'intensité de la circulation). Le point de vue ci-dessus est repris par Lindholm (2010) pour illustrer le point de vue des autorités locales.

Les méthodes précédentes étaient essentiellement liées aux distances parcourues et donc à la performance opérationnelle de la logistique urbaine. Par ailleurs, ils ne prennent pas en compte les coûts d'investissement ni leurs amortissements. A ce propos, Van Duin *et al.* (2008) sont les premiers à présenter, à notre connaissance, dans un article scientifique, les analyses coûts avantages (ACA) comme méthode d'évaluation de la logistique urbaine. Les auteurs simulent *via* une optimisation des tournées plusieurs scénarios de développement de CDUs à moyen terme et évaluent leurs coûts monétaires avec l'ACA. Ensuite, et à notre connaissance, les travaux scientifiques n'ont pas recours à l'ACA pour évaluer la faisabilité des projets de logistique urbaine, mais sont restés aux coûts opérationnels principalement.

D'autres travaux s'intéressent à la définition d'indicateurs. Henriot *et al.* (2008) et Patier et Browne (2010) proposent une méthodologie pour évaluer les projets de logistique, en définissant un noyau dur d'une trentaine d'indicateurs, groupés en cinq catégories (économiques, environnementaux, sociétaux, ergonomiques et réglementaires), plus un ensemble encore plus important d'indicateurs secondaires. Néanmoins, les auteurs soulignent l'impossibilité de comparer des évaluations entre elles lorsque les indicateurs utilisés lors de ces évaluations ne sont pas les mêmes, mais la méthodologie permet de comparer les méthodes d'évaluation et leur robustesse. Melo et Costa (2011) définissent un ensemble d'environ 50 indicateurs, principalement économiques et liés au transport de marchandises.

Enfin, un ensemble de travaux qui tiennent compte de la nature multi-acteur et multicritères de la logistique urbaine (Multi-Actor Multi-Criteria Analysis, ou MAMCA) a été proposé. Macharis *et al.* (2010) définissent cette méthodologie et l'appliquent aux transports urbains, avec une première application à la logistique urbaine réalisée par Macharis *et al.* (2014). Ces

travaux permettent de définir des priorités sur les critères pris en compte et leur importance, ainsi que peuvent guider la recherche d'un consensus, mais la définition de ces critères et leur quantification (ou qualification) reste une donnée d'entrée pour ces méthodes.

De cette vision d'ensemble, nous pouvons conclure que les principales approches d'évaluation de la logistique urbaine durable donnent une importance primordiale aux aspects environnementaux mais seules les émissions directes sont considérées. De plus, les seuls aspects économiques (ou d'efficacité) sont liés aux distances parcourues et aux taux de chargement, avec peu d'approches économiques dans leur globalité.

Nous observons aussi qu'il n'existe pas actuellement de méthode normalisée ou unifiée pour l'évaluation des schémas et solutions de logistique urbaine durable. De plus, bien que ces évaluations permettent de comparer la solution envisagée à deux moments différents, les approches d'analyse avant-après ne sont pas systématiques (ce qui contribue à ce manque de standard). Enfin, la composante spatiale est souvent peu mise en avant dans ces évaluations et les indicateurs d'accessibilité et d'attractivité du territoire restent marginales (voire non utilisés).

Dans ce contexte, les travaux présentés ici se proposent de compléter la littérature existante sur trois principaux points : le premier est la proposition de méthodes pour la réalisation d'analyses économiques du déploiement de solutions de logistique urbaine durable ainsi que pour définir leurs conditions de faisabilité et de durabilité ; le deuxième est le développement de méthodes pour l'estimation des impacts environnementaux directs et indirectes ; le troisième vise à introduire les questions des relations entre transport de marchandises et développement territorial et est une première contribution à la définition d'indicateurs à la fois économiques et sociaux pour l'évaluation de la logistique urbaine : plus précisément, nous définissons deux principaux types d'indicateurs d'accessibilité propres au transport de marchandises et à la logistique urbaine.

### **3. Apports et limites**

#### **3.1. Contributions à l'évaluation économique de la logistique urbaine**

##### **3.1.1. Motivation**

Dans l'évaluation de la logistique urbaine durable, nous observons plusieurs méthodes de calcul d'indicateurs. Si nous regardons de près les indicateurs économiques nous observons qu'ils sont, pour la plupart, dérivés de la performance logistique (Morana, 2013) ou des transports (Melo et Costa, 2011). La plupart des indicateurs sont issus du calcul des distances parcourues, les temps de conduite ou de travail et les taux de chargement (Melo et Costa, 2011 ; Gonzalez-Feliu et Morana, 2014). Néanmoins, les évaluations sur une base de calcul économique sont rares en logistique urbaine. En effet, et au mieux de notre connaissance, Duin *et al.* (2008) sont les premiers à proposer une évaluation de la logistique urbaine sur la base d'approches de calcul économique. De plus, peu d'études et d'expérimentations montrent ouvertement la volonté de réaliser ce type d'analyses (Gérardin, 2007) malgré le besoin de ces solutions d'être économiquement viables. Pour cela, il nous semble important de réintroduire l'analyse économique dans l'évaluation de la logistique urbaine. La principale contribution à l'évaluation

économique a été la systématisation de l'analyse coûts avantages (principalement dans sa version socio-économique) à la logistique urbaine durable. Cela a été réalisé dans un premier temps pour les besoins du projet FREILOT (projet européen STEER 2009-2012) qui nécessitait d'appuyer l'étude du déploiement de nouvelles technologies d'aide aux opérations de conduite et livraison en ville par une analyse coûts avantages (ACA). Ce projet a permis de mettre en place une méthodologie standard mais adaptée aux besoins et enjeux de la logistique urbaine durable et a été valorisé dans plusieurs publications (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013a, 2014e), puis utilisé dans d'autres contextes, principalement le tramfret (Gonzalez-Feliu, 2014, 2016).

La méthodologie proposée ici ne vise pas à réaliser des évaluations économiques statiques mais à aider dans la simulation de scénarios à trouver les configurations les plus durables (ou économiquement viables) de la solution proposée. En d'autres termes, la méthodologie proposée va au-delà de la simple évaluation d'un projet de logistique urbaine, en utilisant l'ACA comme méthode de simulation de scénarios et d'ultérieure analyse afin d'identifier quand une solution de logistique urbaine est économiquement viable et quels sont les objectifs qui doivent être atteints pour que cela soit possible.

### 3.1.2. Principes et déroulé méthodologique

Comme nous venons de voir, l'évaluation économique de la logistique urbaine se limite souvent à l'identification d'indicateurs de performance logistique ou au calcul des distances parcourues. Néanmoins, une évaluation de la rentabilité d'un projet de logistique urbaine à moyen-long terme peut être intéressante, non pas forcément pour l'estimation de la rentabilité en soi mais pour réaliser des simulations de scénarios (avant-après) afin de trouver les paramètres et besoins qui pourraient rendre le projet rentable sur le point économique, ou tout simplement pour analyser les conditions de déploiement d'un projet de logistique urbaine.

Pour cela, nous proposons une méthodologie adaptée d'analyse coûts avantages pour simuler des scénarios de déploiement de solutions de logistique urbaine. Cette méthodologie permet d'estimer les gains (ou pertes) économiques potentiel(le)s de la mise en place d'un projet de logistique urbaine. Ces gains (et pertes) sont considérés dans une perspective large, *i.e.* avec une vision socio-économique qui considère non seulement les coûts et bénéfices potentiels directs mais aussi ceux indirects ou qui ne sont pas monétarisés actuellement mais pourraient l'être dans le futur. Néanmoins, l'approche proposée n'affecte pas de valeur monétaire qu'aux éléments qui produisent (ou pourraient produire) une valeur monétaire. En d'autres termes, et contrairement à d'autres approches d'évaluation économiques, nous ne donnons de valeur économique aux émissions environnementales ou au temps que si cette valeur résulte en un gain ou perte économique réel. Par exemple, un gain de temps pour une entreprise de transport peut se traduire en une diminution du temps de travail donc en un gain économique potentiel. De même, une diminution de la distance parcourue se traduit par une diminution de consommation de carburant (donc monétarisable aussi) et une réduction d'émissions polluantes ne pourrait être monétarisable que dans l'hypothèse de l'établissement d'une écotaxe obligatoire pour le transport de marchandises.

L'Analyse Coûts-Avantages Socio-économique (Socio-economic Cost Benefit Analysis, ou SCBA en anglais, Gonzalez-Feliu, 2014) proposé ici part de la base de l'analyse coûts avantages traditionnellement utilisée dans les projets d'infrastructures de transport (Hayashi et Morisugi,

2000 ; DG REGIO, 2008) en ajoutant les principes et hypothèses énoncés ci-dessus. Cette méthodologie consiste principalement à énumérer tous les coûts (directs et indirects) liés à la mise en place d'une solution de logistique urbaine, puis tous les bénéfices économiques (directs et indirects) liés au déploiement de cette même solution, dans un horizon donné (et fixé en principe à 10 ans, Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013a).

Pour chaque année depuis le début du projet de mise en place d'une solution de logistique urbaine (année 0), tous les coûts d'investissement et opérationnels sont estimés, et de même les bénéfices potentiels sont calculés. Les principales catégories de coût et de bénéfice mis en avant (Gonzalez-Feliu, 2013a) sont les suivants :

**Tableau 23.** Principales catégories de coûts et d'avantages en logistique urbaine  
(extrait et adapté de Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013a)

Macro-catégorie	Catégorie	Unité
Coûts d'investissement	Construction infrastructure linéaire – BTP	€/km linéaire
	Construction bâtiment logistique – BTP	€/m <sup>2</sup>
	Acquisition véhicules	€/véhicule
	Investissements autre matériel (capteurs, informatique, etc.)	€/unité
	Autres coûts d'investissement	€/unité
Coûts opérationnels	Personnel	€/h
	Utilisation du véhicule (essence, assurances, etc.)	€/km
	Utilisation structures (entrepôts, bureaux, etc.)	€/m <sup>2</sup> .mois
	Péages	€/mois
	Autres coûts opérationnels	€/unité.mois
Bénéfices directs	Recettes (liées à une politique de tarification)	€/service unitaire
	Subventions	€/unité de temps
Bénéfices indirects	Utilisation du véhicule	€/km
	Gains en temps (répercuté sur le personnel)	€/mois
	Diminution éventuelle écotaxe pour meilleure utilisation du véhicule	€/kg polluant
	Gains en santé (d'après Vaghi et Percoco, 2011)	€/kg polluant

A partir de ces coûts et bénéfices unitaires, les coûts et bénéfices globaux de chaque année de vie de la solution de logistique urbaine (de l'année 0 à l'année 10) peuvent être estimés. Bien entendu, nous supposons pour cela une demande de transport, une offre de transport et un niveau de service pour chaque année de vie de la solution. A partir de ces hypothèses, l'estimation des coûts et bénéfices de l'année considérée sont estimés. En d'autres termes, pour l'année  $i$  nous estimons le gain net  $NB_i$  comme suit :

$$NB_i = (B_i - C_i) / (1+a)^i$$

Où  $B_i$  et  $C_i$  sont respectivement les bénéfices et les coûts pour l'année  $i$ , et  $a$  le taux d'actualisation. Ensuite la valeur actuelle nette  $NPV_i$  pour l'année  $i$  peut être estimée selon la relation suivante :

$$NPV_t = NPV_{t-1} + NB_t$$

Enfin, nous pouvons estimer le taux de rendement interne, aussi appelé taux de retour sur investissement ou TRI (internal return rate, IRR, en anglais comme suit :

$$TRI = \frac{NPV_n}{\sum_{t=0}^n C_t}$$

Il est important de noter que le TRI est calculé avec seuls les coûts et bénéfices monétaires. Néanmoins, il est important dans certains cas de monétariser des coûts ou bénéfices indirects, qui ne résultent pas sur des revenus mais qui peuvent contribuer à des réductions de coûts ou à des gains qui ont une conséquence monétaire mais indirecte. Dans ce cas, nous pouvons définir un taux de rendements socio-économique (TSER) calculé de la même façon mais suite à une monétarisation de ces coûts directs et indirects :

$$TSER = \frac{NPV_n^{SE}}{\sum_{t=0}^n (C_t^{directs} + C_t^{indirects})_t}$$

D'après les préconisations du LET<sup>15</sup>, le TRI (ou T<sup>SE</sup>R) à atteindre pour un investisseur privé est habituellement de 15%, et celui des acteurs publics de 4%. Nous pouvons aussi estimer des taux globaux différents pour des PPP ou d'autres schémas de financement mixtes, en fonction de l'implication de chacun des acteurs (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014e).

Une fois les bases de l'ACA présentées, il est important de définir les hypothèses et visions sur la quantification des coûts et des bénéfices. En ce qui concerne les coûts, deux grandes catégories sont considérées (DG Regio, 2008) : les coûts d'investissement et les coûts opérationnels. Les coûts d'investissement, qui dans les projets d'infrastructures ou de réseaux de transport en commun ont lieu avant la construction du réseau ou de l'infrastructure, sont définis comme les coûts des dépenses nécessaires à mettre en place la solution de logistique urbaine durable. Ils sont calculés en général sur une base unitaire, mais dans la logistique urbaine nous pouvons trouver des investissements à différents moments de la vie du système (en général nous en trouvons tout au début, pour amorcer le système, puis après quelques années en vue d'une extension du service). En allant plus en détail, nous observons six sous-catégories de coûts d'investissement :

- coûts liés à la construction d'infrastructures, principalement liés aux frais d'étude et de projet, aux matériaux et au personnel nécessaire pour construire ou aménager ces infrastructures (qu'elles soient linéaires ou nodales) ;
- coûts d'acquisition des véhicules. Cela sera valable lorsque le système possède ses propres véhicules. Si, comme pour le CDU de Saint-Etienne, le choix de louer des

---

<sup>15</sup> Conclusions tirées d'échanges avec Bruno Faivre d'Arcier, professeur à l'Université Lyon 2, expert en évaluation économique et enseignant de méthodes d'analyse coûts avantages pour les systèmes de transport. Nous avons collaboré dans le cadre du projet FREILOT, principalement la tâche sur la réalisation d'analyses coûts avantages que je coordonnais.



véhicules est fait, ces loyers ne seront pas imputés aux investissements mais aux coûts opérationnels ;

- coût d'acquisition, d'installation, de mise à jour et de formation du personnel pour la mise en place de nouvelles technologies, que ce soit des appareils de mesure et de contrôle (capteurs, caméras), de systèmes d'aide à la conduite, de systèmes d'information ou du matériel et logiciel informatique ;
- coûts liés aux campagnes de communication, par exemple : frais d'édition et d'impression, frais pour l'organisation d'événements ou coûts liés aux interventions dans les médias, entre autres ;
- coûts liés à la mise en place des locaux, bureaux et autres structures, par exemple : aménagements intérieurs, achat de meubles ou installations électriques, entre autres ;
- autres coûts d'investissement, non imputables aux sous-catégories précédentes.

En ce qui concerne les coûts opérationnels, nous pouvons les définir comme les coûts nécessaires à la réalisation des opérations courantes du système. Ils sont en général calculés sur une base annuelle. Les principaux coûts opérationnels peuvent être classifiés en quatre principales catégories :

- coûts du personnel nécessaire à la réalisation du service de logistique urbaine durable. En général, ces coûts comprennent le personnel roulant (chauffeurs-livreurs), le personnel de quai (opérateurs en entrepôt ou plate-forme) et le personnel auxiliaire et administratif (personnel de bureau, de SAV, commerciaux et direction principalement) ;
- coûts de maintenance et de fonctionnement des infrastructures. Lorsque l'infrastructure est gérée par le gérant du service, des coûts liés aux réparations courantes (ou exceptionnelles) et à la maintenance (mais aussi au fonctionnement) des infrastructures doivent être considérés. Entrent dans cette catégorie le nettoyage des locaux, les factures d'électricité, eau et Internet, la maintenance des locaux (et aussi, selon les cas, celle des infrastructures linéaires), la maintenance informatique, les loyers et les assurances (hors véhicules) ;
- coûts de maintenance et de fonctionnement des véhicules. Compte tenu de l'importance du véhicule dans le transport de marchandises, nous proposons de séparer les coûts de fonctionnement du matériel roulant de celui des infrastructures et lieux fixes. Entrent dans cette catégorie la location des véhicules (dans les cas où les véhicules ne sont pas achetés mais loués), la maintenance des véhicules, les frais d'assurance des véhicules et les frais de carburant, entre autres ;
- autres coûts, ne rentrant pas dans les catégories précédentes.

En ce qui concerne les bénéfices, et d'un point de vue purement économique, nous pouvons considérer trois principales sous-catégories :

- bénéfices directement liés à la réalisation du service ou des services logistique annexes, obtenus par les recettes du service de livraisons ;
- rentrées de liquidité liées aux subventions et aides externes. Ne sont considérées ici que les aides non remboursables. Lorsque ces aides doivent être remboursées il faudra les

considérer comme de la liquidité disponible, les éventuels coûts de cette liquidité et les intérêts devront être inclus dans les coûts d'investissement ou opérationnels ;

- autres bénéfices économiques indirects, *i.e.* liés à d'autres activités qui ne sont pas le service de livraison, comme par exemple des revenus publicitaires ou la réalisation de services non logistiques (sous-location des locaux ou organisation de visites payées, entre autres).

Une fois les coûts et bénéfices monétaires considérés, l'ACA économique peut être réalisée. Pour effectuer l'ACA socio-économique, il sera nécessaire de considérer, en plus de ces coûts et bénéfices les impacts qui pourraient être monétarisés. Dans la littérature (pour d'autres applications) nous observons différentes approches de monétarisation, celle qui est prioritaire étant celle qui affecte des ratios qui donnent une valeur fictive aux différents impacts environnementaux et sociaux (Pronello, 2003). Ces approches nous semblent artificielles (tout comme celles des fonctions de coût généralisées déjà existantes en logistique urbaine, *cf.* Crainic *et al.*, 2012), parce que la valeur affectée à ces impacts n'est pas une véritable valeur monétaire qu'on peut gagner. Pour cela, la vision adoptée ici en est toute autre : la monétarisation se fait sur des valeurs qui peuvent ou pourraient être associés à ces impacts et qui résultent (ou résulteraient) en vrais gains (ou pertes) économiques. La principale contribution à l'ACA en soi est donc cette quantification monétaire des coûts et bénéfices indirects. Cette quantification résulte d'une vraie monétarisation de ces impacts (sous hypothèses, *i.e.* que cette quantification dépend fortement des choix et des hypothèses faits).

Les impacts non monétaires mais monétarisables peuvent être imputés à différentes causes. Néanmoins, dans le transport urbain de marchandises, ces impacts dépendent principalement de deux éléments :

- l'usage du véhicule (distance et temps parcourus, et donc vitesse mais aussi comportement de conduite) ;
- l'usage des infrastructures (comportement de stationnement, usage des entrepôts).

Les modèles et méthodologies présentés en partie 2 permettent d'estimer des comportements moyens d'usage du véhicule (estimation de distances et temps de parcours), et des mesures liées à de nouvelles technologies (GPS intégrés, Smartphones, capteurs automatiques) peuvent définir différents comportements de conduite et d'usage des infrastructures. A partir de ces informations, nous pouvons estimer différents impacts qui seraient monétarisables.

Le premier est l'usage du véhicule, qui aurait un impact quantifiable en maintenance et réparations du véhicule. Celui-ci peut être estimé par les distances parcourues et, si les données le permettent, par l'usure du véhicule lié aux accélérations/décélérations brusques. Néanmoins, ces impacts restent aujourd'hui difficiles à identifier finement et les estimations faites restent sur des valeurs très marginales et peu robustes (Pluvinet *et al.*, 2012b), mais dans un futur proche des estimations plus fines pourraient donner des valeurs solides et robustes.

L'autre facteur important est le temps gagné ou perdu. Ce temps est lié à la fois à la distance et à la vitesse du parcours et dépend à la fois du comportement du chauffeur mais aussi de la vitesse du trafic environnant (Lopez *et al.*, 2016). Le coût induit par ce temps de parcours est facile à quantifier pour une entreprise de transport car l'usage du véhicule dans le temps a un

impact sur le coût du personnel, mais aussi sur d'autres coûts indirects (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013d). Par contre, il est plus difficile d'identifier et de le relier aux ménages ou à la population globale. Bien que des méthodes associent un coût associé à la perte de temps, il s'agit une valeur « artificielle » qui n'est pas un vrai coût que l'utilisateur doit payer. Le seul coût directement monétarisable est le coût du carburant utilisé par ces véhicules (particuliers ou professionnels), qui est étroitement lié à l'usage du véhicule (distance parcourue, temps, vitesse, comportement de conduite).

Le troisième groupe de facteurs est celui des impacts environnementaux et de qualité de vie. Nous observons trois catégories d'impacts : le réchauffement climatique (émissions de gaz à effet de serre), la pollution de l'air (principalement émissions de NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, composants organiques volatiles et particules fines) et le bruit. Dans ce contexte, des méthodes de quantification sont aussi réalisées, mais elles se basent sur une valeur fictive de ces émissions, comme un ensemble de crédits qui, bien qu'ayant un sens au niveau mondial, est difficile à décliner au niveau local. De plus, cette valeur n'est pas une véritable rentrée ou gain d'argent. Par conséquent, d'autres méthodes de monétarisation doivent être trouvées. Pour les émissions de gaz à effet de serre (mais aussi de polluants), nous pouvons faire l'hypothèse de la mise en place d'une écotaxe obligatoire (fixée sur les valeurs du projet français qui a failli être adopté en 2014 mais qui n'a finalement pas abouti). Dans ce cas, tous les transporteurs (et/ou usagers) seraient obligés de s'acquitter de cette taxe. Une réduction de ces émissions amènerait donc un paiement inférieur de la taxe (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013a). Pour les émissions polluantes, Vaghi et Percoco (2011) proposent une méthode de quantification des coûts médicaux liés à la pollution. En effet, si nous pouvions lier la pollution imputable au transport de marchandises en ville à l'usage des structures médicales courantes (médecins traitants et urgences pour des maladies courantes comme rhumes et allergies) et mesurer leur évolution par rapport à la diminution de ces émissions polluantes, nous pourrions affecter un coût à l'unité d'émission polluante. Ces coûts ont été estimés pour le CDU de Padoue (Vaghi et Pastanella, 2006 ; Vaghi et Percoco, 2011) mais pourraient être généralisés pour les villes italiennes, françaises ou européennes, entre autres.

D'autres impacts monétarisables (comme ci-dessus) sont l'accidentalité, la création/destruction d'emploi ou l'attractivité du territoire et l'impact sur la consommation. Néanmoins, le calcul de ces impacts n'est pas traité ici mais pourrait l'être ultérieurement.

L'autre contribution à l'évaluation économique est celle de l'utilisation de l'ACA comme méthode de simulation de scénarios pour définir les conditions de faisabilité et rentabilité des solutions de logistique urbaine durable. La méthodologie proposée et utilisée ici peut se résumer comme suit :

1. Définition des scénarios et leurs hypothèses associées.
2. Simulation du déploiement du scénario considéré pendant 10 ans et calcul du TRI et TSER associés avec l'ACA proposé ci-dessus.
3. Analyse de sensibilité. Pour cela, nous faisons varier les différents paramètres de coût ou de bénéfice de 10% et nous refaisons l'ACA afin d'estimer les variations correspondantes sur le TRI et TSER. Nous pouvons ainsi identifier quels sont les paramètres les plus sensibles et donc ceux à prioriser pour rendre rentable la solution.

Si la solution n'est pas rentable, les différentes hypothèses et paramètres sont revus, principalement la demande captée par le système et son évolution, les revenus unitaires et éventuellement certains coûts. Pour cela, la réduction de coûts ou augmentation de bénéfices ciblée est estimée, afin de faciliter la recherche des paramètres qui permettent d'obtenir le TRI et TSER visés. L'ACA est redéployée itérativement jusqu'à obtenir une solution qui soit rentable économiquement.

Nous présentons par la suite les principaux résultats de l'application de cette méthode, afin de l'illustrer et d'identifier ses principales apports dans la pratique.

### 3.1.3. Résultats

Nous proposons une première application de cette méthodologie pour soutenir les choix dans le déploiement d'un ensemble d'aires de stationnement à réservation (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013a, 2014e).

Pour cela, nous avons défini un scénario de base pour le déploiement de ces systèmes. Ce scénario est progressif, *i.e.* que, d'une année à une autre, le système s'agrandit et le nombre d'utilisateurs augmente. Donc l'état du scénario à  $i+1$  est obtenu par évolution (ou progression) de du scénario à l'état  $i$ . Pour définir ce scénario, nous avons pris une ville hypothétique (même si elle a été construite sur la base d'une ville existante, les données ont été rendues anonymes pour représenter une ville réaliste qui puisse servir de base). Cette ville représente une ville monocentrique avec une aire urbaine organisée en couronnes. Elle est de taille moyenne (entre 1 et 2 millions d'habitants). Cette ville a été construite dans le cadre du projet MODUM (2011). Nous supposons un déploiement de systèmes de réservation d'aires de livraison dans la zone urbaine principale (la ville centrale et leur proche périphérie).

L'ACA est faite sur un horizon de 10 ans, ce qui est suffisamment long pour assurer un retour de l'investissement mais reste court pour ne pas avoir besoin d'un changement technologique solide ou de remplacement pendant la période de fonctionnement. Le taux d'actualisation est supposé être celui des projets portés par les acteurs publics français, à savoir 4% (Bonnafous et Faivre d'Arcier, 2013). De plus, nous définissons notre cible de TRI fixée à de 15% pour une entreprise privée et à 4% pour une entité publique (dans un premier temps nous sommes partis sur un projet porté par un acteur privé mais des évolutions vers un portage par un acteur public ou un partenariat public privé – ou PPP – sont ensuite envisagées). Enfin, nous supposons que les fonds nécessaires aux investissements et aux opérations sont disponibles, et cela pour chaque investisseur. Donc aucune hypothèse n'est faite sur des éventuels prêts avec des taux d'intérêt concernant les remboursements.

En ce qui concerne les coûts, nous supposons que les taxes et impôts sont celles et ceux du contexte français, de même pour les coûts unitaires de personnel, de maintenance et de construction (pour le détail de ces coûts, *cf.* Pluvinet *et al.*, 2012b). Une synthèse agrégée de ces coûts est présentée dans le Tableau 24 :

**Tableau 24.** Synthèse des coûts d'investissement et opérationnels du scénario considéré

Catégorie de coûts	Année 0	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Années 5 à 10
Coûts d'investissement	77 246 €	70 844 €	66 308 €	61 308 €	60 808 €	10 460 €
Coûts opérationnels	0 €	98 017 €	120 898 €	140 078 €	159 183 €	178 138 €
<b>Total</b>	77 246 €	168 861 €	187 206 €	201 386 €	219 991 €	188 598 €

En ce qui concerne les bénéfices, nous avons considéré trois principaux éléments : les gains en temps, les gains en consommation de carburant et les gains en émissions de gaz à effet de serre. A partir de l'évaluation d'une expérimentation puis une modélisation du déploiement du système envisagé, nous avons quantifié les gains monétaires unitaires comme suit :

En ce qui concerne les bénéfices, nous avons considéré trois principaux éléments : les gains en temps, les gains en consommation de carburant et les gains en émissions de gaz à effet de serre. A partir de l'évaluation d'une expérimentation puis d'une modélisation du déploiement du système envisagé, nous avons quantifié les gains monétaires unitaires comme suit :

**Tableau 25.** Synthèse des principaux avantages indirects quantifiables, par véhicule et année

Type de gain	Gain monétaire par véhicule
Temps	350 €/an
Carburant	85 €/an
Emissions de gaz à effet de serre	15 €/an
Gains totaux	450 €/an

Reste à fixer le tarif à appliquer au système. D'après les préconisations de Gonzalez-Feliu *et al.*, (2013a), nous l'avons fixé à un peu plus de la moitié de ce gain total, *i.e.* à 250 €. Ensuite, reste à définir la capacité et la demande du système. A partir d'une analyse de la capacité liée au déploiement d'un certain nombre d'aires de livraison déployées ainsi que de la demande captable, nous avons défini un nombre d'aires de livraison à déployer en 5 ans (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013a). Nous avons fixé cette demande à 2000 véhicules, et nous avons testé plusieurs capacités en appliquant l'ACA proposée auparavant. Nous avons obtenu les résultats suivants :

**Tableau 26.** Analyse de faisabilité pour fixer la capacité souhaitable dans le déploiement d'un système d'aires de livraison à réservation avec une demande fixe de 2000 véhicules (les détails sur l'évolution à l'intérieur du scénario sur 10 ans sont présentés dans Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013a)

Nombre de véhicules	Nombre d'aires de livraison	Capacité totale	Besoins en capacité	Capacité résiduelle	TRI
2000	200	5133	7000	-27%	10%
2000	250	6415	7000	-8%	15%
2000	275	7078	7000	1%	9%
2000	300	7700	7000	10%	9%
2000	350	8983	7000	28%	5%
2000	400	10266	7000	47%	1%

A partir de ces résultats, nous choisissons le nombre d'aires de livraison qui permette d'avoir un système non saturé mais en même temps d'avoir un TRI qui puisse permettre, par un changement des paramètres et hypothèses, d'atteindre la rentabilité économique recherchée. A ce propos, nous observons que pour 275 aires de livraison, la capacité résiduelle est très proche à 0 ; dans ces conditions, le système peut être considéré comme saturé. Pour une capacité

inférieure, le système est en sursaturation et tous les usagers potentiels ne pourront pas en bénéficier. Pour un nombre d'aires de livraison supérieur à 300, le système est en surcapacité et cela se ressent sur le TRI, qui diminue avec l'augmentation du nombre d'aires de livraison déployées. Pour cela, nous avons retenu un nombre de 300 aires de livraisons à être déployées progressivement en cinq ans.

A partir de cela, nous proposons une analyse de sensibilité du système. Pour le réaliser, nous prenons les principales catégories de coût (Tableau 27) et nous les faisons varier de 10% (par excès et par défaut). Nous observons que, compte tenu des coûts d'investissement sont inférieurs aux coûts opérationnels, ceux derniers vont conditionner la rentabilité du système, notamment la maintenance des infrastructures, principalement à cause de l'état initial d'industrialisation du matériel pour le contrôle et l'utilisation des aires de livraison à réservation (principalement les capteurs, le logiciel de réservation et l'adaptation du parc-mètre). Une variation de 10% de ces coûts résulte en une variation de TRI d'environ 4%, tandis que les autres coûts opérationnels, *i.e.* les coûts courants et le contrôle de police, résultent en une variation (pour chacun) de 2%. Les coûts d'investissement restent peu influents par rapport aux coûts opérationnels, car une variation de 10% dans leur estimation résulte en une variation du TRI d'environ 1,3%.

De cela nous pouvons conclure que, pour augmenter la rentabilité du système nous pouvons soit augmenter le prix des tarifs demandés aux transporteurs pour utiliser le système, soit (comme a été choisi à Bilbao) revoir le matériel qui compose les aires de livraison pour proposer une solution peut-être un peu plus chère à l'achat mais moins onéreuse à maintenir. Par contre, du moment où le succès du système repose en partie sur le travail de contrôle réalisé par la police (Pluvinet *et al.*, 2012b), ces coûts sont soit à renforcer soit à maintenir avec une réorganisation du système de contrôle pour le rendre encore plus efficient.

**Tableau 27.** Résultats de l'analyse de sensibilité

+10%	Coûts totaux	Bénéfices	B-C	TRI à 10 ans
<b>Situation initiale</b>	<b>1 986 273 €</b>	<b>2 102 820 €</b>	<b>116 547 €</b>	<b>5,87%</b>
Investissement	2 011 427 €	2 102 820 €	91 393 €	-1,33%
Contrôles de police	2 026 273 €	2 102 820 €	76 547 €	-2,09%
Coûts opérationnels sauf infrastructure	2 029 073 €	2 102 820 €	73 747 €	-2,24%
Maintenance infrastructure	2 061 416 €	2 102 820 €	41 404 €	-3,86%
-10%	Coûts totaux	Bénéfices	B-C	10 years IRR
<b>Situation initiale</b>	<b>1 986 273 €</b>	<b>2 102 820 €</b>	<b>116 547 €</b>	<b>5,87%</b>
Investissement	1 961 119 €	2 102 820 €	141 701 €	1,36%
Contrôles de police	1 946 273 €	2 102 820 €	156 547 €	2,17%
Coûts opérationnels sauf infrastructure	1 943 473 €	2 102 820 €	159 347 €	2,33%
Maintenance infrastructure	1 911 131 €	2 102 820 €	191 689 €	4,16%

Enfin, nous proposons la simulation de 5 scénarios de gouvernance (pilotage) possibles de ce système, dont les détails sont présentés dans Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014e). Pour cela, nous nous concentrons sur les acteurs qui vont porter (et donc financer) ce système, ainsi que sur la stratégie de récupération des fonds nécessaires à son déploiement et fonctionnement quotidien. Les 5 scénarios sont les suivants :

- S1: Le promoteur et gérant du système est un acteur public et, sur une vision d'utilité collective, le service est gratuit. Les coûts d'investissement et de gestion sont assumés par la collectivité (les fonds nécessaires seront considérés comme principalement issus des impôts). Par conséquent, aucun frais n'est assumé par les utilisateurs du service. Pour cette raison, seule l'ACA socio-économique est considérée pour l'évaluation de ce scénario.
- S2 : Le promoteur et gérant du système est un acteur public, mais l'utilisateur est supposé payer pour utiliser le service, dans une vision de remboursement par l'usager. Les coûts d'investissement et de gestion sont avancés par la collectivité mais doivent être remboursés avec les entrées du système. L'utilisateur paye donc un tarif pour utiliser le système, mais les objectifs de rentabilité sont ceux des acteurs publics (TRI visé : 4%).
- S3: Le promoteur et gérant du système est un acteur privé. Les coûts d'investissement et de gestion sont assumés par une société privée. De conséquent, le système ne bénéficie pas de financement public (même partiel) et le gérant doit atteindre des résultats en termes de TRI d'au moins 15%.
- S4: Le promoteur est un acteur public mais le gérant du système est un acteur privé, sur une hypothèse de délégation de service public. L'acteur privé assume les coûts d'investissement et de gestion mais reçoit une subvention publique initiale pour couvrir tous les coûts d'investissement des cinq premières années. L'acteur privé doit néanmoins rentabiliser ses investissements. Par conséquent, un TRI de 15% est ciblé.
- S5: Le promoteur est un acteur public, la gestion est faite par un acteur privé, et ils sont associés dans le cadre d'un partenariat public-privé (PPP). La collectivité couvre 60% des coûts (mais nécessite de justifier un TRI d'au moins 4% sur leur argent mis dans le PPP) et l'acteur privé les 40% restants (et doit assurer un TRI de 15% environ).

Nous avons simulé les 5 scénarios avec la méthodologie proposée, afin d'estimer le meilleur tarif à appliquer. Pour le scénario 1, seule une simulation est faite, afin de réaliser une évaluation socio-économique (donc d'estimer le TSER). Pour les scénarios 2 à 5, le tarif qui assure d'atteindre le TRI visé est calculé. Nous reportons dans le Tableau 28 les valeurs respectives du TRI pour chaque scénario, ainsi que le tarif qui permet d'atteindre ces valeurs :

**Tableau 28.** Résultats de la simulation des cinq scénarios

Scénario	Acteur	TRI	Prix annuel du service <sup>16</sup> (par véhicule)
S1	Public	-	0 €
S2	Public	4,6%	250 €
S3	Privé	16,2%	280 €
S4	Privé	14,3%	220 €
S5	Public	4,6%	260 €
	Privé	17,6%	

Nous observons que le scénario 1 ne peut pas être rentable (du fait qu'aucun revenu est collecté) est peu pertinent dans le contexte économique actuel. En effet, il serait intéressant pour l'utilisateur (car le service serait gratuit) mais nécessite de faire appel aux fonds publics pour couvrir la totalité des coûts. Néanmoins, et du moment où ce service pourrait être associé à la gestion des parkings, il serait tout à fait envisageable dans une configuration où ces coûts pourraient être couverts par d'autres recettes. Pour les autres scénarios, nous observons que la gestion privée est plus efficiente (la rentabilité est majeure pour S3, avec une différence de plus de 11% de TRI entre les deux scénarios) mais nécessite de proposer des tarifs plus importants que S2 (30€ annuels par véhicule). Le scénario S4 résulte en un meilleur tarif mais cela est dû au fait qu'il y a une subvention publique d'environ 20% du coût total. Néanmoins, ce tarif n'est que 30€ moins cher que S2. Le PPP (S5) résulte en un tarif 10€ plus cher que S2. Les tarifs restent similaires (220 à 280€ annuels par véhicule), et unitairement ils semblent proches, mais si nous considérons que certaines entreprises de transport peuvent avoir plusieurs véhicules (voir des dizaines), cette différence peut être importante. Toutefois, si nous considérons que les impacts indirects permettraient d'épargner 450€ annuels par camion, tous ces tarifs semblent intéressants. Resterait explorer la question de la gouvernance et de l'acceptabilité du système (Aifandopoulou *et al.*, 2012) pour définir le meilleur scénario à considérer.

### 3.1.4. Apports

Les principaux apports de l'analyse coûts avantage généralisée à la logistique urbaine ont été de raviver le débat de la place de la rentabilité économique dans le déploiement de solutions de logistique urbaine. De plus, il permet de projeter les solutions dans une logique de déploiement ainsi que de compléter les visions purement opérationnelles de l'évaluation économique (Faure, 2015, Faure *et al.*, 2015) en permettant d'estimer les conditions de rentabilité compte tenu de la facilité ou difficulté d'un système à évoluer. En d'autres termes, la méthodologie proposée ne réalise pas des analyses à un instant donné (statiques et déterministes) mais étudie les évolutions du système pour trouver les paramètres et champs d'actions qui permettent d'assurer la viabilité économique de ce système.

<sup>16</sup> Fees include a Value Added Tax (VAT) of 20%, which is a realistic value for European countries (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013).



Une autre contribution importante a été la proposition d'une méthodologie de quantification des impacts indirects, qui se base sur une récupération ou gain effectif d'argent, et non sur une valeur fictive en euros des émissions. Cela nécessite certes de réaliser des hypothèses parfois très volontaristes mais ces bénéfices potentiels sont plus faciles à comprendre et à assumer par les différents acteurs impliqués.

### **3.1.5. Limites et perspectives**

La méthodologie proposée présente néanmoins plusieurs faiblesses et limites. La première dérive du fait que l'ACA proposée (et de conséquence la monétarisation des impacts indirects) nécessite des hypothèses qui sont parfois fortes. Cela a un impact sur la vraisemblance des scénarios simulés, qui peuvent être parfois volontaristes ou utopiques, mais d'autre part les simulations restent cohérentes avec ces hypothèses. La formulation d'hypothèses non vérifiables ou peu réalistes a donc une conséquence sur le réalisme des résultats, d'où le besoin de proposer des scénarios les plus robustes et justifiées possibles. Pour cela, il est important de disposer de données pour appuyer ces hypothèses. Néanmoins, les données en logistique urbaine ne sont pas extensives et, pour simuler des scénarios futurs, il est souvent nécessaire de faire des hypothèses dont nous ne pouvons assurer la véracité (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012b, 2014e). Pour cela, des analyses de sensibilité des méthodes d'évaluation peuvent être réalisées (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013a) afin de donner le cadre et les conditions d'applicabilité des simulations de scénarios. Néanmoins, des données existantes de nature différente pourraient être utilisées pour donner un domaine de validité à ces simulations, mais sont difficiles à obtenir. Une mise à disposition de ces données et une standardisation ou unification des sources et bases de données permettrait d'améliorer les méthodes d'analyse (que ce soit sur le plan économique qu'environnemental). Le deuxième facteur est qu'il existe aujourd'hui peu de connexions entre cette méthodologie et les méthodes d'estimation de la demande et des tournées proposées en partie 2. En effet, les modèles d'offre et demande en logistique urbaine sont peu connectés à l'évaluation. Les modèles proposés en partie 2 permettent d'estimer les flux de la logistique urbaine et de simuler plusieurs scénarios mais les méthodes d'évaluation utilisent ces résultats sans une vraie interaction entre les modèles. Par exemple, l'analyse coûts avantages n'intègre pas l'estimation des tournées, et il est souvent difficile, à un niveau si stratégique, de faire tourner des algorithmes d'optimisation des tournées. L'intégration des logiques et méthodes d'évaluation dans la modélisation des flux de la logistique urbaine semble un pas essentiel dans l'évolution de la recherche en logistique urbaine afin de rendre plus pertinentes les méthodes d'évaluation économique. De plus, la prise en compte de la structure détaillée des coûts de la logistique urbaine, dans la continuité des travaux théoriques de Combes (2016), semble nécessaire pour tendre vers une catégorisation et une quantification des coûts-type de cette logistique et proposer une méthodologie unifiée d'évaluation économique par ACA de la logistique urbaine.

## **3.2. Contributions à l'évaluation environnementale de la logistique urbaine**

### **3.2.1. Motivation**

L'évaluation environnementale semble très populaire en logistique urbaine, si l'on en juge par les différents travaux sur ce sujet (Taniguchi et van der Heijden, 2000 ; Patier et Browne, 2010 ; van Duin *et al.*, 2010 ; Melo et Costa, 2011 ; Vaghi et Percoco, 2011 ; Roca-Riu *et al.*, 2012 ;

Tozzi *et al.*, 2014 entre autres). La plupart des méthodes quantifient les impacts environnementaux par l'estimation des impacts directs du transport, principalement en utilisant des tables de conversion qui utilisent des facteurs d'émission d'un véhicule moyen. Dans ce contexte, et avec l'importance croissante des nouveaux modes de transport (tripoteurs, tram fret, transport fluvial, etc.) et les véhicules routiers à motorisation électrique ou gaz, il semble important de tenir compte non seulement des impacts directs mais aussi ceux indirects du transport (comme signalé dans Le Féon, 2014 pour le transport urbain de personnes). De plus, ces impacts peuvent être estimés non seulement pour le transport mais aussi pour les autres composantes de la logistique urbaine. Pour cela, une approche alternative à l'estimation d'impacts directs du transport peut être l'analyse du cycle de vie (ACV).

La méthodologie d'ACV proposée ici résulte principalement des travaux réalisés dans le contexte du projet ANNONA<sup>17</sup> qui ont donné lieu à plusieurs publications et communications (Andriankaja *et al.*, 2015a,b,c). La principale contribution à l'ACV ne porte pas sur l'estimation des facteurs d'émission unitaires, mais sur la définition de l'unité fonctionnelle pour l'ACV, la définition des flux concernés et la simulation des tournées afin de construire cette unité au complet pour le calcul des impacts environnementaux. De plus, un travail d'échange avec les acteurs publics et privés pour le choix des indicateurs pertinents ainsi que la mise en place d'une base de données d'émissions unitaires par type de véhicule ont été réalisées (Andriankaja, 2016).

Cette méthodologie générale est présentée ici dans un premier temps de manière générale, en montrant les articulations possibles avec d'autres méthodes d'estimation d'émissions polluantes (par exemple celles utilisées dans Blanco *et al.*, 2012 ; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012b, 2013e). Ensuite, deux applications sont présentées : une sur le cas du CDU de Saint-Etienne pour l'évaluation ex-post (Andriankaja *et al.*, 2015b) et un sur une simulation de scénarios de logistique urbaine durable sur Lyon pour l'évaluation ex-ante (Andriankaja *et al.*, 2015a).

### 3.2.2. Principes et déroulé méthodologique

L'analyse du cycle de vie (ACV) est une méthode normalisée (ISO 14040-14044) qui tient compte à la fois des émissions directes et indirectes liées à la fabrication et distribution d'un produit ou à la réalisation d'un service sur les différentes étapes de son cycle de vie, de l'acquisition des matières premières à sa production, son utilisation et sa fin de vie. Une ACV s'organise en quatre phases (AFNOR, 2012) :

1. Définition des objectifs et du champ de l'étude. Dans cette phase, nous fixons le domaine d'application de l'ACV en fonction des objectifs fixés. Ce domaine comporte plusieurs éléments, notamment le système de produits et/ou de services à étudier, les fonctions du système de produits ou des systèmes, l'unité fonctionnelle, la frontière du système, les catégories d'impacts choisies et la méthode d'évaluation des impacts.
2. Inventaire du cycle de vie (ICV). Cette deuxième phase consiste à collecter les données nécessaires à la quantification des entrants et les sortants d'un système de produits et/ou

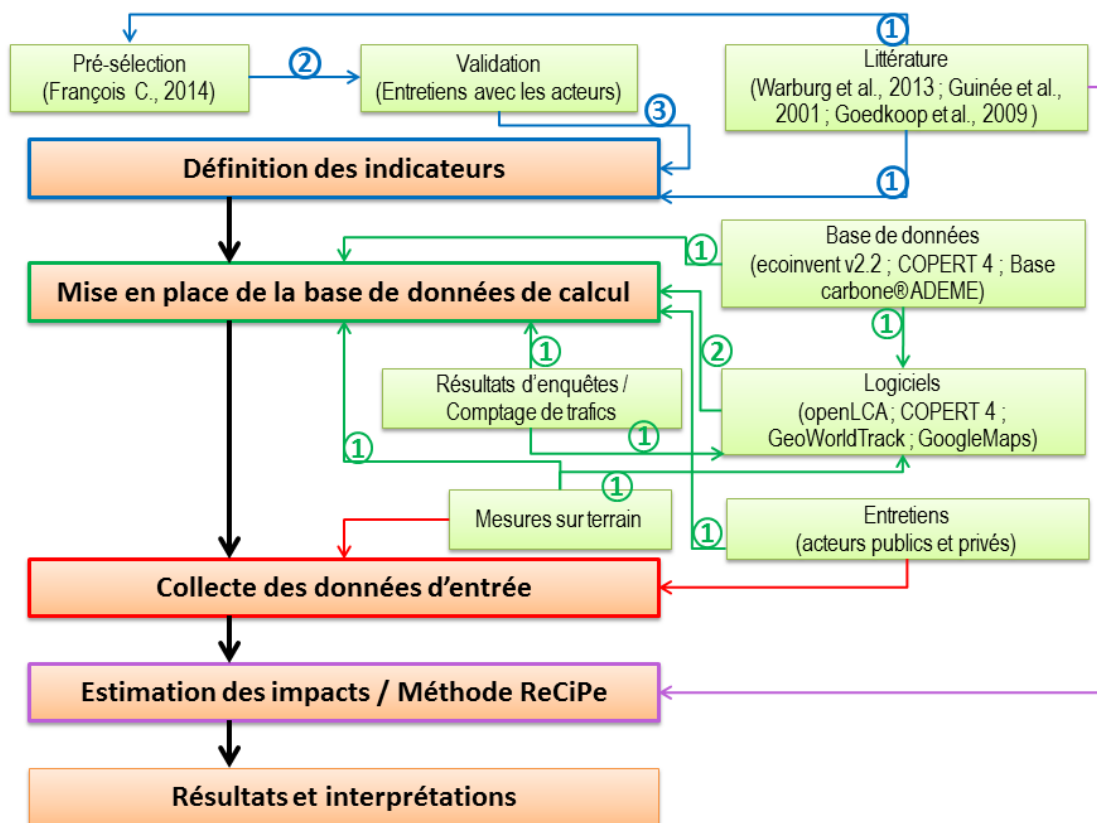
---

<sup>17</sup> Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du post-doc de Dina Andriankaja, co-encadrée avec Natacha Gondran.

de services. Ces données suivent ensuite une procédure de calcul afin d'être validées et mises en relation avec les différents éléments du domaine d'application de l'ACV.

3. Evaluation de l'impact du cycle de vie. Dans cette phase nous estimons et évaluons les impacts environnementaux potentiels en nous basant sur les données de l'ICV.
4. Interprétation. Cette dernière phase de l'ACV consiste à analyser et interpréter les résultats combinés de l'inventaire et de l'évaluation des impacts, en cohérence avec les objectifs et le champ de l'étude définis dans la première phase. Cette phase se termine avec les principales conclusions de l'étude, les pistes d'amélioration, les limites de l'étude et les préconisations, entre autres.

Dans le cas de la logistique urbaine, l'analyse du cycle de vie proposée ici est faite sur le service de transport de marchandises et non sur les produits transportés. Nous proposons donc une évaluation sur toutes les étapes du cycle de vie des véhicules, des infrastructures routières et des bâtiments logistiques, les trois principaux éléments nécessaires à proposer une offre de transport. Pour chaque élément, nous considérons la fabrication, l'utilisation et la maintenance et la fin de vie. Le schéma suivant représente le cheminement de notre méthodologie :



**Figure 6.** Représentation de la méthodologie (Andriankaja *et al.*, 2015b)

La première étape (définition des objectifs et du champ de l'étude) consiste, d'abord à définir le champ dans lequel se réalisera l'évaluation puis à choisir les indicateurs d'impacts environnementaux à prendre en compte. Ce domaine est défini en fonction des objectifs fixés.

Bien que la définition précise du champ soit faite pour chaque application, nous proposons une méthodologie générale pour évaluer la logistique urbaine. Nous sommes donc dans une évaluation du cycle de vie d'un service de transport de marchandises. Le Féon (2014) et François (2014) proposent des indicateurs de base pour évaluer un tel service, qui peuvent ensuite être affinés et complétés par un retour terrain, par exemple des entretiens semi-directifs (Andriankaja *et al.*, 2015b) auprès des différents acteurs impliqués dans ce schéma de logistique urbaine durable (Tableau 29) :

**Tableau 29.** Les indicateurs d'impacts environnementaux (adaptés d'Andriankaja *et al.*, 2015b)

Indicateurs d'impacts environnementaux choisis	Unité de référence
Potentiel de réchauffement climatique (GWP)	kg CO <sub>2</sub> eq
Formation d'oxydants photochimiques (POFP)	kg NMVOC eq
Particules fines (PMFP)	kg PM10 eq
Acidification terrestre (AP)	kg SO <sub>2</sub> eq
Epuisement des ressources fossiles (FDP)	kg oil eq
Epuisement des ressources minérales (MDP)	kg Fe eq
Occupation des sols (LOP)	m <sup>2</sup> *a
Energies non renouvelables, fossiles	MJ-Eq
Energies non renouvelables, nucléaires	MJ-Eq
Energies renouvelables	MJ-Eq

Un fois les indicateurs définis, il est important de définir l'unité fonctionnelle. Dans l'ACV (AFNOR, 2012), l'unité fonctionnelle permet de définir la quantification de la ou des fonctions identifiées et fournit également une référence à laquelle les flux entrants et les flux sortants sont liés. Comme toute unité, elle se doit d'être précise, mesurable et additive. D'une manière générale, l'unité fonctionnelle devrait contenir une composante fonctionnelle, un critère de performance, et une durée. Enfin, le flux de référence est la mesure des flux sortants des processus nécessaires pour remplir la fonction prévue par cette unité. L'unité fonctionnelle choisie dans les deux applications proposées est la livraison hebdomadaire d'un ensemble de colis représentatif du volume actuel de livraisons du CDU (valeur moyenne hebdomadaire calculée sur une année de fonctionnement).

La deuxième phase est celle de l'inventaire du cycle de vie. Pour le réaliser, il est important de définir les principales étapes qui constituent le service de transport de marchandises. Ici, trois principales étapes sont considérées : (1) la fabrication ou construction des infrastructures (linéaires et nodales) nécessaires à la réalisation du transport, ainsi que des véhicules et matériel de manutention nécessaires à la réalisation du service de transport ; (2) l'usage de ces infrastructures, véhicules et matériel de manutention ; (3) la fin de vie (ici, seul la fin de vie des véhicules est considérée, du moins dans un premier temps, pour avoir une première approche simplifiée). Les impacts de ces phases doivent être ramenés à l'unité fonctionnelle, tant en

quantité physique comme en unité temporelle (ici, ces valeurs seront appliquées au nombre total de véhicules.km hebdomadaires pour l'ensemble du service de livraisons).

Ensuite, il est nécessaire de construire la base de données de calcul des émissions et impacts environnementaux. Pour cela, nous pouvons exploiter les données collectées sur le terrain ainsi que consulter plusieurs bases de données ou logiciels, comme ceux décrits ci-dessous :

- La base Carbone® de l'ADEME est une base de données publique qui contient les facteurs d'émissions de gaz à effet de serre nécessaires à la réalisation d'exercices de comptabilité carbone de toute activité. Cette base, consultable en ligne gratuitement<sup>18</sup>, fonctionne sur le principe collaboratif de données ouvertes. Elle inclut, entre autres, les différents secteurs du transport routier de marchandises : messagerie classique et express, le grand volume (transport de produits volumineux et peu pondéreux), transport frigorifié, transport exceptionnel, porte-véhicules, porte-conteneurs, bennes, déménagements, etc. Bien que pour certains secteurs le cycle de vie peut être retrouvé, elle présente la limite de ne contenir que des émissions de gaz à effet serre en CO<sub>2</sub> équivalent.
- La base Ecoinvent est la référence scientifique internationale pour l'ACV (Frischknecht et Rebitzer, 2005). Elle contient des inventaires de cycle de vie pour un grand nombre de secteurs (y compris le transport) et tient compte d'une grande variété d'émissions polluantes et d'impacts environnementaux. Cette base de données sera privilégiée, notamment pour les phases de construction et de fin de vie des produits. Nous avons utilisé la version 2.2 correspondant à l'année 2010<sup>19</sup>. Malgré la richesse de cette base de données, certains éléments du transport urbain de marchandises (véhicules électriques et gaz, régimes de circulation urbains, etc.) ne sont pas encore considérés dans Ecoinvent, ce qui nous a amené à modéliser de nouveaux processus en manipulant les processus existants via le logiciel d'ACV OpenLCA.
- Le logiciel COPERT (COmputer Program to calculate Emissions from Road Transport) permet d'estimer les émissions directes de gaz à effet de serre et la pollution atmosphérique générées par les véhicules de transport. La version la plus récente est COPERT 4. Le développement de COPERT a été financé par l'EEA (European Environment Agency), ce logiciel est ainsi compatible avec les technologies européennes. Cette base fournit notamment le parc de véhicules en France ainsi que leurs activités (kilomètres parcourus, vitesse, type de trajet...) et reflète la situation nationale. Ces facteurs d'émissions sont liés aux vitesses moyennes des véhicules et à une répartition d'usage des voies définies par l'utilisateur (Gkatzoflias *et al.*, 2012). Une alternative à COPERT est ARTEMIS (*Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems*, André, 2004), qui a été utilisé pour l'estimation d'émissions directes dans le cadre des travaux présentés précédemment dans l'analyse économique (Gonzalez-Feliu *et al.* 2013a).

---

<sup>18</sup> <http://www.bilans-ges.ademe.fr/>

<sup>19</sup> Cette version est la plus récente dont nous avons une licence d'utilisation

- Les modèles d'émissions directes en fonction de vitesse et accélération (Ahn et al., 2002 ; Barth et al., 2004) doivent être utilisés lorsque nous souhaitons estimer les impacts du comportement de conduite – principalement les accélérations et les décélérations – sur l'environnement. Néanmoins, ces modèles sont développés pour les véhicules nord-américains. Pour les calibrer sur les émissions européennes, un calage sur la base de COPERT ou ARTEMIS peut être réalisé (Pluvinet *et al.*, 2012a,b).

Afin d'estimer les émissions pendant le cycle de vie de notre unité fonctionnelle, nous simulerons celui-ci en utilisant un logiciel de calcul pour l'analyse de cycle de vie. Nous avons choisi Open LCA, logiciel libre communément utilisé par la communauté scientifique en analyse du cycle de vie. Créé par GreenDelta depuis 2006, il propose un large éventail de fonctionnalités et de nombreuses bases de données disponibles (Ciroth et Winter, 2014). C'est un logiciel open source qui propose : (1) la modélisation du cycle de vie des produits et services, (2) une interface utilisateur convivial, (3) un large choix de bases de données de cycle de vie et (4) une collaboration et un échange de données faciles grâce aux fonctionnalités d'import et d'export des bases de données.

Nous avons donc combiné plusieurs bases de données et méthodes de calcul afin de reproduire ou simuler les processus nécessaires à l'estimation du cycle de vie de notre unité fonctionnelle sur Open LCA.

Les phases 3 et 4 (évaluation de l'impact du cycle de vie et interprétation sont réalisées ensuite. Nous les présenterons à la suite dans la proposition des deux exemples cités ci-dessus.

### **3.2.3. Résultats**

La méthode d'évaluation environnementale proposée ici a été appliquée à deux cas : l'évaluation *ex-post* du CDU de Saint-Etienne, Simplicité (Andriankaja *et al.*, 2015b) et l'évaluation *ex-ante* de scénarios collaboratifs de systèmes produit-service pour la logistique urbaine (Andriankaja *et al.*, 2015a).

Nous présentons en premier l'ACV de Simplicité. L'objectif de la mise en place de ce CDU étant environnemental, il est important d'en étudier les impacts sur l'environnement de manière large. Le CDU a aujourd'hui 2 véhicules et jusqu'à septembre 2015 livrait de la marchandise pour 4 remettants. Le tableau ci-dessous présente les résultats de l'estimation des différentes catégories d'impacts sélectionnées. Les émissions directes correspondent ici aux émissions liées à la phase d'utilisation (véhicules) et les émissions indirectes aux phases de fabrication (infrastructures et véhicules) et de fin de vie (véhicules). L'unité fonctionnelle choisie ici est la livraison de 250 positions par semaine, soit 13,7 tonnes sur 403 kilomètres (scénario 1) et sur 466 kilomètres (Andriankaja *et al.*, 2015b).

**Tableau 30.** Résultats de l'évaluation environnementale par ACV de Simplicité, pour l'unité fonctionnelle choisie (Andriankaja *et al.*, 2015b)

	Scénario sans CDU		Scénario avec CDU		Evolution générée par le CDU		
Nombre de véhicules de livraison	4		2		-		
Nombre de tournées de livraison	4		5		-		
Distance totale parcourue (km)	403		466		+15%		
<b>Catégories d'impacts</b>	Emissions directes	Emissions indirectes	Emissions directes	Emissions indirectes	Emissions directes	Emissions indirectes	Total
Réchauffement climatique (g CO <sub>2</sub> eq)	198 870	15 740	166 146	14 767	-16 %	-6 %	-15,7%
Ozone photochimique (g NMVOC eq)	1 583	86	1 239	92	-22 %	+7 %	-20,3%
Particules fines (g PM10 eq)	245	40	204	40	-17 %	0 %	-14,4%
Acidification terrestre (g SO <sub>2</sub> eq)	557	71	473	85	-15 %	+19 %	-11,1%
Ressources fossiles (g oil eq)	61 580	6 065	49 528	6 014	-20 %	-1 %	-17,9%
Ressources minérales (g Fe eq)	697	8 720	975	14 768	+40 %	+69 %	+67,2%
Occupation des sols (m <sup>2</sup> *a)	0,3	0,2	0,3	0,1	-7 %	-7 %	-20,0%
Energie fossile (MJ)	2 723,3	270,5	2 191,5	259,7	-20 %	-4 %	-18,1%
Energie nucléaire (MJ)	36,5	41,0	936,9	45,8	+2469 %	+12 %	+1168,0%
Energie renouvelable (MJ)	6,6	12,7	48,1	13,7	+624 %	+7 %	+220,2%

Dans notre exemple d'application, nous avons analysé les évolutions apportées par la mise en place du CDU Simplicité de Saint-Etienne. Il en ressort quatre principaux constats :

- La part des émissions indirectes, c'est-à-dire des émissions en dehors de la phase d'utilisation, varie de 5% à 94% en fonction des indicateurs d'impacts considérés, mais dans tous les cas les résultats sont non-négligeables. Parmi les impacts environnementaux qui ont une part importante, nous pouvons souligner l'épuisement des ressources minérales, l'occupation des sols et les énergies requises (nucléaire et renouvelable notamment). Cette importance des émissions indirectes justifie le fait de les prendre en considération dans les décisions politiques.
- Nous observons un gain direct compris entre 16 et 22 % et un gain total (impacts directs et indirects) entre 14 et 20% pour les indicateurs les plus mis en avant par les différents acteurs interrogés (Andriankaja, 2016). Ces réductions concernent les émissions de gaz à effet de serre (16% de gain, tant direct que total), les principaux polluants atmosphériques tels que l'ozone photochimique (22% de gains directs et 20% de gains totaux) et les particules fines (17% de gains directs et 14% de gains totaux).

- Cependant, ces gains peuvent être fortement contrebalancés par des pertes au niveau d'autres indicateurs si nous adoptons une vision plus large des impacts environnementaux. En effet, le choix d'un véhicule électrique influence distinctement les résultats des émissions indirectes et directes : nous voyons clairement ici les impacts de la fabrication des batteries (soit une hausse de 69% de la consommation des ressources minérales) et les impacts de la consommation d'énergie d'origine nucléaire en phase d'utilisation (une hausse de 2 469 %) mais aussi en phase de production et de fin de cycle de vie (+1168%). Cela montre que, d'un point de vue global, le véhicule électrique a un impact environnemental important qu'il ne faut pas négliger dans les décisions politiques.
- Les impacts de la fabrication des infrastructures ne doivent pas être négligés car ils représentent en moyenne un quart des impacts indirects. Cela justifie le fait de considérer les infrastructures routières dans l'évaluation environnementale de la logistique urbaine car elles ont des impacts environnementaux notables sur le cycle de vie des organisations de transport de marchandises en ville.

On constate ainsi que la mise en place du CDU *Simplicité* à Saint-Etienne, génère une augmentation de 15% des distances totales parcourues par les véhicules. Cela s'explique par l'augmentation du nombre total de tournées de livraison entre le Scénario 0 et le Scénario 1. En effet, avant le CDU, deux des quatre transporteurs effectuaient les livraisons dans Saint-Etienne avec des véhicules plus grands que ceux utilisés par le CDU, ce qui leur permettait de réaliser une seule tournée pour livrer le centre-ville de Saint-Etienne. Cette hausse des distances totales parcourues se répercute directement sur les impacts dus à la fabrication des infrastructures ; mais elle se répartit de façon inégale sur les autres indicateurs : cette répartition dépend du choix des véhicules utilisés (PTAC plus petit, recours au véhicule propre, recours à des véhicules aux normes Euro plus récentes, etc.). Ainsi, chaque décision politique, en termes de réglementations telles la restriction d'accès en centre-ville des poids lourds, ou en termes d'accompagnement (subventions accordées à l'achat d'un véhicule propre, par exemple), implique des impacts environnementaux très différents.

Ces premiers constats permettront aux décideurs politiques de mieux connaître les impacts environnementaux sur tout le cycle de vie des organisations de la logistique urbaine et de mieux cibler les actions à mettre en œuvre en fonction des indicateurs dont nous souhaitons améliorer les impacts environnementaux.

Ensuite, nous proposons l'application de cette méthode ACV à la simulation de scénarios, dans une logique de comparaison avec une référence (similaire à celle de l'analyse avant-après présenté dans la partie 1). Le but de cette évaluation de scénarios est de comparer les différentes situations et d'analyser leur gain (ou perte) en termes de performance environnementale, et cela par rapport à une même référence. Nous ne cherchons donc pas à faire un diagnostic précis de la situation actuelle mais d'estimer ce différentiel entre chaque scénario hypothétique et la situation actuelle ; en d'autres mots, si la méthode d'évaluation estime les impacts sur la même base à tous scénarios, cette comparaison est donc possible.



Les scénarios proposés sont liés aux différents usages des véhicules de livraison dans une logique de système produit-service. Trois scénarios sont proposés, en plus du scénario de référence (S0, *i.e.* une situation qui reproduit les tournées de livraison actuelles) :

- S1 : Utilisation de flottes de véhicules en « leasing ». Au lieu d'acheter les véhicules, chaque entreprise de transport fait appel à un service de location permanente. Les véhicules sont gardés et gérés par chaque transporteur mais ne sont pas sa propriété. Peu de changements organisationnels peuvent donc être observés. Néanmoins, afin de réduire le nombre de véhicules utilisés, une optimisation en interne est faite. En effet, dans ce scénario, nous supposons que chaque entreprise réalise une re-optimisation de ses flottes pour diminuer individuellement le nombre de véhicules et de tournées.
- S2 : Utilisation d'un service d'auto-partage de véhicules professionnels. Chaque entreprise garde ses tournées avec les mêmes caractéristiques que dans la situation actuelle mais utilise un service d'auto-partage. Les distances parcourues resteront donc similaires mais le nombre total de véhicules utilisés sera beaucoup plus petit. En effet, nous dimensionnons le service d'auto-partage afin de réduire le nombre total de véhicules mobilisés.
- S3 : Déploiement d'un CDU de zone, *i.e.* une plate-forme de consolidation dans la zone d'activités où ces transporteurs sont localisés et en collaboration avec ces entreprises de transport. Les entreprises de transport ne livrent plus ni le centre-ville ni le CDU, toute expédition étant effectuée en termes de transport par le CD. En termes de transport, deux types de tournées sont définies : une de ramasse auprès des transporteurs et à destination du CDU et une de livraison auprès des destinataires.

Pour construire les scénarios, nous utilisons les données de la base de données du TMV proposée dans Morana *et al.* (2013) et Gonzalez-Feliu et Morana (2014). Puis, à partir de cette base de données, un ensemble de 100 itinéraires représentatifs est obtenu en utilisant une procédure de génération aléatoire probabiliste qui respecte la répartition statistique de chaque catégorie d'itinéraire (Gonzalez-Feliu *et al.*, 201a). Dans cette simulation, nous considérerons seul le transport par compte d'autrui effectué par véhicules utilitaires légers (VUL). Pour plus d'informations sur la base de données et les catégories d'itinéraires, voir Morana *et al.* (2014) Gonzalez-Feliu et Morana (2014).

Trois principaux types de transporteurs sont définis, par rapport au poids des marchandises transportées (et indirectement, à l'unité de conditionnement) :

- les charges de petit poids sont en général des livraisons de colis, réalisées par des transporteurs utilisant des petits véhicules (VUL) avec des tournées longues (plus de 30 points livrés, *cf.* Gonzalez-Feliu et Morana, 2014) ;
- les livraisons de plus grand poids sont principalement conditionnées en palettes, et sont transportées par des traces directes ou des petites tournées ayant en général moins de 5 points de livraison ;
- les livraisons de poids moyen peuvent être assimilées à des livraisons principalement de palettes mais peuvent être aussi mixtes (*i.e.* en combinant des colis et des palettes), et sont effectuées par des VUL faisant des tournées entre 2 et 20 points de livraison en règle générale (Gonzalez-Feliu et Morana, 2014).

La méthodologie d'évaluation est la même que précédemment, sauf que les données d'entrée sont issues de la simulation. Les indicateurs retenus restent donc les mêmes que pour l'évaluation du CDU de Saint-Etienne. L'unité fonctionnelle diffère du fait que la situation initiale est différente : les volumes mobilisés ici étant plus grands, ainsi que le nombre de transporteurs et de camions mobilisés, nous avons choisi comme unité fonctionnelle l'ensemble des tournées nécessaires à la livraison de 70 tonnes de marchandise par jour. La simulation de ces scénarios est présentée plus en détail dans Andriankaja *et al.* (2015b). Nous présentons par la suite une synthèse des résultats de ces simulations dans le Tableau 31

Nous observons dans tous les trois scénarios que les configurations des systèmes produit service proposés résultent en une réduction des impacts environnementaux par rapport à la situation de référence, ce qui montre l'intérêt de déployer ce type de schémas en logistique urbaine. Néanmoins, les impacts sont différents pour chaque scénario. En effet, les scénarios 1 et 2 (systèmes qui ne reposent pas sur une réelle collaboration entre les transporteurs) ont des impacts qui restent inférieurs mais proches du scénario de référence, alors que le scénario 3 (ce qui implique une forte collaboration entre les transporteurs) réduit considérablement l'ensemble des distances parcourues (d'environ 35%), ce qui est directement traduit en gains environnementaux forts.

En ce qui concerne S1, nous estimons une réduction de l'impact moyen par rapport à S0 d'environ 3,3%. Nous observons que le nombre total de kilomètres est proche à celui de S0, ce qui montre que les tournées sont aujourd'hui (dans le scénario initial) bien optimisées par rapport aux contraintes et aux objectifs liés à la distribution urbaine. Par ailleurs, le nombre de véhicules est très proche de celle de S0. Cependant, cette petite réduction permet déjà d'observer certains gains, principalement dans la consommation d'énergie.

Pour S2, nous pouvons voir que la réduction de l'impact par rapport à S0 est légèrement supérieure à celle de S1. En effet, la réduction globale de l'impact moyen par rapport à S0 est de 5,9%. Cependant, les distances parcourues sont égales à celles de S0 car nous ne considérons qu'une utilisation partagée des véhicules sans une reconfiguration tournées de livraison ni une mutualisation de la charge de ces véhicules. Toutefois, la réduction du nombre de véhicules est d'environ 15%, ce qui contribue à une réduction des émissions liées à la fabrication et à la fin de vie du service de transport.

**Tableau 31.** Résultats de l'évaluation ex-ante, pour la livraison de 70 tonnes de marchandise par jour (Andriankaja *et al.*, 2015a).

<b>Catégorie d'impacts</b>	<b>S0</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>
Nombre de véhicules	100	96	85	56
Nombre de tournées	123	96	123	187
Distante journalière parcourue (km)	5513	5355	5513	3610
<b>Emissions directes</b>				
Emissions de gaz à effet de serre (kg CO <sub>2</sub> eq)	3636	3532	3636	2381
Acidification du sol (kg SO <sub>2</sub> eq)	12,9	12,5	12,9	8,4
Oxydants (kg NMVOC)	23,3	22,7	23,3	15,3
Particules (kg PM10 eq)	6,2	6,0	6,2	4,1
Ressources fossiles (kg oil eq)	1246	1211	1246	816
Ressources métalliques (kg Fe eq)	13,9	13,5	13,9	9,1
Occupation du sol (m <sup>2</sup> *a)	3,2	3,1	3,2	2,1
Energie fossile (GJ)	52,4	50,9	52,4	34,3
Energie renouvelable (MJ)	132	128	132	87
<b>Emissions indirectes</b>				
Emissions de gaz à effet de serre (kg CO <sub>2</sub> eq)	815	782	693	456
Acidification du sol (kg SO <sub>2</sub> eq)	4,0	3,8	3,4	2,2
Oxydants (kg NMVOC)	2,7	2,6	2,3	1,5
Particules (kg PM10 eq)	1,7	1,6	1,5	1,0
Ressources fossiles (kg oil eq)	281	270	239	157
Ressources métalliques (kg Fe eq)	454	436	386	254
Occupation du sol (m <sup>2</sup> *a)	4,0	3,9	3,4	2,3
Energie fossile (GJ)	11,8	11,3	10,0	6,6
Energie renouvelable (MJ)	1001	961	851	561

Le scénario S3 est donc celui qui aboutit à de plus grands gains environnementaux, estimés à environ 38,2% par rapport à S0 en moyenne. Cela est dû à la fois à une réduction du nombre de véhicules d'occasion (44% par rapport à S0) et à la réduction drastique du nombre total de kilomètres parcourus (34% par rapport à S0). Nous observons que la construction et les phases du cycle de vie de fin de vie ont un impact important sur l'environnement et qu'il ne faut donc pas les négliger dans l'évaluation de la performance environnementale de la logistique urbaine. En effet, une bonne utilisation du véhicule avec une phase opérationnelle conduit à une diminution des émissions directes mais aussi indirectes.

### 3.2.4. Apports

La méthode d'évaluation basée sur l'ACV permet d'estimer les impacts directs et indirects de la logistique urbaine dans une logique de différentiel (*i.e.* il estime les variations sur les émissions et processus où il y a un vrai changement). Il permet, par exemple, de tenir compte des impacts liés à la fabrication des véhicules et alimente le débat sur les nouveaux types de motorisation.

De plus, l'utilisation conjointe de ces deux méthodes permet d'estimer l'utilité ou l'attractivité pour les possibles financeurs d'une solution de logistique urbaine, dans la logique de quantifier d'abord le différentiel d'impacts environnementaux et ensuite le différentiel de coûts. En les mettant en relation, nous pouvons estimer le coût de ces gains unitaires d'émissions polluantes et estimer le degré de souhaitabilité de la solution proposée.

### **3.2.5. Limites et perspectives**

La méthodologie d'ACV proposée ici reste encore à un stade préliminaire. En effet, la méthode est encore en construction et la chaîne de processus et d'impacts semble encore incomplète. La définition de ces processus pourrait être complétée par l'identification d'autres impacts indirects, et être couplée avec les logiques et méthodes mis en place pour l'ACA présentée auparavant. De plus, la méthodologie nécessite d'une base de données (principalement les facteurs d'impact par type de véhicule) dont seulement les véhicules utilitaires légers euro 6 et électriques sont renseignés. Un travail de création de cette base de données pour un ensemble plus large de véhicules est en cours de finalisation.

Une autre limite de l'ACV est que nous proposons actuellement un ensemble trop grand d'indicateurs. Or, un décideur aura toujours du mal à prendre une décision sur la base d'un ensemble de critères dont le nombre est trop important. La méthode doit donc être complétée par un mécanisme qui permette soit de réduire le nombre d'indicateurs soit de les agréger pour proposer une procédure d'aide à la décision qui soit plus lisible. Une option possible serait de proposer une réduction du nombre d'indicateurs par une méthode multi-critère de groupe. Ici, nous pouvons citer deux possibilités : utiliser l'analyse coûts-avantages lorsqu'une quantification monétaire des impacts environnementaux soit possible (dans la vision proposée ci-dessus) ou déployer une méthode multicritères non basée sur la somme pesée des critères (comme par exemple les familles de méthodes multicritères ELECTRE ou PROMETHEE) mais adaptées à la prise de décision de groupe. Une possibilité dans cette deuxième voie serait l'évolution de la méthode MAMCA (Macharis *et al.*, 2010) en GMCA (Groupe Multi-Criteria Analysis), en appliquant les principes de la théorie de décision de groupe à l'analyse multicritères.

Enfin, une intégration de l'ACA et l'ACV nous semble nécessaire pour définir un « coût de la durabilité », notamment du plan environnemental. Cela sera fait dans une phase ultérieure, en couplant les gains environnementaux à l'éventuel surcoût des schémas logistiques qui donnent ces gains.

## **3.3. Proposition d'indicateurs d'accessibilité et d'attractivité du territoire**

### **3.3.1. Motivation**

La littérature en évaluation de la logistique urbaine montre une prédilection pour les impacts environnementaux, et une proposition d'indicateurs de performance logistique et du transport (qui ont permis de proposer une méthodologie générale pour l'analyse économique de la logistique urbaine durable). En ce qui concerne les impacts sociaux, leur quantification reste plus difficile et peu répandue. Une alternative à la définition d'impacts sociaux – tels que la satisfaction des habitants ou la création d'emplois – peut être la quantification des impacts indirects sur le développement et l'attractivité du territoire. Bien que ces aspects soient bien

analysés pour le transport de personnes (Geurs et van Wee, 2004 ; Crozet *et al.*, 2010 ; van Wee, 2016), les impacts liés aux questions de besoins et approvisionnement de marchandises sont souvent absents de ces réflexions, qui se font en général sur la base d'indicateurs d'accessibilité (au sens de la mobilité) du territoire.

Nous observons dans la littérature une multitude d'approches pour estimer l'accessibilité d'une zone et la lier à la mobilité urbaine (Geurs et van Wee, 2004 ; van Wee, 2016). Néanmoins, nous observons qu'il existe peu (ou pas) d'approches d'analyse de l'accessibilité tenant compte des marchandises de manière explicite. Or dans le développement des territoires il est important de tenir compte du rapport de la logistique au territoire<sup>20</sup>.

Pour cela, le troisième groupe de travaux présentés ici s'intéresse non seulement à la définition d'indicateurs d'accessibilité et attractivité du territoire, mais aussi à la proposition d'un cadre de simulation et d'analyse qui s'interface avec les modèles proposés en partie 2.

### 3.3.2. Principes et déroulé méthodologique

La définition d'indicateurs d'accessibilité marchandises dérive des indicateurs utilisés pour le transport de personnes. Pour cela, il est important de rappeler les bases du calcul d'indicateurs d'accessibilité. Geurs et van Wee (2004) définissent l'accessibilité comme « la mesure dans laquelle l'usage du sol et permettent aux individus d'atteindre des destinations au moyen d'un mode de transport ». Les auteurs identifient aussi quatre catégories d'indicateurs :

1. Indicateurs qui traitent avec le niveau de service lié à une infrastructure de transport (Linneker et Spence, 1992; Ewing, 1993). Les principaux exemples d'indicateurs de cette catégorie sont les niveaux de congestion et des vitesses moyennes de déplacement sur un réseau routier (Geurs et van Wee, 2004).
2. Indicateurs basées sur la localisation, qui décrivent le niveau d'accessibilité aux activités distribuées spatialement. Deux principaux groupes d'indicateurs peuvent être distingués dans cette catégorie: la distance sur la base des indicateurs (Ingram, 1971; Pirie, 1979) et les mesures d'accessibilité gravité (Stewart, 1947; Hansen, 1959; Ingram, 1971; Vickerman, 1974).
3. Indicateurs basés sur la personne, qui définissent l'accessibilité au niveau individuel (Burns, 1979). Ces indicateurs dérivent de la théorie de la géographie espace-temps (Hägerstrand, 1970; Miller, 1999; Recker et al, 2001)
4. Indicateurs basés sur la notion d'utilité, qui dérivent des principaux avantages que les individus tirent de l'accès aux activités réparties dans l'espace. Deux principaux groupes d'indicateurs sont définis par Geurs et van Wee (2004) : indicateurs de somme logarithmique, pour analyser les opportunités de l'ensemble des choix (Ben-Akiva and Lerman, 1979), et des modèles d'entropie doublement contrainte (Martinez, 1995).

En ce qui concerne le transport de marchandises, peu de travaux ont traité avec l'accessibilité et la plupart d'entre eux sont restés principalement théoriques (Bowen, 2008 ; Gonzalez-Feliu, 2008 ; Crainic *et al.*, 2010). Dans tous ces cas, seules des approches appartenant à la catégorie

---

<sup>20</sup> Propos tenus par Christian Morel, chercheur associé au CRET-Log et directeur du cabinet Jonction, dans une réunion de travail du projet ANNONA en avril 2016.

2 sont proposés. Bien qu'il existe des travaux sur la congestion des infrastructures, ils restent principalement basés sur le transport de personnes et c'est seulement dans les dernières années que nous observons un intérêt des chercheurs en modélisation du trafic au transport de marchandises (Chiabaut *et al.*, 2016 ; Wang *et al.*, 2016). Ces travaux restent néanmoins exploratoires et plus liés à l'analyse de la dynamique du trafic qu'à l'estimation des charges du réseau de transport. Cependant, il semble possible de dériver ce type d'indicateurs de ces travaux. Néanmoins, les approches de type infrastructure semblent plus pertinentes si elles tiennent compte à la fois du transport de personnes et celui de marchandises.

Les indicateurs basés sur la personne ne sont pas adaptés au transport de marchandises. Cela ne veut pas dire que la théorie de la géographie espace-temps ne soit pas adaptable à la logistique urbaine mais ces indicateurs restent plus théoriques et peu évidents pour les différents décideurs. Les indicateurs d'utilité peuvent être aussi intéressants mais la logique du transport de marchandises n'étant pas la même que pour le transport de personnes, ils sont à repenser entièrement. De plus, les approches par l'utilité restent minoritaires dans la proposition d'indicateurs d'accessibilité.

D'après Geurs et van Wee (2004), les approches les plus répandues sont les indicateurs basés sur la localisation, *i.e.* la catégorie 2. Deux principales sous-catégories sont observées : les indicateurs de distance et les indicateurs gravitaires (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014c). Nous avons donc commencé par adapter ces deux types d'indicateurs à la logistique urbaine.

Les indicateurs gravitaires sont les plus faciles à mettre en place. En effet, l'accessibilité gravitaire est un indicateur qui tient compte de deux types de variables : les opportunités, *i.e.* l'ensemble de variables qui motive le déplacement, et les coûts de transport, souvent liés aux distances parcourues mais dont la forme exacte peut varier d'un indicateur à un autre. Notons  $O_j$  les opportunités pour atteindre une zone  $j$  et les coûts de joindre cette zone depuis une zone  $i$  comme  $c_{ij}$ . L'accessibilité gravitaire, au sens de Hansen (1959) est définie par la relation suivante :

$$A_i^P = K \cdot \sum_{j=1}^n O_j \cdot c_{ij}^{-\alpha}$$

Cet indicateur s'appelle aussi accessibilité potentielle (car il prend la forme d'une puissance). Une variante de l'accessibilité gravitaire a une formulation exponentielle, comme suit :

$$A_i^E = K \cdot \sum_{j=1}^n O_j \cdot e^{-\beta c_{ij}}$$

En ce qui concerne les opportunités, il a été choisi dans un premier temps de prendre la quantité totale de marchandise à livrer dans chaque zone (Gonzalez-Feliu, 2008, 2012b). Cette approche nécessite d'une estimation de la quantité de marchandise à livrer, ce qui n'est pas toujours facile à réaliser manque de données. Afin de ramener ces indicateurs sous une forme facile à estimer avec des données standard, nous avons pris ensuite le nombre d'emplois dans chaque zone. Ce nombre d'emplois peut être celui des activités commerciales (Gonzalez-Feliu et Mercier, 2013 ; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2016a) si l'on souhaite estimer un indicateur d'accessibilité commerciale,

ou celui de l'ensemble des activités économiques de la ville (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2016a) pour un indicateur général.

Le coût de transport peut être aussi estimé de différentes manières. La plus simple consiste à le ramener aux distances euclidiennes (vol d'oiseau) entre deux zones (Gonzalez-Feliu, 2008, 2012). Une autre possibilité consiste à définir une distance entre deux zones qui soit plus proche de la distance moyenne parcourue que de la distance euclidienne (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2016a). La troisième possibilité consiste à utiliser le temps moyen de parcours entre deux zones. Enfin, un coût de transport peut être aussi calculé (Gonzalez-Feliu et Mercier, 2013). Dans ce dernier cas, l'estimation du coût de transport est plus pertinente que pour le transport de personnes, car le coût de transport de marchandises est directement estimable à partir des distances parcourues et des temps de travail passé sur ce transport et les opérations de livraison et d'enlèvement associées, que le transport soit réalisé en compte propre ou en compte d'autrui. De plus, ces coûts au kilomètre et à l'heure sont connus et estimables à partir de coefficients proposés par les organismes publics et associatifs (Russo, 2005 ; Generalitat de Catalunya, 2011 ; Comité National Routier, 2012).

Néanmoins, ces indicateurs ne tiennent pas compte de la nature en tournées de la plupart des transports urbains de marchandises. Pour cela, un indicateur basé sur les distances de parcours (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014c) a été également proposé. Pour estimer cet indicateur, une méthode de construction des tournées est nécessaire, nous avons donc utilisée la méthode constructive d'optimisation des tournées présentée dans la partie 2 et développée dans Salanova-Grau et Gonzalez-Feliu (2015). Pour cela, une estimation de la demande avec les modèles proposés dans la partie 2 est réalisée : un premier modèle, déterministe et catégoriel, donne le nombre de livraisons par semaine et par établissement, puis un deuxième modèle, probabiliste, permet d'estimer la quantité de marchandise de chaque livraison (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014c). Avec ces éléments, un fichier d'entrée pour l'algorithme d'optimisation est construit, puis l'algorithme permet de proposer des tournées réalistes.

A partir de ces tournées, la distance totale parcourue (par l'ensemble des tournées à partir d'un point de départ) est estimée. Le temps total parcouru (qui tient compte à la fois du temps de parcours mais aussi des opérations de livraison et d'enlèvement ainsi que d'autres temps de travail comme les pauses ou les éventuelles opérations de bureau du chauffeur) est aussi estimé. A partir de cela, le coût total du transport de marchandises est calculé comme suit : le coût monétaire (en euros) associé à une tournée  $k$  est noté  $C_k$  et peut être estimé par la relation suivante :

$$C_k = 0.35 \text{ dist}_k + 34.52 t_k$$

Où  $\text{dist}_k$  et  $t_k$  sont la distance totale parcourue par la tournée  $k$  et le temps total de travail imputé à la même tournée.

Etant donné une zone  $e$ , le coût total associé aux tournées au départ de cette zone peut être estimé comme suit :

$$C^e = \sum_k C_k^e$$

Enfin, l'indicateur d'accessibilité pour la zone (ou groupe de tournées)  $e$  peut être estimé comme suit :

$$A^e = \frac{W}{C^e}$$

Où  $C^e$  est le coût total de l'ensemble des tournées associées à la zone  $e$ , et  $W$  un paramètre qui permet de ramener cette accessibilité à une valeur entre 0 et 100.

### 3.3.3. Résultats

Afin d'illustrer différentes utilisations de ces accessibilités, nous proposons plusieurs cas d'application. Les deux premiers sont liés à la mise en place de systèmes de transports à deux niveaux (*i.e.* des systèmes avec des points de rupture de charge intermédiaires, comme des ZLU, CDU ou ELP). Pour la première analyse, nous avons pris les 80 cas de test proposés dans Gonzalez-Feliu (2008) dont un optimum a été trouvé (Gonzalez-Feliu, 2012b). Ces auteurs optimisent un système de transport à deux niveaux pour satisfaire la demande et les contraintes proposées dans les 80 cas de test (*cf.* Gonzalez-Feliu, 2008 pour la construction des cas de test). Ensuite, pour avoir l'optimum théorique de la livraison classique (*i.e.* avec un système à un seul niveau), nous avons appliqué un modèle classique d'optimisation des tournées (Gonzalez-Feliu, 2012b) en utilisant un logiciel commercial d'optimisation de problèmes linéaires (Xpress version 2006).

Les cas de test sont groupés en quatre ensembles, contenant respectivement 66 cas d'essai avec 12 clients, 6 avec 21 clients et un dépôt central, 6 avec 21 clients et un dépôt périphérique, et 2 avec 32 clients. Chaque ensemble est liée à un plan de distribution à un niveau, extrait des cas proposés par Christofides et Eilon (1965) mais adaptés au cas de la logistique urbaine (d'où le besoin de refaire l'optimisation de ces cas une fois adaptés). Le détail de la méthodologie de simulation se trouve dans Gonzalez-Feliu (2012b).

A partir de ces cas, deux indicateurs d'accessibilité sont estimés, un pour chaque niveau du système de transport à examiner. L'indicateur du deuxième niveau met en relation la demande à livrer aux clients finaux avec la distance entre les points intermédiaires et ces clients. Nous avons donc choisi un indicateur gravitaire de type exponentiel, où les opportunités sont représentées par la demande à livrer à chaque client et les coûts par les distances euclidiennes entre chaque point intermédiaire et chaque client. Celui de premier niveau relie le dépôt d'origine aux points intermédiaires. Ne connaissant pas la demande affectée à chaque point intermédiaire (car cela est l'un des résultats de l'optimisation et que l'estimation des indicateurs d'accessibilité se fait *a priori* avant l'optimisation), l'indicateur choisi est de type distance, où seule la distance euclidienne entre le dépôt et chaque point intermédiaire.

Une fois les accessibilités estimées, nous comparons le coût de transport de chaque cas. En d'autres termes, pour chaque cas, nous estimons la différence de coût entre un transport à un niveau et un transport à deux niveaux. Ensuite, nous reportons ces différentiels aux accessibilités. Pour cela, nous divisons l'ensemble des 80 cas en 16 groupes (au croisement des 4 quartiles de chacune des accessibilités estimées, voir Gonzalez-Feliu, 2012b pour les détails).



Nous montrons en Tableau 32 les résultats de ces croisements, montrant respectivement le nombre de cas où le système à deux niveaux résulte en un gain en coûts, puis la différence moyenne de coût entre les deux options (respectivement le système à un et celui à deux niveaux).

**Tableau 32.** Résultats de l'analyse d'accessibilité (le premier tableau contient le nombre de cas où le coût de transport d'un système à deux niveaux est inférieur à celui du même transport mais à un niveau ; le deuxième représente le différentiel moyen en coût)

		Accessibilité niveau 1 (de type distance)				
		1 <sup>er</sup> quartile	2 <sup>e</sup> quartile	3 <sup>e</sup> quartile	4 <sup>e</sup> quartile	Total
Accessibilité de niveau 2 (gravitaire)	1 <sup>er</sup> quartile	0	3	4	3	<b>10</b>
	2 <sup>e</sup> quartile	0	3	3	4	<b>10</b>
	3 <sup>e</sup> quartile	3	2	5	5	<b>15</b>
	4 <sup>e</sup> quartile	3	3	4	5	<b>15</b>
	Total	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>50</b>

		Accessibilité niveau 1 (de type distance)				
		1 <sup>er</sup> quartile	2 <sup>e</sup> quartile	3 <sup>e</sup> quartile	4 <sup>e</sup> quartile	Total
Accessibilité de niveau 2 (gravitaire)	1 <sup>er</sup> quartile	14%	-1%	-13%	-23%	<b>-6%</b>
	2 <sup>e</sup> quartile	11%	-7%	-13%	-20%	<b>-7%</b>
	3 <sup>e</sup> quartile	9%	-4%	-12%	-11%	<b>-5%</b>
	4 <sup>e</sup> quartile	21%	-4%	-15%	-9%	<b>-2%</b>
	Total	<b>14%</b>	<b>-4%</b>	<b>-13%</b>	<b>-16%</b>	<b>-5%</b>

Bien que les cas restent théoriques, l'analyse montre des résultats intéressants parce que la comparaison a lieu entre optimums exacts et donne une première idée de l'impact des systèmes de transports à deux niveaux sur les coûts globaux de transport. En effet, un système de transport à deux niveaux conduit à une réduction des coûts dans 50 des cas 80 d'essai (presque 63%), tandis que la différence en coûts est en moyenne entre -25% et + 25% par rapport à un système de transport à un niveau, ce qui se traduit sur un gain moyen de 5%.

Cependant, nous devons examiner de plus près les résultats. Pour cela, nous présentons dans le tableau 2, le gain de coût moyen ou de la perte par rapport à la seule approche échelonnée, en prenant en compte que les cas où la distribution de deux échelons conduit à une réduction des coûts faire. Nous observons un gain moyen d'environ 11%. Bien que le nombre de cas de test résultant sur un gain de coût soient logiquement lié à chaque indicateur, il n'est pas la même chose pour leurs économies de coûts moyens correspondants. Plus précisément, pour les valeurs d'accessibilité de niveau 2 dans l'écart interquartile, nous observons que lorsque l'accessibilité augmente, les systèmes à deux échelons sont moins coûteux que les systèmes d'un échelon, mais les gains moyens ne suivent pas la même tendance. De plus, lorsque l'accessibilité de niveau 2 est dans le 4<sup>e</sup> quartile (*i.e.*, quand il atteint ses valeurs les plus élevées), 80% des cas à deux échelons donnent des économies de coûts, mais ils ne représentent que un gain de 2%, alors que les cas où cette accessibilité est dans le 2<sup>e</sup> quartile ce gain est d'environ 7% mais seulement 10% des cas résultent en un gain de coût. Ces résultats mettent en évidence l'importance du croisement de ces deux indicateurs. Lorsque l'accessibilité de niveau 1 est faible (1<sup>er</sup> quartile), il est logique que les systèmes de transport de 2 échelons ne sont pas utiles:

65% des cas avec des ratios de coûts de transport dans le 1<sup>er</sup> quartile résultent en une perte de coût et l'accessibilité de niveau 2 a un peu d'influence dans ces cas. Pour les accessibilités de niveau 1 dans les 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> quartiles, nous observons 90% des cas résultant en gains de coûts de transport (36 sur 40 cas), et l'accessibilité joue alors un rôle important non sur le fait de gagner mais sur la valeur de ce gain.

De cette analyse, nous pouvons affirmer que les indicateurs proposés peuvent être utilisés pour étudier le potentiel des systèmes de transport à deux niveaux. Dans cette analyse, seuls coûts opérationnels, directement liés aux distances de déplacement (et aux vitesses de parcours, considérées ici comme constantes), a été pris en compte afin de produire une comparaison homogène entre les deux systèmes de transport à examiner. Cependant, aucun frais d'investissement ont été prises en compte. Le tableau montre que seule d'un seul niveau ne suffit pas à comprendre quand il est intéressant d'utiliser un système à deux niveaux. Pour cela, il faut les deux accessibilités.

Mais ces accessibilités ne tiennent pas compte de la nature en tournées. Il peut être intéressant d'estimer l'accessibilité de type coût sur l'ensemble des tournées susceptibles passer d'un système à un niveau à un système à deux niveaux. Pour cela, la méthode proposée ci-dessus est appliquée à la mise en place de plates-formes collaboratives de type CDU (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014c). Pour ce faire, nous simulons un ensemble de scénarios pour évaluer l'aide de la méthode proposée. La zone urbaine choisie est celle de Lyon, d'où nous disposons d'un ensemble de bases de données standard (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013f, 2014c). Le détail de la construction des scénarios se trouve dans Gonzalez-Feliu *et al.* (2014c). Ces scénarios sont des variantes de localisation de CDUs pour un ensemble de 5 transporteurs qui se trouvent en périphérie lointaine de l'aire urbaine de Lyon et souhaitent livrer en commun un ensemble de plus de d'environ 160 clients en commun qui se situent à l'intérieur de la zone urbaine principale (Lyon-Villeurbanne). Les caractéristiques de ces entreprises de transport pour les besoins de la simulation sont les suivantes :

**Tableau 33.** Caractéristiques des opérateurs simulés

<b>ID entreprise</b>	<b>Nombre de camions porteurs</b>	<b>Capacité (tonnes)</b>	<b>Nombre de clients livrés par journée</b>
1	2	7.5	95
2	3	4.0	115
3	2	7.5	86
4	2	4.0	78
5	4	2.5	65
<b>Nombre de véhicules utilitaires légers en commun</b>		<b>Capacité (tonnes)</b>	
12		0.8	
20		0.9	
14		1.2	

Ensuite, les scénarios à simuler peuvent être construits et évalués. Trois groupes de tests sont effectués. Le premier est destiné à localiser un CDU entre les différents lieux, le second en prévoit deux et le troisième, trois. Pour chaque groupe de tests les différentes possibilités sont simulées, à l'exception (pour les deuxième et troisième jeux) ceux ayant deux CDU au sein de distances très proches et donc pouvant être modélisés avec un seul CDU au lieu de plusieurs.

Le tableau 3 résume les résultats de la simulation. Nous observons que les scénarios les plus accessibles sont ceux du groupe 1. En effet, il semble que, dans la configuration spécifique et compte tenu de la demande quotidienne totale de livrer aux détaillants choisis de la ville intérieure de Lyon (136 clients avec une quantité totale de biens de 27 508 kg), la moyenne (médiane) et les valeurs de configurations avec un seul centre de consolidation semblent être plus accessibles. Plus précisément, une configuration avec un CDU a une accessibilité moyenne de 35,4 et un accès médian de 34,3, qui sont proches. Configurations avec 2 CDUs ont une accessibilité moyenne de 20,2 (environ 43% de moins) et une accessibilité médiane de 16,7 (environ 51% de moins). Les scénarios avec 3 CDUs ont une accessibilité moyenne de 18,4 (environ 48% de moins) et une accessibilité médiane de 15,6 (environ 55% de moins).

**Tableau 34.** Synthèse des trois groupes de tests

<b>Groupe de scénarios</b>	<b>Nombre de scénarios</b>	<b>Accessibilité minimale</b>	<b>Accessibilité maximale</b>	<b>Accessibilité moyenne</b>	<b>Accessibilité médiane</b>
1 (un CDU)	148	9,9	100,0	35,4	34,3
2 (deux CDUs)	3248	10,3	42,8	20,2	16,7
3 (trois CDUs)	40403	8,8	44,6	18,4	15,6

Ces résultats peuvent ensuite être utilisés par les praticiens comme suit. Tout d'abord, lorsque l'on compare les trois groupes de scénarios, nous observons que les configurations avec 1 CDU semblent plus robustes que ceux des deux autres groupes. En effet, le premier groupe a une moyenne, la médiane et accessibilités maximales qui sont plus élevés que les deux autres groupes, donc pour la configuration donnée, aucune alternative avec plus d'un CDU sera plus approprié qu'au moins une avec une seule plate-forme. Cela aura un impact sur les coûts, étant donné que la construction et la planification d'un réseau de CDU a des coûts plus élevés que le fait pour un seul, et de l'analyse de l'accessibilité, les coûts globaux d'exploitation sera inférieure avec une configuration mono-CDU (nous nous rappelons que le estimé indicateur de l'accessibilité est inversement proportionnelle aux coûts de transport).

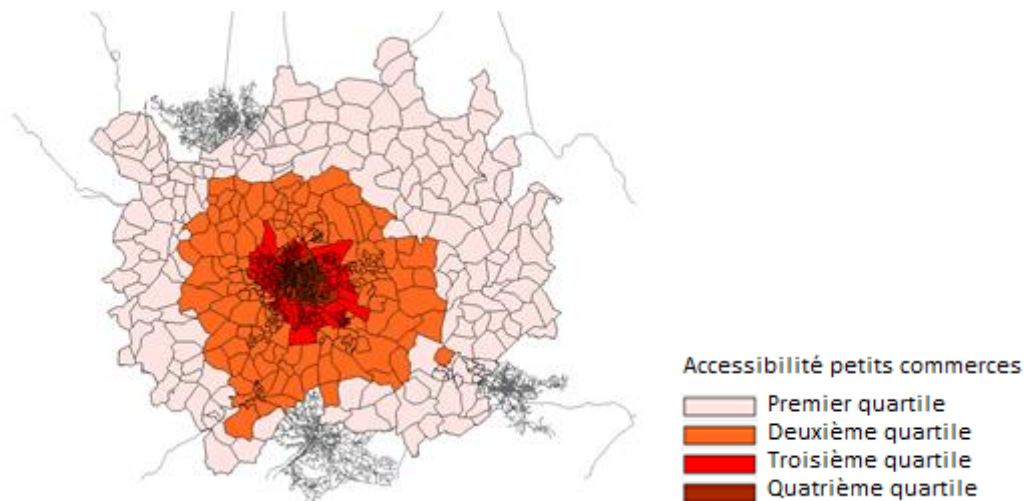
Deuxièmement, après avoir sélectionné le groupe de scénarios, les planificateurs peuvent examiner les différentes configurations (dans le cas du premier groupe 148) et choisir un plus petit ensemble d'emplacements possibles. En se concentrant sur ce groupe, nous pouvons déterminer à partir du diagramme de distribution de fréquence d'un ensemble de 5 ou 6 emplacements appropriés, pour ensuite l'examiner plus en détail avec une simulation plus précise des tournées ou une approche d'optimisation (Cattaruzza *et al.*, 2015).

Un troisième exemple est celui de la définition d'indicateurs accessibilité et d'attractivité commerciale (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2010a ; Gonzalez-Feliu et Mercier, 2013) qui tiennent

compte des deux composantes majeures du transport de marchandises en ville : les déplacements inter-établissements et les déplacements du consommateur final. Pour ces indicateurs, une approche gravitaire exponentielle a été proposée (Gonzalez-Feliu et Mercier, 2013 ; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2016a). Les opportunités ont été fixées comme les emplois commerciaux, et les coûts comme les coûts de transport estimés à partir des distances moyennes parcourues pour joindre en véhicule motorisé une zone  $j$  à partir d'une zone  $i$  de l'aire urbaine.

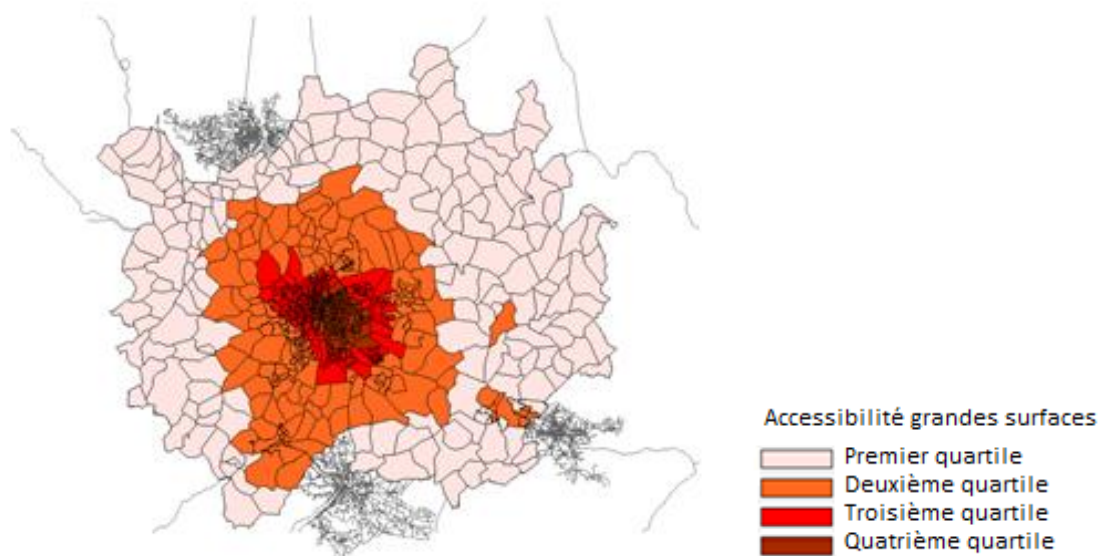
Prenant la situation actuelle (celle de l'année 2006) dans l'agglomération de Lyon, nous avons estimé que l'indicateur d'accessibilité gravité correspondant sur la base de détail-pour chaque zone. Les analyses d'accessibilité proposées sont faites sur la zone urbaine de Lyon (France), qui a été divisé en 743 zones (Zonage IRIS de l'année 2000).

Nous rapportons ci-dessous trois cartes: la première représente l'accessibilité pour les petits détaillants, la seconde celle des grands magasins et le troisième les taux grands / petits détaillants. Dans les deux premiers cas, les couleurs représentent les quartiles des données fournies. Dans le troisième, la signification des couleurs est ajoutée à la carte.



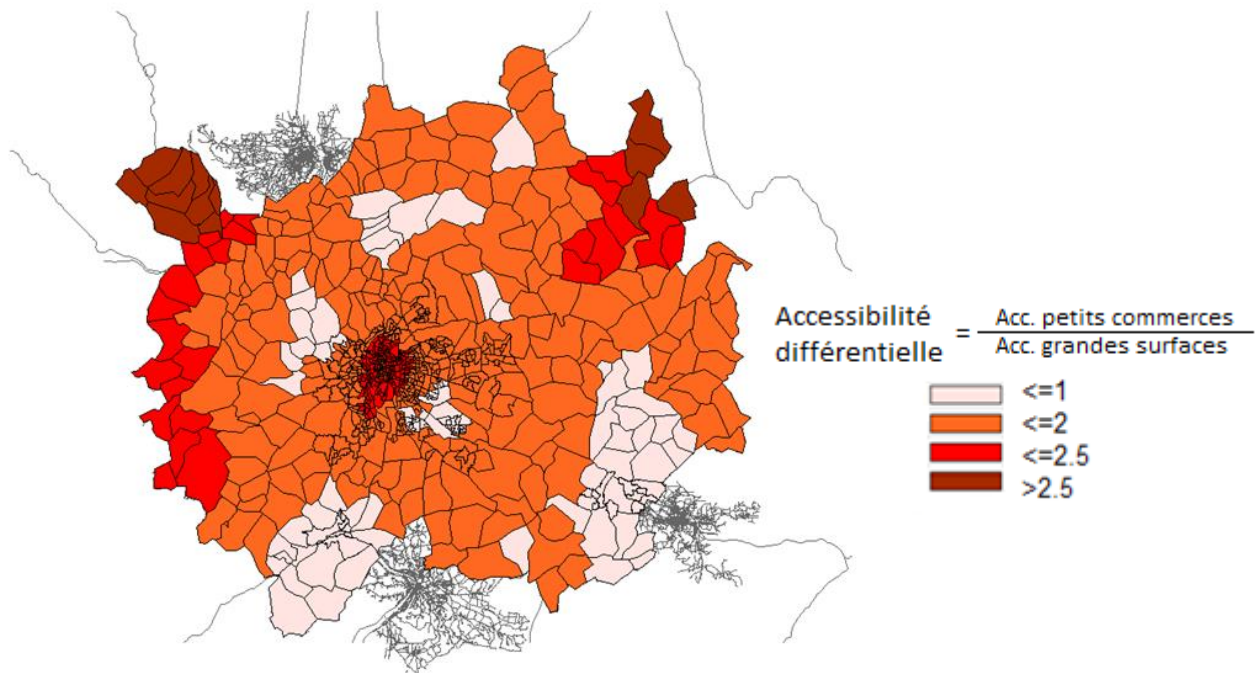
**Figure 7.** Accessibilité absolue des petits commerces dans l'aire urbaine de Lyon (Gonzalez-Feliu et Mercier, 2013)

Nous observons que tant pour les petits commerces de proximité comme pour les grandes surfaces, la distribution spatiale des zones par quartiles d'accessibilité est similaire, mais pas exactement identique : les zones plus accessibles en termes de commerces de proximité sont situées dans la zone urbaine principale, et les zones sont moins accessibles au fur et à mesure que la distance au barycentre de l'aire urbaine augmente. Cependant, nous observons que les zones commerciales de l'Est Lyonnais ont en moyenne une meilleure accessibilité aux commerces de proximité qu'aux grandes surfaces.



**Figure 8.** Accessibilité absolue des grandes surfaces commerciales dans l'aire urbaine de Lyon (Gonzalez-Feliu et Mercier, 2013)

Dans ce contexte, il semble important regarder l'accessibilité différentielle (Figure 9). Nous observons que dans la zone urbaine principale et dans certaines zones périphériques au nord de l'aire urbaine, l'accessibilité différentielle en faveur des petits commerces est très élevée (plus de 2,5). Cela est principalement dû au fait que la quantité de petits détaillants est très supérieure à celle des moyennes et grandes surfaces, et se concentre dans des zones centrales par rapport aux pôles d'habitation autour. En centre-ville, la concentration des petits commerces est élevée et en raison de la densification ; le nombre de grandes surfaces, bien que présent, est limité, aussi à cause des différentes stratégies d'urbanisme commercial des villes mono-centriques (Desse, 2001). Dans les zones périphériques avec des résultats similaires, la concentration de petits commerces de proximité est due à la présence des communes importantes de l'aire urbaine qui présentent des caractéristiques similaires du centre-ville principale, mais avec une densité plus faible.



**Figure 9.** Accessibilité différentielle (petits commerces vs. grandes surfaces)

Nous observons que, dans la zone urbaine principale et à proximité de ces villes, l'accessibilité différentielle est toujours à l'avantage du commerce de proximité. Cependant, à l'ouest (l'une des parties moins denses de la région, caractérisée par habitat individuel et des forts revenus familiaux), nous observons un effet de frontière (une ligne importante avec accessibilités différentiels similaires).

Enfin, nous observons certaines zones de périphérie où la grande surface est plus accessible que le petit commerce de proximité (accessibilité différentielle en faveur du petit commerce inférieure ou égale à 1). Les quatre zones autour de la zone urbaine principale correspondent aux alentours de quatre importants pôles commerciaux périphériques, où la concentration des centres commerciaux de périphérie domine celle des petits commerces de proximité. Les autres zones correspondent aux zones où les commerces de proximité sont en petite quantité et très dispersés, et en raison de la nature péri-urbaine (voire semi-rurale de ces zones), les grandes surfaces sont plus accessibles car les infrastructures routières permettent dans ces zones pour y accéder rapidement en voiture.

### 3.3.4. Apports

Les travaux sur l'accessibilité présentés ci-dessus (Gonzalez-Feliu 2008, 2012b ; Gonzalez-Feliu et Mercier, 2013 ; Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014c) représentent l'une des premières contributions à la définition d'indicateurs d'accessibilité marchandises. D'ailleurs, l'accessibilité de type coût (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014c) est considéré par van Wee (2016) comme l'un des deux premiers travaux fondamentaux sur le sujet. L'auteur insiste aussi sur l'intérêt et potentiel de l'accessibilité marchandise et par des applications pratiques. A ce propos, les indicateurs proposés permettent de soutenir les décisions des différents acteurs

(publics et privés) en termes de priorisation de zones logistiques ou commerciales (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2012a), localisation de plates-formes logistiques urbaines (Boudouin *et al.*, 2014) ou définition de systèmes avancés de transport (Crainic *et al.*, 2010 ; Mancini *et al.*, 2014).

### **3.3.5. Limites et perspectives**

Ces travaux restent néanmoins une première approche sur l'accessibilité marchandise. En d'autres termes, les recherches sur le sujet sont encore dans un état très initial. Bien les indicateurs, méthodes et résultats présentés représentent une nouveauté dans la littérature en accessibilité (comme souligné par van Wee, 2016), ils sont relativement récents et inconnus de la communauté. De plus, ils restent encore peu utilisés au niveau de la recherche. Pour cela, une mise en application dans la plate-forme ANNONA (projet ANR 2013-2017, en cours) est prévue en 2016 avec une application sur la ville de Saint-Etienne.

Une autre limite est celle de la reproductibilité. Bien que théoriquement reproductibles, aucune formulation standard et transférable n'a encore été proposée. Les indicateurs proposés restent exploratoires et nécessitent d'une analyse comparative, sur la base de données standard, afin de produire des indicateurs analogues à ceux de l'accessibilité personnes. Un travail en cours de révision (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2016a) présente les premiers résultats de ces analyses. Par la suite, une transférabilité de ce travail est prévue sur plusieurs cas d'application : à Paris pour les livraisons alimentaires des restaurants administratifs (collaboration avec la Mairie de Paris), à Bogotá en Colombie (collaborations avec l'Universidad Nacional de Colombia) et à Quito et Guayaquil en Equateur (projet DEMOSDUM, initié en mars 2016)

Enfin, il est important d'identifier des liens entre les modèles de génération de déplacements et l'attractivité commerciale, définie comme la réciproque de l'accessibilité en mobilité (Gonzalez-Feliu et Peris-Pla, 2016). Ces liens ont été explorés dans Gonzalez-Feliu *et al.* (2016a) mais l'indicateur défini n'était pas du même ordre que le modèle de génération de déplacements inter-établissements (les objets considérés n'étaient pas analogues). Il l'était par rapport à la génération des déplacements du consommateur final. Pour cela, une nouvelle modélisation de la demande, qui intègre les deux types de déplacements (inter-établissements et du consommateur final) de manière homogène avec le calcul d'accessibilité est en cours, afin de réaliser des modèles solides de génération qui ne nécessitent que le calcul de l'accessibilité sur la base de données standard.

## **4. Conclusions et perspectives**

Les travaux proposés ici contribuent aux avancées dans l'évaluation de la logistique urbaine durable sur quatre principaux éléments : l'identification de tableaux de bord par des méthodes d'aide à la décision de groupe, la systématisation des analyses coûts-avantages dans la simulation de scénarios de logistique urbaine durable, l'introduction d'analyses du cycle de vie dans l'évaluation environnementale de la logistique urbaine et la proposition d'un premier ensemble d'indicateurs d'accessibilité marchandises pour les zones urbaines et périurbaines.

En ce qui concerne les méthodes d'aide à la décision de groupe, l'introduction de cette dimension « groupe » par rapport aux méthodes multi-acteur permet de tenir compte des

interactions entre les membres d'une communauté et du fait qu'un groupe est plus qu'un ensemble d'individus, et donc qu'il faut tenir compte à la fois des intérêts et objectifs individuels que des intérêts collectifs. Ces méthodes étant basées sur l'interaction des acteurs, elles ne sont pas automatisables pour le moment et nécessitent d'une grande quantité de temps et de ressources. De plus, les travaux s'arrêtent pour le moment au choix des indicateurs mais ne prennent pas en compte la priorisation des solutions. Un premier travail a néanmoins été proposé, sur un plan théorique, pour identifier les différences entre les objectifs individuels et collectifs, ainsi que les différents sous-groupes de décision qui peuvent se constituer à l'intérieur du groupe, mais sur la base d'un seul critère, quantifiable et monétarisable (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013a). Une évolution de tous ces travaux est donc d'intégrer les logiques du raisonnement de groupe dans les méthodes d'aide à la décision multicritères, principalement les non-additives, comme ELECTRE ou PROMETHEE, ou de mettre en relation ces logiques dans la méthodologie MAMCA pour l'analyse multi-acteur et multicritère, en le faisant évoluer en analyse multicritères de groupe.

Les deux contributions aux méthodes de calcul d'indicateurs pour l'évaluation de la logistique urbaine durable ont le même dénominateur commun : appliquer des méthodes déjà appliquées dans d'autres domaines mais peu utilisées en logistique urbaine à l'évaluation des systèmes logistiques urbains durables. Dans les deux cas, la contribution porte plus sur la réalisation et validation d'hypothèses, les choix des flux estimés et les estimations de ces flux, ainsi que sur l'interprétation des résultats et les analyses de sensibilité de ces méthodes. Une contribution importante à l'analyse de cycle de vie est aussi la constitution d'une base de données des facteurs de conversion pour estimer les indicateurs d'ACV des véhicules de livraison en régime urbain (principalement pour les véhicules encore peu connus, comme les motorisations électriques et gaz), ainsi que des infrastructures et plates-formes logistiques. Ces méthodes ont été utilisées jusqu'à présent dans des cas spécifiques et un premier travail de généralisation est en cours (Andriankaja *et al.*, 2015c ; Gonzalez-Feliu, 2016). Néanmoins, les relations entre ces méthodes et les modèles proposés en partie 2 restent faibles. En effet, pour le moment, les méthodes d'estimation des indicateurs partent des sorties des modèles et dans certains cas (comme pour les ACA), il est nécessaire de retravailler les résultats des modèles, en ajoutant des simplifications et approximations qui ne seraient pas nécessaires avec une vraie intégration. Cette intégration des méthodes de calcul d'indicateurs et analyses pour l'évaluation dans la modélisation des flux (ou en interaction directe et interopérable avec ces modèles) est l'une des pistes principales de recherche dans le sujet, et fait l'objet des travaux actuels du projet ANNONA.

Enfin, la proposition d'indicateurs d'accessibilité vient de l'absence de prise en compte des marchandises dans les analyses d'accessibilité (peu de travaux avant ceux proposés ci-dessus traitent de ce sujet), mais il s'avère que dans la pratique nous constatons le besoin d'avoir ce type d'indicateurs (van Wee, 2016). Ces travaux constituent donc un premier pas vers la systématisation des analyses d'accessibilité marchandises. Néanmoins, ils restent préliminaires et méritent d'être approfondis sur deux principaux aspects : le premier est celui de la relation entre les indicateurs et la génération de déplacements de marchandises (et donc le lien entre l'accessibilité et les modèles d'offre et de demande, pour tous les flux de logistique urbaine) ;



le deuxième est celui de la définition d'indicateurs d'attractivité du territoire, sur la même base des indicateurs d'accessibilité. En effet, l'accessibilité est en général définie à l'origine des déplacements tandis que l'attractivité serait définie à destination. Un premier travail sur l'attractivité commerciale est en cours (Gonzalez-Feliu et Peris-Pla, 2016). De nouvelles approches et une analyse conjointe attractivité-accessibilité font partie des prochains développements en projet.

## 5. Tableau récapitulatif

N°	Article	Apport principal	Limites
1	Andriankaja, D., Gondran, N., Gonzalez-Feliu, J. (2015), Assessing the environmental impacts of different IPSS deployment scenarios for the light commercial vehicle industry. <i>Procedia CIRP</i> , vol. 30, pp. 281-286.	Application de la méthodologie ACV d'évaluation environnementale à la simulation de scénarios de collaboration	La méthodologie ACV reste préliminaire et doit être approfondie
2	Andriankaja, D., Gondran, N., Gonzalez-Feliu, J. (2015), Evaluation environnementale des organisations de la logistique urbaine par une approche d'analyse du cycle de vie : application sur le CDU de Saint-Etienne, <i>Logistique &amp; Management</i> , vol. 23, n° 1, pp. 51-69.	Première méthodologie ACV pour l'évaluation environnementale d'expérimentations de logistique urbaine	La méthode est appliquée à un cas concret, besoin d'étudier une éventuelle généralisation
3	Gonzalez-Feliu, J., Salanova Grau, J.M., Beziat, A. (2014), A location-based accessibility analysis to estimate the suitability of urban consolidation facilities, <i>International Journal of Urban Sciences</i> , vol. 18, n.2, pp. 166-185.	Indicateur d'accessibilité de type coût avec méthodologie de calcul et d'analyse	L'indicateur est dépendant de l'algorithme utilisé
4	Gonzalez-Feliu, J., Taniguchi, E., Faivre d'Arcier, B. (2014), Financing Urban Logistics Projects. From Public Utility to Public-Private Partnerships. In Gonzalez-Feliu J., Semet, F., Routhier, J.L. (eds.), <i>Sustainable urban logistics: concepts, methods and information systems</i> , Springer, Heidelberg, pp. 245-264.	Méthodologie d'analyse coûts-avantages avec application en simulation de scénarios	La méthode ACA reste à être articulée avec les modèles d'estimation d'offre et de demande
5	Gonzalez-Feliu, J., Basck, P., Morganti, E. (2013), Urban logistics solutions and financing mechanisms: a scenario assessment analysis, <i>European Transport/Trasporti Europei</i> , vol. 54, Paper n. 11, pp. 1-16.	Méthodologie d'analyse coûts-avantages avec application en simulation de scénarios	La méthode ACA reste à être articulée avec les modèles d'estimation d'offre et de demande
6	Gonzalez-Feliu, J. (2012), Freight distribution systems with cross-docking: a multidisciplinary analysis, <i>Journal of the Transportation Research Forum</i> , vol. 51, n. 1, pp. 93-109.	Indicateurs d'accessibilité marchandises et analyses de souhaitabilité de l'utilisation de systèmes de transport à deux niveaux	L'indicateur dépend de l'estimation de la demande. Un indicateur lié à des données standards seulement pourrait être estimée

## Conclusion générale

La logistique urbaine durable est un sujet d'actualité qui intéresse non seulement les chercheurs mais aussi les praticiens. Néanmoins, le manque d'unification et la diversité d'approches et de méthodes rendent difficile l'accompagnement et l'aide à la décision des différents acteurs de la logistique urbaine. De plus, les liens de la logistique avec le territoire sont souvent peu mis en avant, mais la logistique peut être aussi un atout pour le développement des territoires.

Le présent mémoire vise à apporter une vision univoque de la logistique urbaine durable, en proposant de définir un cadre d'analyse des déterminants de cette logistique urbaine durable. Il synthétise environ dix ans de travaux sur le sujet en proposant les principaux apports à cette thématique. Ce mémoire se propose de définir un cadre de recherche et d'analyse unifié de la logistique urbaine durable qui tienne compte de la diversité d'acteurs, de territoires et de pratiques, sans prendre part pour une vision ou pour une autre.

La première partie du mémoire propose une mise en contexte ainsi qu'un ensemble de définitions permettant de donner un premier cadre unifié pour comprendre et analyser la logistique urbaine durable. La mise en évidence des difficultés de quantification et de qualification de la logistique urbaine durable porte donc sur le besoin de proposer un cadre de recherche et d'analyse qui soit unifié et compréhensible pour les différents acteurs impliqués. Pour cela, le présent mémoire propose une définition de la logistique urbaine, les acteurs impliqués et les différentes composantes et déterminants d'une logistique urbaine durable.

Ensuite, et afin d'unifier l'aide à la décision, ce mémoire propose une unification de la méthodologie d'analyse avant après, en étendant l'usage classique (pour l'évaluation *ex-post*) à la simulation de scénarios (et donc à la simulation *ex-ante*).

De cette analyse avant après, deux principales phases sont visées dans la suite du mémoire. La première est la production de données pour construire et simuler des scénarios, ou reconstruire des données manquantes pour des situations existantes (partie 2). Les trois apports de cette partie visent à réaliser une simulation intégrée offre-demande de l'ensemble des flux de la logistique urbaine, avec des données et méthodes différentes mais en proposant des simulations qui soient comparables avec des sorties homogènes. Aujourd'hui, la génération de la demande de déplacements inter-établissements et du consommateur final peut se réaliser, en utilisant les modèles proposés, de façon à en assurer la comparabilité (Houwanou et al., 2016). Nous proposons aussi deux grandes catégories de méthodes pour l'estimation de l'offre : l'une basée sur la problématisation de solutions (Ackoff, 1977) avec des méthodes de la recherche opérationnelle, et l'autre plus empirique (Morana *et al.*, 2014 ; Morana et Gonzalez-Feliu 2014). Dans les deux cas, il est important de mettre en relation l'offre et la demande (Gonzalez-Feliu *et al.*, 2013d, 2014c, Gonzalez-Feliu et Battaia, 2014) afin de s'assurer de la pertinence des méthodes d'estimation de l'offre proposées ainsi que de l'homogénéité et de la compatibilité des deux catégories de méthodes (offre et demande) pour une simulation de scénarios ou reconstitution des données. Enfin, des exemples d'application sont proposés et montrent l'utilité de ces méthodes et leurs possibilités d'utilisation.

Néanmoins, bien que plusieurs avancées dans cette modélisation aient été proposées, la modélisation intégrée des trois catégories de flux avec une interaction offre-demande reste encore en cours de développement. En effet, l'interaction entre modèles de la recherche opérationnelle et procédures empiriques reste à réaliser (pour améliorer la qualité des modèles ainsi que leur pertinence, en combinant les deux approches) et les flux de la gestion urbaine restent encore exclus de la modélisation. De plus, le manque de données d'entrée entraîne une difficulté à modéliser les tournées urbaines, et des méthodes plus robustes pourraient être issues de cette combinaison de méthodes analytiques (recherche opérationnelle) et empiriques pour estimer l'offre, avec une interaction avec la demande (*i.e.* intégrer l'estimation de la demande à celle de l'offre). Une piste de recherche qui est en ce moment dans ses débuts (avec l'encadrement de la thèse de Laura Palacios) est celle de cette modélisation qui combine plusieurs types de méthodes et intègre en un seul modèle l'offre et la demande. Une autre piste de recherche qui, quant à elle, reste dans un stade conceptuel, porte sur la modélisation des flux de la gestion urbaine. Cette recherche pourra se réaliser autour d'un projet de collaboration avec un bureau d'études du BTP (projet déposé, en attente de réponse) ainsi que par la collaboration avec des collègues de mon équipe qui travaillent sur la gestion durable des déchets urbains (qui sont sur des approches d'évaluation mais pas forcément de modélisation).

Le deuxième ensemble de contributions porte sur l'apport de ces recherches à l'évaluation de la logistique urbaine durable. Ces travaux sont regroupés en trois principales contributions. La première est celle de l'adaptation des analyses coûts avantages (ACA) à la logistique urbaine. Les principales contributions à la littérature ont été l'adaptation de ces méthodes pour la simulation de scénarios et pour la recherche de situations de rentabilité économique ; d'autre part, l'introduction d'une méthode de monétarisation réelle des impacts indirects (*i.e.* l'identification des impacts qui résultent en gains monétaires indirects et en général non quantifiés mais quantifiables) permet de trouver d'autres conditions de rentabilité ou de justifier la mobilisation de fonds publics pour aider la mise en place de solutions de logistique urbaine durable. Ces méthodes pourraient être complétées par une méthode d'évaluation environnementale afin de quantifier le coût de la durabilité, *i.e.* en quoi un gain unitaire (ou de référence) en émissions de polluants représente un surcoût. Pour cela, nous avons adapté l'analyse de cycle de vie (ACV) à la logistique urbaine, en proposant une méthodologie de quantification des impacts environnementaux du service de transport de marchandises. Les principales contributions ont été la définition de l'unité fonctionnelle, le développement d'une méthode de calcul qui puisse s'interfacer tant à la simulation de scénarios qu'à l'évaluation à partir de mesures, et la mise en lien avec ces méthodes d'estimation des flux.

La troisième contribution de cette partie est un premier pas vers la proposition d'indicateurs mettant en relation la planification du territoire et la logistique, et principalement mettant en avant les impacts d'une configuration territoriale sur l'accessibilité et l'attractivité des biens (et non des personnes). Ces indicateurs étant très utilisés dans le transport de personnes, ils sont rares lorsqu'on examine le transport de marchandises. La principale contribution de ces travaux a donc été d'introduire dans la communauté internationale un premier jeu d'indicateurs d'accessibilité et d'attractivité spécifiques à la logistique urbaine : en effet, ces indicateurs tiennent compte de la nature du transport urbain de marchandises (véhicules de différente taille

et organisation en tournées) et se présente sous la forme d'un indicateur de temps. Une autre contribution a été celle d'adapter les indicateurs gravitaires pour définir principalement l'attractivité commerciale et l'accessibilité aux lieux d'achat, en considérant à la fois le transport de marchandises pour approvisionner les commerces urbains et celui des personnes qui vont réaliser des achats puis les transporter avec leur propre véhicule jusqu'au lieu de consommation.

La limite principale de ces trois groupes de contributions réside dans le fait que ces travaux ont été réalisés indépendamment les uns des autres et aussi qu'ils ne sont pas pour le moment directement liés aux méthodes de simulation et d'estimation des flux. Bien qu'un premier pas a été fait pour l'ACA en adaptant son calcul aux méthodes de simulation existantes et présentées en partie 2, la connexion entre ces trois méthodes et l'estimation des flux doit se faire de façon conjointe. En d'autres termes, dans la construction des méthodes d'estimation des flux il est nécessaire de tenir compte des besoins des méthodes d'évaluation. D'autre part, dans la construction de ces méthodes d'évaluation, il est important de tenir compte du type de données de sortie des estimations des flux afin d'augmenter la compatibilité entre ces méthodes. Un travail en cours (Gonzalez-Feliu et Peris-Pla, 2014 ; Gonzalez-Feliu et Peris-Pla, 2017) porte sur le lien entre l'attractivité commerciale et la génération de marchandises et permettra d'avoir une méthode d'estimation des tournées qui produise à la fois des indicateurs d'attractivité et des flux de transport de marchandises (inter-établissements et du consommateur final). De plus, et dans le contexte du projet ANNONA, une intégration de toutes ces méthodes dans une plateforme modulaire permettra d'avoir un premier outil d'aide à la décision qui permet à toutes ces méthodes d'interagir.

En conclusion, la logistique urbaine durable commence à devenir un sujet univoque et des méthodologies unifiées et acceptées par les communautés scientifiques et de pratiques. Les contributions présentées dans ce mémoire ont permis d'alimenter cette réflexion et cette unification (et ont contribué au premier ouvrage sur le sujet de la logistique urbaine durable, Gonzalez-Feliu *et al.*, 2014e<sup>21</sup>). Il reste néanmoins encore beaucoup à faire. Pour cela, nous énonçons les principales pistes de recherche qui nous semblent fondamentales pour poursuivre ou compléter les travaux proposés dans ce mémoire.

La première piste de recherche porte sur les méthodes de modélisation de la logistique urbaine. Ce sujet, très populaire, reste néanmoins à un stade où de nouveaux développements sont proposés régulièrement. Néanmoins, la modélisation intégrée de l'offre et de la demande de logistique urbaine reste très peu explorée, mais présente un potentiel important, par son apport scientifique (la mise en relation de l'offre et de la demande nécessite de développements scientifiques spécifiques et implique des groupes de chercheurs de disciplines et visions différentes). De plus, la modélisation conjointe des différents flux logistiques doit se faire avec

---

<sup>21</sup> Bien que plusieurs auteurs aient écrit ou coordonné des ouvrages sur la logistique urbaine (Taniguchi et al., 2001 ; Patier, 2002 ; Spinedi, 2008 ; Maggi, 2009 ; Macharis et Melo, 2011 ; Taniguchi et Thompson, 2015), ils n'abordent pas la durabilité dans sa globalité mais restent essentiellement focalisés sur les aspects environnementaux ou organisationnels. Les aspects de rentabilité économique et d'impacts sociaux, ainsi que la vision d'une durabilité globale, sont très peu abordés dans ces ouvrages.

une vision d'aide à la décision et donc en lien avec les méthodes d'évaluation économique et environnementale. Le travail de Sonagnon Howanou<sup>22</sup>, en thèse depuis octobre 2015, sera une première contribution à ce modèle intégré à la fois en termes d'offre et de demande, de flux et de liens avec l'évaluation économique et environnementale (Houwanou *et al.*, 2016). Enfin, la modélisation de nouvelles organisations logistiques et leur relation au territoire urbain est aussi un sujet majeur, notamment dans le cadre de l'application du concept d'internet physique (Ballot et Montreuil, 2014 ; Sarraj et al., 2014) à la logistique urbaine, idée théorisée par Crainic et Montreuil (2016) mais dont des scénarios d'une future ville approvisionnée par des systèmes de ce type restent à simuler et évaluer et une évolution logique des méthodes présentées ici pourrait être proposée à ce propos.

Un autre sujet très lié aux attentes des acteurs territoriaux est la logistique urbaine alimentaire. Les agglomérations parisienne, lyonnaise et stéphanoise (entre autres) développent actuellement des plans d'alimentation durable qui passent par une meilleure gestion des chaînes logistiques, tout en valorisant et respectant les dynamiques territoriales. De plus, l'alimentation durable des territoires est un sujet porteur en Amérique latine<sup>23</sup>. Aujourd'hui, la quantification et modélisation de la logistique urbaine propose des approches liées au transport de biens non périssables (principalement de la messagerie, du petit colis en B2B ou B2C ou du transport en compte propre). Le transport alimentaire n'est pas souvent analysé en détail au niveau des analyses urbaines, mais différents groupes de recherche commencent à s'y intéresser. La deuxième piste de recherche est celle de la modélisation des schémas logistiques alimentaires urbains, mais aussi l'évolution des méthodes d'évaluation économique et environnementale pour tenir compte des spécificités de ce secteur. La thèse de Laura Palacios<sup>24</sup> sera une première contribution à cette vision générale de modélisation et évaluation du transport urbain alimentaire.

La troisième piste de recherche porte sur l'évaluation et la mise en application des méthodes d'aide à la décision. La phase finale du projet ANNONA portera sur le déploiement et la validation de la plate-forme d'aide à la décision pour la planification de solutions innovantes de logistique urbaine. Un projet de mobilité en Suède (lié à la thèse de Laura Palacios) a été récemment accepté et sera exécuté en printemps 2017, ce qui alimentera la collaboration actuelle avec l'Université de Chalmers afin d'unifier, à niveau européen, la vision d'évaluation du changement et les différentes méthodes de simulation des scénarios. La validation de l'applicabilité de ces méthodes devra néanmoins impliquer une recherche qualitative (retour d'expérience, focus groups, etc.) afin de pouvoir capter les avantages, mais aussi les limites, de l'utilisation et du déploiement de ce type d'outils et les réticences à son égard.

---

<sup>22</sup> Doctorant inscrit à l'École des Mines de Saint-Etienne, en co-encadrement avec Natacha Gondran.

<sup>23</sup> Collaborations actuelles avec l'Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (Colombie) et l'Universidad de Lima (Pérou).

<sup>24</sup> Doctorante en co-tutelle Ecole des Mines de Saint-Etienne et Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. De plus, cette thématique a fait l'objet d'un projet de recherche Colombien en cours ainsi que de deux propositions de projet de recherche (un en France et l'autre au Pérou) déposées en 2016 et en attente de réponse.

Quoi qu'il en soit, la logistique urbaine durable ne semble plus une contrainte mais une opportunité pour les différents acteurs. Ce n'est qu'avec un accompagnement scientifique, objectif et qui tienne compte des différents acteurs et enjeux de la logistique urbaine que ces acteurs pourront déployer des solutions durables de logistique urbaine. Pour cela, le rôle de la recherche ne sera pas de se substituer aux décisions de ces acteurs mais de leur rendre la compréhension de la logistique urbaine plus simple, de manière aussi à mettre à leur disposition des éléments nécessaires à la réalisation d'une comparaison quantitative entre les différentes actions de logistique urbaine, ainsi qu'un référentiel et une méthodologie de calcul d'indicateurs leur permettant de quantifier et mesurer cette comparaison.





## Références

- [1] Abdelhai, L. (2013). Analyse des impacts de la mutualisation sur les organisations logistiques existantes. Mémoire de Master, Université Lyon 2.
- [2] Ackoff, R. L. (1977). Optimization+ objectivity= optout. *European Journal of Operational Research*, 1(1), 1-7.
- [3] ADEME (2006c). *Eco-conception en actions*. 2ème édition. ADEME, Paris.
- [4] Aditjandra, P. T., Galatioto, F., Bell, M. C., & Zunder, T. H. (2016). Evaluating the impacts of urban freight traffic: application of micro-simulation at a large establishment. *European Journal of Transport & Infrastructure Research*, 16(1), 4-22.
- [5] AFNOR (2012). *Analyse du cycle de vie - La série des normes ISO 14040*. Paris : Afnor éditions.
- [6] Aifandopoulou G., Salanova J.M., Mitsakis E., Zubillaga F., Lekuona G., Papanikolau A. (2012) FREILOT. Urban Freight Energy Efficiency Pilot. D.FL.6.3. Barriers for FREILOT deployment. Ertico – ITS Europe, Brussels.
- [7] Albergel, A., Ségalou, E., Routhier, J. L., & De Rham, C. (2006). *Mise en place d'une méthodologie pour un bilan environnemental physique du transport de marchandises en ville*. ADEME, Paris.
- [8] Alho, A., & de Abreu e Silva, J. (2014). Freight-Trip Generation Model: Predicting Urban Freight Weekly Parking Demand from Retail Establishment Characteristics. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2411), 45-54.
- [9] Alho, A., & de Abreu e Silva, J. (2015). Modeling commercial establishments' freight trip generation: a two-step approach to predict weekly deliveries in total of vehicles. In Transportation Research Board 94th Annual Meeting (No. 15-1087).
- [10] Allen, J., Ambrosini, C., Browne, M., Patier, D., Routhier, J. L., & Woodburn, A. (2014a). Data Collection for Understanding Urban Goods Movement. In Gonzalez-Feliu, J., Semet, F., Routhier, J.L. (eds.) *Sustainable Urban Logistics: Concepts, Methods and Information Systems* (pp. 71-89). Springer, Heidelberg.
- [11] Allen, J., Browne, M., & Cherrett, T. (2012a). Survey techniques in urban freight transport studies. *Transport Reviews*, 32(3), 287-311.
- [12] Allen, J., Browne, M., Woodburn, A., & Leonardi, J. (2012b). The role of urban consolidation centres in sustainable freight transport. *Transport Reviews*, 32(4), 473-490.
- [13] Allen, J., Browne, M., Woodburn, A., & Leonardi, J. (2014, January). A review of urban consolidation centres in the supply chain based on a case study approach. *Supply Chain Forum: an international journal*, 15 (4), 100-112.
- [14] Alligier, L. (2007). Mesurer l'impact du commerce électronique sur la logistique urbaine. Thèse de doctorat, Université Lyon 2.
- [15] Ambrosini, C., Bossin, P., Durand, S., Gelas, P., Le Nir, M., Patier, D., Routhier, J.L., (1996), Transport de marchandises en ville : Enquête quantitative réalisée à Bordeaux. Rapport final, MELT-DRAST-LET, Paris, France.
- [16] Ambrosini, C., Meimbresse, B., Routhier, J.L., & Sonntag, H. (2008). Urban freight policy-oriented modelling in Europe. In Taniguchi, E., Thompson, R.G. (eds.) *Innovations in City Logistics* (pp. 197-212). Nova Science Publishing, New York.

- [17] Ambrosini, C., Patier D., Routhier, J.L, (1999a), Transport de marchandises en ville - Résultats de l'enquête quantitative réalisée à Dijon. Rapport final, MELT-DRAST-LET, Paris, France.
- [18] Ambrosini, C., Patier D., Routhier, J.L, (1999b), Transport de marchandises en ville - Résultats de l'enquête quantitative réalisée à Dijon. Rapport final, MELT-DRAST-LET, Paris, France.
- [19] Ambrosini, C., Patier, D., & Routhier, J. L. (2010). Urban freight establishment and tour based surveys for policy oriented modelling. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 6013-6026.
- [20] Anand, N., Quak, H., van Duin, R., & Tavasszy, L. (2012). City logistics modeling efforts: Trends and gaps-A review. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 39, 101-115.
- [21] Anand, N., Van Duin, R., Quak, H., & Tavasszy, L. (2015). Relevance of city logistics modelling efforts: a review. *Transport Reviews*, 35(6), 701-719.
- [22] Anderson, S., Allen, J., & Browne, M. (2005). Urban logistics—how can it meet policy makers' sustainability objectives?. *Journal of transport geography*, 13(1), 71-81.
- [23] André, M. (2004). The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions. *Science of the total Environment*, 334, 73-84.
- [24] Andriankaja, D. (2016), Evaluation environnementale de la logistique urbaine, projet ANNONA. Rapport final du travail réalisée dans le cadre du Post-Doc de Dina Andriankaja (nov 2014-oct 2015), Institut H. Fayol, Ecole des Mines de Saint- Etienne.
- [25] Andriankaja, D., Gondran, N., & Gonzalez-Feliu, J. (2015a). Assessing the environmental impacts of different IPSS deployment scenarios for the light commercial vehicle industry. *Procedia CIRP*, 30, 281-286.
- [26] Andriankaja, D., Gondran, N., & Gonzalez-Feliu, J. (2015b). Evaluation environnementale d'un centre de distribution urbaine par une approche d'ACV. *Logistique & Management*, 23, 51-69.
- [27] Andriankaja, D., Gondran, N., Morganti, E., & Gonzalez-Feliu, J. (2015c). An environmental assessment of urban logistics solutions based on life cycle assessment approach: application to the UDC of Saint-Etienne. 6<sup>th</sup> METRANS International Urban Freight Conference (I-NUF), Long Beach (Etats-Unis), 21-23 Octobre.
- [28] Armand, P., Evrard-Samuel, K., & Cung, V. D. (2013). Logistique urbaine: une création de valeur par des partenariats multi-acteurs. *Revue Française de Gestion Industrielle*, 32 (4), 53-72.
- [29] Arndt, W.H., Beckmann, K.J., Gies, J., Gonzalez-Feliu, J., eds. (2013), *Städtischer Wirtschaftsverkehr - Commercial/Goods Transportation in Urban Areas - Transports Commerciaux/Marchandises en Ville. Dokumentation der Internationalen Konferenz 2012 in Berlin*, Deutsches Institut für Urbanistik, Difu Impulse 2013/3, Berlin, Germany.
- [30] Aspinall, R. (1992). An inductive modelling procedure based on Bayes' theorem for analysis of pattern in spatial data. *International Journal of Geographical Information Systems*, 6(2), 105-121.
- [31] Athiyaman, A. (2011). Location decision making: the case of retail service development in a closed population. *Academy of Marketing Studies Journal*, 15(1), 87.

- [32] Aubert, P.L., & Routhier, J.L. (1999), Freturb: Un modèle de simulation des transports de marchandises en ville. In *Transport Modes and Systems: Proc., 8th World Conf. on Transport Research* (Vol. 1). Pergamon, Amsterdam, 531-544.
- [33] Augereau V., Curien, R., & Dablanc, L. (2009). Les relais-livraison dans la logistique du e-commerce, l'émergence de deux modèles. *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, 55, 63-95.
- [34] Augereau, V., & Dablanc, L. (2008). An evaluation of recent pick-up point experiments in European cities: the rise of two competing models. *Innovations in City Logistics*. Nova Science, New York, 301-320.
- [35] Ayadi, A. (2014). Vers une organisation globale durable de l'approvisionnement des ménages : Bilans économiques et environnementaux de différentes chaînes de distribution classiques et émergentes depuis l'entrepôt du fournisseur jusqu'au domicile du ménage. Thèse de doctorat, Université Lyon 2.
- [36] 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*, 20(4), 267-290.
- [37] Ballot, E., & Montreuil, B. (2014). *L'internet physique*. La Documentation Française.
- [38] Banister, D. (2008). The big smoke: Congestion charging and the environment. *Road Congestion Pricing in Europe: Implications for the United States, Northampton, Mass.: Edward Elgar*, 176-197.
- [39] Bardin, I., Moesch, E. (2013). Systèmes de portages d'achat en centre ville : étude terrain. *Revue Française de Gestion Industrielle*, 32 (4), 109-136.
- [40] Barone, V., Crocco, F., & Mongelli, D. W. (2014b). Models of choice between shopping and e-shopping. *Applied Mechanics and Materials*, 442, 607-616.
- [41] Battaia, G., Faure, L., Marquès, G., Guillaume, R., & Montoya-Torres, J. R. (2014, January). A Methodology to Anticipate the Activity Level of Collaborative Networks: The Case of Urban Consolidation. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 15 (4), pp. 70-82.
- [42] Beauvais, J. M., (2005). Evolution du commerce et utilisation de la voiture. Distribution des biens de consommation et usage de la voiture particulière pour motif achats dans les agglomérations françaises. Rapport final, Beauvais Consultants, Tours.
- [43] Behrends S., Lindholm M., & Woxenius J. (2008). The Impact of Urban Freight Transport: A Definition of Sustainability from an Actor's Perspective, *Transportation Planning and Technology*, 31 (6), 693-713.
- [44] Belin-Munier, C. (2010). Logistique, Supply Chain Management et stratégie orientée développement durable: une revue de la littérature. *Logistique & Management*, 18(1), 29-44.
- [45] Belin-Munier, C. (2013). Stratégie du e-commerçant, accessibilité du produit et logistique urbaine. *Revue Française de Gestion Industrielle*, 32 (4), 7-28.
- [46] Belin-Munier, C. (2015). La mutualisation logistique à la lumière des pratiques dans le secteur de l'édition. *Revue Française de Gestion Industrielle*, 34 (1), 7-24.
- [47] Ben-Akiva, M., & Lerman, S. R. (1979). Disaggregate travel and mobility choice models and measures of accessibility. *Behavioural travel modelling*, 654-679.

- [48] BESTUFS (2009). *BESTUFS II Bibliografic Overview*. Final DVD rom. Bestufs, Rijswijk.
- [49] Blanco, R., Garcia, E., Gonzalez-Feliu, J., Pluvinet, P., Gardrat, M., Sartre, V., Salanova J.M., & Koenders, E. (2012), FREILOT. Urban Freight Energy Efficiency Pilot. D.FL.4.2. Final Evaluation Report. Ertico – ITS Europe, Brussels.
- [50] Blanquart, C., & Carbone, V. (2014). Collaborative Supply Chains and Environmental Awareness: A Typology in Terms of Proximity. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 15 (4), 28-41.
- [51] Boerkamps, J., & van Binsbergen, A. (1999). Goodtrip – a new approach for modelling and evaluating urban goods distribution. In Taniguchi, E., Thompson, R.G. (eds.), *City Logistics I, Institute for City Logistics*, Kyoto, 241-254.
- [52] Bonnafous, A. (2001) Les marchandises en ville : le problème méthodologique de l'appréhension statistique. In Patier-Marque, D. (ed.), *L'intégration des marchandises en ville dans le système des déplacements urbains* (pp. 85-92). Etudes et Recherches LET n°15, Laboratoire d'Economie des Transports, Lyon.
- [53] Bonnafous, A., & Faivre d'Arcier, B. (2013). The conditions of efficiency of a PPP for public finances. In *Selected proceedings of the 13th World Conference on Transport Research, Rio de Janeiro, Brazil, 14th-18th July*. WCTRS, Leeds.
- [54] Bonnafous, A., Gonzalez-Feliu, J., & Routhier, J. L. (2013). An alternative UGM paradigm to OD matrices: the FRETURB model. In *Selected proceedings of the 13th World Conference on Transport Research, Rio de Janeiro, Brazil, 14th-18th July*. WCTRS, Leeds.
- [55] Bonnafous, A., Patier, D., Routhier, J. L., Toilier, F., & Serouge, M. (2016). French surveys of the delivery approach: from cross-section to diachronic analyses. *Transportation Research Procedia*, 12, 181-192.
- [56] Boone J.L., Myers J.E., Redman C.L. (1990) Archeological and historical approaches to complex societies: the Islamic states of Medieval Morocco. *American Anthropologist* 92(3), 630-646.
- [57] Boudouin D., (2006). *Les espaces logistiques urbains. Guide Méthodologique*. La documentation française, Paris 2006, 112 p.
- [58] Boudouin, D., & Morel, C. (2002). *L'optimisation de la circulation des biens et services en ville: logistique urbaine: Programme national" marchandises en ville"*. La documentation française, Paris.
- [59] Boudouin, D., & Morel, C. (2015). Mutualisation logistique et plates-formes logistiques urbaines. *Revue Française de Gestion Industrielle*, 34 (1), 25-44.
- [60] Boudouin, D., Morel, C., & Gardrat, M. (2014). Supply chains and urban logistics platforms. In Gonzalez-Feliu, J., Semet, F., Routhier, J.L. (eds.). *Sustainable urban logistics: Concepts, methods and information systems* (pp. 1-20). Springer, Heidelberg.
- [61] Boudouin, D., Morel, C., & Sirjean, S. (2013). Logistique urbaine : mal nécessaire ou levier de développement de la ville ? In Fabbe-Costes, N., Paché, G. (éds.) *La logistique, une approche innovante des organisations*. Presses Universitaires de Provence, Aix-en-Provence.
- [62] Bowen, J. T. (2008). Moving places: the geography of warehousing in the US. *Journal of Transport Geography*, 16(6), 379-387.

- [63] Britnell R.H. (1995), *A Commercialising economy: England 1086 to C. 1300*. Manchester University Press, Manchester.
- [64] Browne, M., Sweet, M., Woodburn, A., & Allen, J. (2005). Urban freight consolidation centres final report. Transport Studies Group, University of Westminster, 10.
- [65] Burns, L.D. (1979). *Transportation, Temporal and Spatial Components of Accessibility*. Lexington Books, Lexington-Toronto.
- [66] Capo, C., & Chanut, O. (2013). Le concept de proximité comme source de différenciation: proposition d'une grille de lecture des positionnements voulus des distributeurs français. *Logistique & Management*, 21(1), 7-18.
- [67] Capo, C., & Chanut, O. (2015). Clusterisation territoriale de la logistique urbaine par le levier de la proximité. *Logistique & Management*, 23(1), 31-50.
- [68] Cascetta, E. (1984). Estimation of trip matrices from traffic counts and survey data: a generalized least squares estimator. *Transportation Research Part B: Methodological*, 18(4-5), 289-299.
- [69] Cattaruzza, D., Absi, N., Feillet, D., & Gonzalez-Feliu, J. (2015). Vehicle routing problems for city logistics. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, accepté pour publication.
- [70] Cattaruzza, D., Absi, N., Feillet, D., & Vidal, T. (2014). A memetic algorithm for the multi trip vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 236(3), 833-848.
- [71] Chanut, O., Paché, G., & Wagenhausen, F. (2012). Logistique urbaine: refonder les logiques d'intermédiation. *Management & Avenir*, (1), 186-207.
- [72] Chesterton, K., Goodsman, R., Rosenhead, J., & Thunhurst, C. (1975). A comment on Ackoff's "The social responsibility of operational research". *Operational Research Quarterly (1970-1977)*, 26(1), 91-95.
- [73] Chiabaut, N., Lopez, C., & Leclercq, L. (2016). Evaluation of the Performance of an Urban Freight System Using a Multi-use-Lane Arterial. In *Transportation Research Board 95th Annual Meeting* (No. 16-0167).
- [74] Christofides, N., & Eilon, S. (1969). An algorithm for the vehicle-dispatching problem. *Journal of the Operational Research Society*, 20(3), 309-318.
- [75] Christopher, M. (2000). The agile supply chain: competing in volatile markets. *Industrial marketing management*, 29(1), 37-44.
- [76] Ciroth, A., Winter, S., & Berlin, G. (2014). *OpenLCA 1.4 overview and first steps*. OpenLCA.
- [77] Combes, F. (2016). A theoretical analysis of the cost structure of urban logistics. *Proceedings of the 6th International Conference in Informations Systems, Logistics and Supply Chain*, Bordeaux, France, June 1-4, 2016, Kedge Business School, Bordeaux, ISBN 978-2-9539787-3-5.
- [78] Comi, A., & Conte, E. (2011). A modeling system for estimating freight quantities attracted by cities. In Pratelli, A., Brebbia, C. (eds.) *Urban Transport XVII: Urban Transport and the Environment in the 21st Century* (pp. 423-434). WIT press, Southampton.
- [79] Comi, A., & Rosati, L. (2013). CLASS: A city logistics analysis and simulation support system. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 87, 321-337.

- [80] Comi, A., & Rosati, L. (2015). CLASS: A DSS for the Analysis and the Simulation of Urban Freight Systems. *Transportation Research Procedia*, 5, 132-144.
- [81] Comi, A., Delle Site, P., Filippi, F., & Nuzzolo, A. (2012). Urban freight transport demand modelling: A state of the art. *European Transport/Trasporti Europei*, 51 (7), 1-17.
- [82] Comité National Routier (2012). *Evolution du prix du gazole et incidence sur le prix de revient. Situation au 30 juillet 2012*, Comité National Routier, Paris, France
- [83] Cordeau, J. F., Laporte, G., & Mercier, A. (2001). A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows. *Journal of the Operational research society*, 52(8), 928-936.
- [84] COST 321 (1998). *Urban Goods Transport, Final report of the action*. European Commission Publications, Bruxelles, ISBN 92-828-4572-9.
- [85] Crainic, T. G. (2000). Service network design in freight transportation. *European Journal of Operational Research*, 122, 272-288.
- [86] Crainic, T. G., & Laporte, G. (1997). Planning models for freight transportation. *European Journal of Operational Research*, 97(3), 409-438.
- [87] Crainic, T. G., & Montreuil, B. (2016). Physical Internet Enabled Hyperconnected City Logistics. *Transportation Research Procedia*, 12, 383-398.
- [88] Crainic, T. G., Mancini, S., Perboli, G., & Tadei, R. (2012). Impact of generalized travel costs on satellite location in the two-echelon vehicle routing problem. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 39, 195-204.
- [89] Crainic, T. G., Perboli, G., Mancini, S., & Tadei, R. (2010). Two-echelon vehicle routing problem: a satellite location analysis. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 5944-5955.
- [90] Crainic, T. G., Ricciardi, N., & Storchi, G. (2004). Advanced freight transportation systems for congested urban areas. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 12(2), 119-137.
- [91] Crainic, T. G., Ricciardi, N., & Storchi, G. (2009). Models for evaluating and planning city logistics systems. *Transportation science*, 43(4), 432-454.
- [92] Crainic, T.G. (2008). City Logistics. In Chen, Z. L. & Raghavan, S. (eds.), *Tutorials in Operations Research 2008. State-of-the-Art Decision Making Tools in the Information-Intensive Age* (pp. 181-212). INFORMS.
- [93] Crocco, F., De Marco, S., Iaquina, P., & Mongelli, D. W. (2010). Freight transport in urban areas: An integrated system of models to simulate freight demand and passengers demand for purchase trips. *International Journal of Mathematical models and methods in applied sciences*, 4(4), 295-273.
- [94] Cubukcu, K. M. (2001). Factors affecting shopping trip generation rates in metropolitan areas. *Studies in Regional and Urban Planning*, 9, 51-68.
- [95] Dablanc L. (1998). *Le transport de marchandises en ville : une gestion publique entre police et service*. Editions Liaisons, Paris, 182 p.
- [96] Dablanc, L. (2008). Urban goods movement and air quality policy and regulation issues in European cities. *Journal of Environmental Law*, 20(2), 245-266.

- [97] Dablanc, L. (2014). Logistics sprawl and urban freight planning issues in a major gateway city. In Gonzalez-Feliu, J., Semet, F., Routhier, J.L. (eds.) *Sustainable urban logistics: Concepts, methods and information systems* (pp. 49-69). Springer, Heidelberg.
- [98] Dablanc, L., & Andrianakaja, D. (2011). Desserrement logistique en Île-de-France: la fuite silencieuse en banlieue des terminaux de fret. *Flux*, (3), 72-88.
- [99] Dablanc, L., & Massé, F. (1996). Les centres de distribution urbaine: un tableau comparatif. *Transports urbains*, 91, 15-21.
- [100] Dablanc, L., & Rakotonarivo, D. (2010). The impacts of logistics sprawl: How does the location of parcel transport terminals affect the energy efficiency of goods' movements in Paris and what can we do about it?. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 6087-6096.
- [101] Dablanc, L., & Rodrigue, J. P. (2014). The geography of urban freight. In: The geography of urban transportation. In *The geography of urban freight. In: The geography of urban transportation*, 44p.
- [102] Dablanc, L., & Ross, C. (2012). Atlanta: a mega logistics center in the Piedmont Atlantic Megaregion (PAM). *Journal of transport geography*, 24, 432-442.
- [103] Dablanc, L., Diziain, D., & Levifve, H. (2011a). Urban freight consultations in the Paris region. *European transport research review*, 3(1), 47-57.
- [104] Dablanc, L., Gonzalez-Feliu, J., & Ville, S. (2010). L'organisation du transport des marchandises en ville: jusqu'où les politiques municipales peuvent-elles juridiquement aller? Le cas de Vicence (Italie) et les leçons à retenir pour les villes européennes. *Politiques et management public*, 27 (4), 53-72.
- [105] Dablanc, L., Patier, D., Gonzalez-Feliu, J., Augereau, V., Leonardi, J., Levifve, H., Simmeoni, T., & Cerdà, L. (2011b). *SUGAR. Sustainable Urban Goods Logistics Achieved by Regional and Local Policies. City Logistics Best Practices: a Handbook for Authorities*. Regione Emilia Romagna, Bologna, Italy.
- [106] Deflorio, F.P., Gonzalez-Feliu, J., Perboli, G., & Tadei, R. (2012). The influence of time windows of urban freight distribution services costs in City Logistics applications, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 12(3), 256-274.
- [107] De la Barra, T. (1989). *Integrated land use and transport modelling. Decision chains and hierarchies*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [108] De Langhe, K. (2014). Analysing the Role of Rail in Urban Freight Distribution. *Next Generation Supply Chains: Trends and Opportunities*, 18, 223.
- [109] De Oliveira, L. K., & dos Santos Fontes Pereira, L. (2014). An estimation of freight flow using secondary data: a case study in Belo Horizonte (Brazil). *International Journal of Urban Sciences*, 18(2), 291-307.
- [110] Demetsky, M.J. (1974). Measurement of Urban Commodity Movements. *Transportation Research Record*, 496, 57-67.
- [111] Depledge, J. (2000). Tracing the Origins of the Kyoto Protocol: an Article-by-article Textual History: Technical Paper. United Nations, UNFCCC Framework Convention on Climate Change.
- [112] Desse, R.P. (2001). *Le nouveau commerce urbain*. Presses Universitaires de Rennes.
- [113] D'Este, G. (2000). Urban freight movement modeling. IN Hensher, D., & Button, K. (eds.), *Handbook of Transport Modelling*. Pergamon, Amsterdam, 539-552.

- [114] DG REGIO (2008), *Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects*, European Commission, Directorate General Regional Policy, Brussels, Belgium.
- [115] Dinardo, J. (2008). Natural experiments and quasi-natural experiments. *The New Palgrave Dictionary of Economics* (pp. 856–859). Palgrave.
- [116] Domański, R. Y. S. Z. A. R. D. (1996). Towards a more operational form of the idea of sustainable development. *Geographia Polonica*, (67), 121-139.
- [117] Ducret, R. (2013). Scénarios futurs de la livraison des colis aux particuliers en milieu urbain. *Revue Française de Gestion Industrielle*, 32(4), 29-54.
- [118] Dufour, J. G., Patier, D. (1999). Introduction to the discussion based on the experience of the French experimental and research programme. In ECMT (coord.), *Freight transport and the city, ECMT Round table, 109*, European Conference of Ministers of Transport, Paris, 29-99.
- [119] Durand, B. (2009). Mutations logistiques de la cyber-épicerie française: quand les groupements d'associés défient la distribution intégrée. *Logistique & Management*, 17(2), 51-64.
- [120] Durand, B. (2010). e-commerce et logistique urbaine: quand le développement durable s'en mêle... *Revue Française de Gestion Industrielle*, 29(2), 7-26.
- [121] Durand, B., & Vlad, M. (2011). Auchan et Intermarché: deux styles de glisse sur la vague de la cyber-épicerie. *Revue des cas en gestion*, 5.
- [122] Durand, B., Gonzalez-Feliu, J., & Henriot, F. (2010). La logistique urbaine, facteur clé de développement du B to C. *Logistique & Management*, 18 (2), 7-19.
- [123] Durand, B., Gonzalez-Feliu, J. (2012), Impacts of Proximity Deliveries on e-Grocery Trips, *Supply Chain Forum: An International Journal*, 13 (1), 10-19.
- [124] ECMT Economic Research Centre, ed., *Freight Transport and the City. Round Table 109*. ECMT publications, Paris, France.
- [125] Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research. *Academy of management review*, 14(4), 532-550.
- [126] Eriksson, J.R. (1997). Urban freight Transport forecasting – an empirical approach. *Urban Transportation and the Environment II*. Computational Mechanism Publications, Ashurst, 359-369.
- [127] Esser, K., & Kurte, J. (2006, August). B2C e-commerce: impact on transport in urban areas. In *Recent Advances in City Logistics. The 4th International Conference on City Logistics*.
- [128] Ewing, R. (1993). Transportation Service Standards – As if People Matter. *Transportation Research Record* 1400, 10-17.
- [129] Fabart, A., Wihlem, L. (1996). *Commerce et centre-ville*, Paris,
- [130] Fabbe-Costes, N. (2007). Système d'information logistique et transport. *Techniques de l'ingénieur. L'Entreprise industrielle*, (AG8030v2).
- [131] Faure, L. (2015). *Evaluation de la performance économique des Centres de Distribution Urbaine*, PhD. Thesis, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.
- [132] Faure, L., Burlat, P., & Marquès, G. (2016). Evaluate the viability of Urban Consolidation Centre with regards to urban morphology. *Transportation Research Procedia*, 12, 348-356.



- [133] Filippi, F., Nuzzolo, A., Comi, A., & Delle Site, P. (2010). Ex-ante assessment of urban freight transport policies. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 6332-6342.
- [134] François, C. (2015). *Évaluation des stratégies adaptatives des mézozoaires aux faibles disponibilités en nutriments: couplage d'approches d'écologie isotopique et de transcriptomique chez des isopodes épigés et hypogés*, Mémoire de Master, Université Claude Bernard-Lyon I.
- [135] Frosini, P., Huntingford, J., & Ambrosino, G. (2004). Urban mobility and freight distribution service: best practices and lessons learnt in the MEROPE Interreg III B Project. *European Transport/Trasporti Europei*, 28, 44-56.
- [136] Generalitat de Catalunya (2011), *Observatori de costos del transport de mercaderies per carretera a Catalunya, Butlletí de transports Número 58 – Març 2011*, Direcció General de Transports i Mobilitat, Generalitat de Catalunya, Barcelone, Spain.
- [137] Gentile, G., & Vigo, D. (2013). Movement generation and trip distribution for freight demand modelling applied to city logistics. *European Transport/Trasporti Europei*, 54 (6), 1-27.
- [138] Gérardin, B. (2007). *Dix ans d'expérimentations en matière de livraisons en ville: premier bilan critique*. CERTU, Lyon.
- [139] Gérardin, B., Abdelhai, L., Makhoulfi, R., & Battaia, G. (2015). Les conditions de la mutualisation du transport urbain de marchandises selon les différents acteurs. *Revue Française de Gestion Industrielle*, 34 (1).
- [140] Gérardin, B., Patier, D., Routhier, J. L., & Segalou, E. (2000)., *Diagnostic du Transport de marchandises dans une agglomération*, Programme national Marchandises en ville, DRAST
- [141] Geurs, K. T., & Van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport geography*, 12(2), 127-140.
- [142] Gevaers, R., Van de Voorde, E., & Vanelslander, T. (2011). Characteristics and typology of last-mile logistics from an innovation perspective in an urban context. In Macharis, C., Melo, S. (eds.) *City Distribution and Urban Freight Transport: Multiple Perspectives* (pp. 56-71). Edward Elgar Publishing.
- [143] Gianessi, P., Alfandari, L., Létocart, L., & Calvo, R. W. (2012). Solving network design and routing problems for urban freight distribution. In *Proceedings of the 5th International Workshop on Freight Transport and Logistics, ODYSSEUS* (pp. 21-25).
- [144] Gkatzoflias, D., Ntziachristos, L., Samaras, Z. (2007), COPERT 4. *Computer programme to calculate emissions from road transport. User manual (version 4.0)*. European Environmental Agency, Copenhagen.
- [145] Gond, J. P. (2006). *Contribution à l'étude du concept de performance sociétale de l'entreprise: fondements théoriques, construction sociale, impact financier*. Thèse de doctorat. Université Toulouse 1.
- [146] Gondran, N. (2015). Evaluation et représentation des enjeux environnementaux dans une perspective de transitions écologique et énergétique. Habilitation à diriger des recherches. Ecole des Mines de Saint- Etienne.
- [147] 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.

- [148] Gonzalez-Feliu, J. (2011). Two-echelon transportation optimisation: unifying concepts via a systematic review. *Working Papers on Operations Management*, 2 (1),18-30.
- [149] Gonzalez-Feliu, J. (2012a). Cost optimisation in freight distribution with cross-docking: N-echelon location routing problem. *Promet – Traffic & Transportation*, 24 (2), 143-149.
- [150] Gonzalez-Feliu, J. (2012b). Freight distribution systems with cross-docking: a multidisciplinary analysis. *Journal of the Transportation Research Forum*, 51 (1), 93-109.
- [151] Gonzalez-Feliu, J. (2012c). Quinze ans de travaux sur le transport de marchandises en ville. *Accomex* 104, 9-11.
- [152] Gonzalez-Feliu, J. (2013). Vehicle Routing in Multi-Echelon Distribution Systems with Cross-Docking: A Systematic Lexical-Metanarrative Analysis. *Computer and Information Science*, 6 (3), 28-47.
- [153] Gonzalez-Feliu, J. (2014). Costs and benefits of railway urban logistics: a prospective social cost benefit analysis. *Expert Meeting on urban rail logistics*, Antwerp, Belgium, 19<sup>th</sup> May 2014.
- [154] Gonzalez-Feliu, J. (2016). Viability and potential demand capitation of urban freight tramways via demand-supply modelling and cost benefit analysis. In *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference in Informations Systems, Logistics and Supply Chain*, Bordeaux, France, June 1-4, 2016, Kedge Business School, Bordeaux, ISBN 978-2-9539787-3-5.
- [155] Gonzalez-Feliu, J., Ambrosini, C., Gardrat, M., & Routhier, J.L. (2012a). Comprendre les chaînes de déplacement pour l’approvisionnement des ménages. *Revue Française de Gestion Industrielle*, 31 (3), 105-122.
- [156] Gonzalez-Feliu, J., Ambrosini, C., Henriot, F., & Routhier, J.L. (2012b). La logistique urbaine à l’épreuve du facteur 4. *Recherche Transports Sécurité*, 28, 88-100.
- [157] Gonzalez-Feliu, J., Ambrosini, C., Pluvinet, P., Toilier, F., & Routhier, J.L. (2012c). A simulation framework for evaluating the impacts of urban goods transport in terms of road occupancy. *Journal of Computational Science*, 6 (4), 206-215.
- [158] Gonzalez-Feliu, J., Ambrosini, C., & Routhier, J.L. (2012d). New trends on urban goods movement: modelling and simulation of e-commerce distribution. *European Transport/Trasporti Europei*, 50 (6), 1-23.
- [159] Gonzalez-Feliu, J., Basck, P., & Morganti, E. (2013a). Urban logistics solutions and financing mechanisms: a scenario assessment analysis. *European Transport/Trasporti Europei*, 54 (11), 1-16.
- [160] Gonzalez-Feliu, J., & Battaia, G. (2014). Simuler et évaluer les impacts de la mutualisation du transport de marchandises en ville : approches spatiales et multi-acteurs. *51<sup>e</sup> Colloque de l’ASRDLF, « Métropolisation, cohésion et performances : quels futurs pour nos territoires »*, Marné la Vallée, France, 7-9 juillet.
- [161] González-Feliu, J., Cedillo-Campos, M. G., & García-Alcaraz, J. L. (2014a). An emission model as an alternative to OD matrix in urban goods transport modelling. *Dyna*, 81(187), 249-256.
- [162] Gonzalez-Feliu, J., Durand, B., & Andriankaja, D. (2012e). Urban logistics and e-grocery: have new B2C trends a positive impact on the environment? In Golinska P.,

- Romano, C.A. (eds.), *Environmental issues in supply chain management - new trends and applications* (pp. 251-264). Springer, Heidelberg.
- [163] Gonzalez-Feliu, J., Gardrat, M., Pluvinet, P., & Ambrosini, C. (2013b). Urban goods movement estimation for public decision support: goals, approaches and applications. In Arndt, W.H., Beckmann, K.J., Gies, J., Gonzalez-Feliu, J., (eds.), *Städtischer Wirtschaftsverkehr - Commercial/Goods Transportation in Urban Areas - Transports Commerciaux/Marchandises en Ville. Dokumentation der Internationalen Konferenz 2012 in Berlin* (pp. 171-185). Deutsches Institut für Urbanistik, Difu Impulse 2013/3, Berlin, Germany.
- [164] Gonzalez-Feliu, J., Malhéné, N., Morganti, E., & Morana, J. (2014b). The deployment of city and area distribution centers in France and Italy: Comparison of six representative models. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 15 (4), 84-99.
- [165] Gonzalez-Feliu, J., Malhéné, N., Morganti, E., & Trentini, A. (2013c). Développement des espaces logistiques urbains: CDU et ELP dans l'Europe du Sud-Ouest. *Revue Française de Gestion Industrielle*, 32 (4), 73-92.
- [166] Gonzalez-Feliu, J., & Mercier, A. (2013). A double people-freight accessibility approach for urban retailing and leisure planning at strategic level. *5<sup>th</sup> METRANS International Conference on Urban Freight, Long Beach, California*, October 6<sup>th</sup>-8<sup>th</sup>.
- [167] Gonzalez-Feliu, J., & Morana, J. (2010), Are City Logistics Solutions Sustainable? The Cityporto case. *TeMA. Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 3 (2), 55-64.
- [168] Gonzalez-Feliu, J., & Morana, J. (2011). Collaborative transportation sharing: from theory to practice via a case study from France. In Yearwood, J.L. and Stranieri, A. (eds.), *Technologies for Supporting Reasoning Communities and Collaborative Decision Making: Cooperative Approaches* (pp. 252-271). Information Science Reference, Hershey.
- [169] Gonzalez-Feliu, J., & Morana, J. (2014). Assessing urban logistics pooling sustainability via a hierarchic dashboard from a group decision perspective. In Macharis, C., Melo, S., Woxenius, J., Van Lier, T. (eds.), *Sustainable Logistics* (pp. 113-135). Emerald, coll. Transport and Sustainability, vol. 6.
- [170] Gonzalez-Feliu, J., Morana, J., Salanova Grau, J.M., & Ma, T.Y. (2013d). Design and scenario assessment for collaborative logistics and freight transport systems. *International Journal of Transport Economics*, 40 (2), 207-240.
- [171] Gonzalez-Feliu, J., Muñuzuri, J., Cedillo-Campos, M.G., Ambrosini, C., Taniguchi, E., & Chiabaut, N. (2015). Contraintes de livraison et politiques d'accès au centre-ville : à la recherche du « véhicule optimal » urbain par une simulation de scénarios. *Logistique & Management*, 23 (2), 31-45.
- [172] Gonzalez-Feliu, J., Parent, A. (2016), Clio-combinatorics: A novel framework to analyze military logistics choices using operations research techniques. In Ochoa, A., Cedillo, G., Sánchez, J., Margain, L. (editors), *Handbook of Research on Military, Aeronautical, and Maritime Logistics and Operations* (pp. 79-101). Advances in Logistics, Operations, and Management Science series, IGI Global, Hershey.
- [173] Gonzalez-Feliu, J., & Peris-Pla, C. (2014). STG-Sim: Shopping Trip Generation and Simulation. Poster Outreach Market at Transport Research Arena 2014, 5<sup>th</sup> edition, Paris – La Défense (France), 14-17 avril 2014.

- [174] Gonzalez-Feliu, J., & Peris-Pla, C. (2016). Impacts of retailing attractiveness on freight and shopping trip attraction rates. Soumis à *Research in transportation business & management*.
- [175] Gonzalez-Feliu, J., Pluvinet, P., Serouge, M., & Gardrat, M. (2013e). Urban Freight Analysis Based on GPS Data. In Hsuesh, Y.H. (ed.), *Global Positioning Systems: Signal Structure, Applications and Sources of Error and Biases* (pp. 73-93). Nova Science Publishers, New York.
- [176] Gonzalez-Feliu, J., Routhier, J.L. (2012). Modelling urban goods movement: how to be oriented with so many approaches?, *Procedia – Social and Behavioral Science*, 39, 89-100.
- [177] Gonzalez-Feliu, J., Routhier, J.L., & Raux, C. (2010a). An attractiveness-based model for shopping trips in urban areas. *XII World Conference in Transportation Research*, Lisbon, Portugal, 11-15 July.
- [178] Gonzalez-Feliu, J., Salanova Grau, J.M., & Beziat, A. (2014c). A location-based accessibility analysis to estimate the suitability of urban consolidation facilities. *International Journal of Urban Sciences*, 18 (2), 166-185.
- [179] Gonzalez-Feliu, J., Salanova Grau, J.M., Morana, J., & Mitsakis, E. (2013f). Urban logistics pooling viability analysis via a multicriteria multiactor method. In Petit-Lavall, M.V., Martinez-Sanz, F., Recalde-Castells, A., Puetz, A. (eds.), *La nueva ordenación del Mercado del transporte* (pp. 867-882). Marcial Pons, Madrid.
- [180] Gonzalez-Feliu, J., Sanchez-Diaz, I., & Ambrosini, C. (2016), Aggregation level, variability and linear hypotheses for urban delivery generation models, *95th Transportation Research Board Annual Symposium Compendium of Proceedings, Washington, January 10-14, 2016, TRB*, Washington.
- [181] Gonzalez-Feliu, J., Semet, F., & Routhier, J.L., eds. (2014d). *Sustainable urban logistics: Concepts, methods and information systems*. Springer, Heidelberg.
- [182] Gonzalez-Feliu, J., Taniguchi, E., & Faivre d’Arcier, B. (2014e). Financing Urban Logistics Projects. From Public Utility to Public–Private Partnerships. In Gonzalez-Feliu J., Semet, F., Routhier, J.L. (eds.) *Sustainable urban logistics: concepts, methods and information systems* (pp. 245-264). Springer, Heidelberg.
- [183] Gonzalez-Feliu, J., Toilier, F., & Routhier, J.L. (2010b). End consumer movement generation in French medium urban areas. *Procedia – Social and Behavioral Science*, 2 (3), 6189-6204.
- [184] Gonzalez-Feliu, J., Toilier, F., Ambrosini, C., & Routhier, J.L. (2014f). Estimated data production for urban goods transport diagnosis. The Freturb methodology. In Gonzalez-Feliu J., Semet, F., Routhier, J.L. (eds.) *Sustainable urban logistics: concepts, methods and information systems* (pp. 113-144). Springer, Heidelberg.
- [185] Gribbons, B., & Herman, J. (1997). True and quasi-experimental designs. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 5 (14).
- [186] Guerrero, D., Proulhac, L., & Nierat, P. (2014). Supplying Cities from Abroad: The Geography of Inter-Urban Freight Flows. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 15 (4), 6-15.

- [187] Guilbault, M., Soppé, M. (2009). Apports des *enquêtes chargeurs. Connaissance des chaînes de transport de marchandises et de leurs déterminants logistiques*. INRETS, Bron.
- [188] Gunasekaran, A., & Kobu, B. (2007), Performance measures and metrics in logistics and supply chain management: a review of recent literature (1995-2004) for research and applications. *International Journal of Production Research*, 45(12), 2819-40.
- [189] Guyon, O., Absi, N., Boudouin, D., & Feillet, D. (2015). Planification stratégique pour la logistique urbaine: l'apport de la recherche opérationnelle. *RFGI-Revue française de gestion industrielle*, 34(1), 100-113.
- [190] Guyon, O., Absi, N., Feillet, D., & Garaix, T. (2012). A modeling approach for locating logistics platforms for fast parcels delivery in urban areas. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 39, 360-368.
- [191] Hägerstrand, T. (1970), What About People in Regional Science? *Papers of the Regional Science Association*, 24, 7-21.
- [192] Hansen, W.G. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute Planners*, 25, 73-76.
- [193] Hart, J. P., & Shogan, A. W. (1987). Semi-greedy heuristics: An empirical study. *Operations Research Letters*, 6(3), 107-114.
- [194] Hauer, E. (1997). Observational Before/After Studies in Road Safety. Estimating the Effect of Highway and Traffic Engineering Measures on Road Safety.
- [195] Hayashi, Y., & Morisugi, H. (2000). International comparison of background concept and methodology of transportation project appraisal. *Transport policy*, 7(1), 73-88.
- [196] Hemmelmayr, V. C., Cordeau, J. F., & Crainic, T. G. (2012). An adaptive large neighborhood search heuristic for two-echelon vehicle routing problems arising in city logistics. *Computers & operations research*, 39(12), 3215-3228.
- [197] Henriot, F., & Routhier, J. L. (2010, July). Scenarios of commercial zoning to reduce impacts of freight movement in the city. In *WCTR 2010. Proceedings of the 12th World Conference on Transport Research*.
- [198] Henriot, F., Patier, D., Bossin, P., & Gérardin, B. (2008). Méthodologie d'évaluation des innovations en matière de logistique urbaine, rapport PREDIT-DRAST.
- [199] Hensher, D. A., & Button, K. J. (2000). Handbook of transportation modelling. Pergamon, Oxford.
- [200] Hesse, M. (1995). Urban space and logistics: on the road to sustainability? *World Transport Policy and Practice*, 1(4), 39-45.
- [201] Hesse, M. (2004). Logistics and freight transport policy in urban areas: a case study of Berlin-Brandenburg/Germany. *European Planning Studies*, 12(7), 1035-1053.
- [202] Holguín-Veras, J., & Jaller, M. (2014). Comprehensive freight demand data collection framework for large urban areas. In Gonzalez-Feliu, J., Semet, F., Routhier, J.L. (eds.) *Sustainable Urban Logistics: Concepts, Methods and Information Systems* (pp. 91-112). Springer, Heidelberg.
- [203] Holguín-Veras, J., & Patil, G. R. (2008). A multicommodity integrated freight origin-destination synthesis model. *Networks and Spatial Economics*, 8(2-3), 309-326.
- [204] Holguín-Veras, J., Jaller, M., Destro, L., Ban, X., Lawson, C., & Levinson, H. (2011). Freight generation, freight trip generation, and perils of using constant trip rates.

- Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2224), 68-81.
- [205] Holguín-Veras, J., Jaller, M., Sánchez-Díaz, I., Wojtowicz, J., Campbell, S., Levinson, H., ... & Tavasszy, L. (2012). NCHRP Report 739/NCFRP Report 19: freight trip generation and land use. Washington DC: Transportation Research Board of the National Academies.
- [206] Holguín-Veras, J., Sánchez-Díaz, I., Lawson, C., Jaller, M., Campbell, S., Levinson, H., & Shin, H. S. (2013). Transferability of freight trip generation models. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2379), 1-8.
- [207] Holguín-Veras, J., Thorson, E., & Zorrilla, J. C. (2010). Commercial vehicle empty trip models with variable zero order empty trip probabilities. *Networks and Spatial Economics*, 10(2), 241-259.
- [208] Houwanou, S., Gondran, N., & Gonzalez-Feliu, J. (2016). Retail location and freight flow generation: a life cycle assessment to compare city center stores to peripheral shopping centers. In *Colloquium on European Research in Retailing Book of Proceedings CERR 2016. Abstracts and articles presented at the third Colloquium on European Research in Retailing. TOULOUSE June 2nd-4th, 2016* (pp. 81-94). Toulouse Business School, Toulouse.
- [209] Hosoya, R., Sano, K., Ieda, H., Kato, H., & Fukuda, A. (2003). Evaluation of logistics policies in the Tokyo metropolitan area using a micro-simulation model for urban goods movement. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, 3097-3110.
- [210] Huart, A., Brotcorne, L., & Semet, F. (2010). Optimization of multimodal transportation chains in city logistics. In *Proceedings of the VII Triennial Symposium on Transport Analysis, Tromsø, Norway*.
- [211] Hunt, J. D., & Stefan, K. J. (2007). Tour-based microsimulation of urban commercial movements. *Transportation Research Part B: Methodological*, 41(9), 981-1013.
- [212] Hunt, J., Stefan, K., & Brownlee, A. (2006). Establishment-based survey of urban commercial vehicle movements in Alberta, Canada: survey design, implementation, and results. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1957), 75-83.
- [213] Ingram, D. R. (1971). The concept of accessibility: a search for an operational form. *Regional Studies*, 5, 101-107.
- [214] Institut de Recherches sur les Transports (1977). Modèle de répartition modale pour les marchandises - Classification d'un ensemble d'expéditions pour l'année 1974. IRT, Paris.
- [215] Interface Transport, (2004). Espaces logistiques Urbains de Monaco et La Rochelle. Eléments pour une guide méthodologique. Etudes ADEME n.0303C0070, 36p.
- [216] Jaller, M., Sánchez-Díaz, I., & Holguín-Veras, J. (2015). Identifying Freight Intermediaries: Implications for Modeling of Freight Trip Generation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2478, 48-56.
- [217] Janjevic, M., Kaminski, P., & Ndiaye, A.B. (2013). Downscaling the consolidation of goods – state of the art and transferability of micro-consolidation initiatives. *European Transport / Trasporti Europei*, 54 (3), 1-21.
- [218] Janssen, T., Vollmer, R. (2005). Development of a urban commercial transport model for smaller areas, German Society for Geography, Annual meeting 2005, Berlin.

- [219] Josephson, J. R., & Josephson, S. G. (1996). *Abductive inference: Computation, philosophy, technology*. Cambridge University Press.
- [220] Keefer, L. E. (1966). Urban travel patterns for airports, shopping centers, and industrial plants. NCHRP Report, (24).
- [221] Kidd, J., Stumm, M. (2005). From pre-Medieval to post-Modern times: Logistics routes and their modalities have not changed much. *Management Decision*, 43(9), 1249-1261.
- [222] Kirby, M. W. (2006). 'A festering sore': the issue of professionalism in the history of the Operational Research Society. *Journal of the Operational Research Society*, 57(10), 1161-1172.
- [223] Kirby, M. W. (2007). Paradigm change in operations research: Thirty years of debate. *Operations Research*, 55(1), 1-13.
- [224] Kohler, U. (1997). An innovating concept for city-logistics. In *Mobility for everyone*. 4th World Congress on Intelligent Transport Systems, 21-24 October 1997, Berlin (Paper No. 2381).
- [225] Kubis, A., & Hartmann, M. (2007). Analysis of location of large-area shopping centres. A probabilistic Gravity Model for the Halle–Leipzig area. *Jahrbuch für Regionalwissenschaft*, 27(1), 43-57.
- [226] Lambert, D. M. (2008). *Supply chain management: processes, partnerships, performance*. Supply Chain Management Inst.
- [227] Lambert, S., & Riopel, D. (2003). *Logistique inverse: revue de littérature*. Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions.
- [228] Leonardi, J., Browne, M., & Allen, J. (2012). Before-after assessment of a logistics trial with clean urban freight vehicles: A case study in London. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 39, 146-157.
- [229] Liedtke, G. (2009). Principles of micro-behavior commodity transport modeling. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(5), 795-809.
- [230] Liedtke, G. T., Tavasszy, L. A. A., & Wisetjindawat, W. (2009). A comparative analysis of behavior-oriented commodity transport models. In *Transportation Research Board 88th Annual Meeting* (No. 09-2209).
- [231] Lindholm, M. (2010). A sustainable perspective on urban freight transport: Factors affecting local authorities in the planning procedures. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 6205-6216.
- [232] Linneker, B.J. & Spence, N.A. (1992). Accessibility measures compared in an analysis of the impact of the M25 London orbital motorway on Britain. *Environment and Planning A*, 24, 1137–1154.
- [233] Lindholm, M. (2013). Urban freight transport from a local authority perspective—a literature review. *European Transport/Trasporti Europei*, 54 (3), 1-37.
- [234] List, G. F., & Turnquist, M. A. (1994). Estimating truck travel patterns in urban areas. *Transportation Research Record*, 1430, 1-9.
- [235] Liu, X., & Savy, M. (2012). Logistics and the City: The Key Issue of Freight Villages. In Mackett, R.L., May, A.D., Kii, M., Pan, H. (eds.) *Sustainable Transport for Chinese Cities* (pp. 297-318). Emerald, Transport and Sustainability series, Volume 3.
- [236] Loebel, S. A., & Crowley, K. W. (1976). Aspects of demand for urban goods movement in city centers (Abridgment) (No. 591).

- [237] Lopez, C., Gonzalez-Feliu, J., Chiabaut, N., & Leclercq, L. (2016). Assessing the impacts of goods deliveries' double line parking on the overall traffic under realistic conditions. In *Proceedings of the 6th International Conference in Informations Systems, Logistics and Supply Chain*, Bordeaux, France, June 1-4, 2016, Kedge Business School, Bordeaux, ISBN 978-2-9539787-3-5.
- [238] Lopez-Ruiz, H., & Crozet, Y. (2010). Sustainable Transport in France: Is a 75% Reduction in Carbon Dioxide Emissions Attainable?. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2163), 124-132.
- [239] Macharis, C., & Kin, B. (2016). The 4 A's of Sustainable City Distribution: Innovative Solutions and Challenges ahead. *International Journal of Sustainable Transportation*, accepté pour publication.
- [240] Macharis, C., & Melo, S., eds. (2011). *City distribution and urban freight transport: multiple perspectives*. Edward Elgar Publishing.
- [241] Macharis, C., De Witte, A., & Turcksin, L. (2010). The Multi-Actor Multi-Criteria Analysis (MAMCA) application in the Flemish long-term decision making process on mobility and logistics. *Transport Policy*, 17(5), 303-311.
- [242] Macharis, C., Milan, L., & Verlinde, S. (2014). A stakeholder-based multicriteria evaluation framework for city distribution. *Research in Transportation Business & Management*, 11, 75-84.
- [243] Maejima, T. (1979). An application of continuous spatial models to freight movements in Greater London. *Transportation*, 8, 51-63.
- [244] Maggi, E. (2007). *La logistica urbana delle merci. Aspetti economici e normativi*. Politecnico di Milano.
- [245] Mancini, S., Gonzalez-Feliu, J., & Crainic, T.G. (2014). Planning and Optimization Methods for Advanced Urban Logistics Systems at Tactical Level. In Gonzalez-Feliu J., Semet, F., & Routhier, J.L. (eds.) *Sustainable urban logistics: concepts, methods and information systems* (pp. 145-164). Springer, Heidelberg.
- [246] Marcucci, E., & Gatta, V. (2014). Behavioral Modeling of Urban Freight Transport. In Gonzalez-Feliu, J., Semet, F., Routhier, J.L. (eds.) *Sustainable urban logistics: Concepts, methods and information systems*. Springer, Heidelberg, 227-243.
- [247] Martínez, F.J. (1995). Access: the transport-land use economic link. *Transportation Research Part B*, 29(6), 457-470.
- [248] Masson, S. (2000). Les interactions entre système de transport et système de localisation en milieu urbain et leur modélisation. Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2.
- [249] Masson, S., & Petiot, R. (2012). Attractivité territoriale, infrastructures logistiques et développement durable. *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, 61, 63-90.
- [250] Melo, S., & Costa, A. (2011). Definition of a set of indicators to evaluate the performance of urban goods distribution initiatives. In Macharis, C., & Melo, S. (eds.), *City Distribution and Urban Freight Transport: Multiple Perspectives* (pp. 120-149). Edward Elgar, Northampton.
- [251] Meyburg, A. H., & Stopher, P. R. (1974). Towards trip attraction models for freight vehicle trips to shopping plazas. *Transportation Research Record*, 496, 68-79.



- [252] Micek, S. T., Roubinian, N., Heuring, T., Bode, M., Williams, J., Harrison, C., ... & Kollef, M. H. (2006). Before–after study of a standardized hospital order set for the management of septic shock. *Critical care medicine*, 34(11), 2707-2713.
- [253] Michelini, R.C., & Razzoli, R.P. (2004). Product-service eco-design: Knowledge-based infrastructures. *Journal of Cleaner Production*, 12, 415-428.
- [254] Miller, H.J. (1999). Measuring space–time accessibility benefits within transportation networks: basic theory and computational procedures. *Geographical Analysis*, 31(2), 187-212.
- [255] Mingers, J. (2011). Soft OR comes of age—but not everywhere!. *Omega*, 39(6), 729-741.
- [256] Ministerie VROM (1996). *Handboek vrachtverkeer in gemeenten*, CROW, Ede.
- [257] Mizutani, T. (1999). Measures to enhance the efficiency of urban freight transportation in Hiroshima city. In *First International Conference on City Logistics, Cairns, Queensland, Australia*.
- [258] MODUM (2011). Mutualization and Optimization of Urban Freight Trips. ANR “Villes Durables” Project. Intermediary report. Paris: ANR.
- [259] Moher, D., Jones, A., Lepage, L., & CONSORT Group. (2001). Use of the CONSORT statement and quality of reports of randomized trials: a comparative before-and-after evaluation. *Journal of the American Medical Association* 285(15), 1992-1995.
- [260] Morana, J. (2013). *Sustainable supply chain management*. John Wiley & Sons.
- [261] Morana, J., Gonzalez-Feliu, J., & Semet, F. (2014). Urban Consolidation and Logistics Pooling. In J. Gonzalez-Feliu, F. Semet, & Routhier, J.L. (Eds.), *Sustainable Urban Logistics: Concepts, Methods and Information Systems* (pp. 187-210). Heidelberg: Springer.
- [262] Morgan, G. A. (2000). Quasi-Experimental Designs. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 39, 794-796.
- [263] Morganti, E. (2011). Urban food planning, city logistics and sustainability: the role of the wholesale produce market. The cases of Parma and Bologna food hubs. Thèse de doctorat, Université de Bologne.
- [264] Morganti, E., & Gonzalez-Feliu, J. (2015). City logistics for perishable products. The case of the Parma's Food Hub. *Case Studies on Transport Policy*, 3(2), 120-128.
- [265] Morganti, E., Dablanc, L., & Fortin, F. (2014). Final deliveries for online shopping: The deployment of pickup point networks in urban and suburban areas. *Research in Transportation Business & Management*, 11, 23-31.
- [266] Muñoz-Villamizar, A. F., Montoya-Torres, J. R., & Herazo-Padilla, N. (2014). Mathematical Programming Modeling and Resolution of the Location-Routing Problem in Urban Logistics. *Ingeniería y Universidad*, 18(2), 271-289.
- [267] Muñuzuri, J., Cortés, P., Onieva, L., & Guadix, J. (2009). Modeling freight delivery flows: Missing link of urban transport analysis. *Journal of urban planning and development*, 135(3), 91-99.
- [268] Muñuzuri, J., Cortés, P., Onieva, L., & Guadix, J. (2011). Estimation of daily vehicle flows for urban freight deliveries. *Journal of Urban Planning and Development*, 138(1), 43-52.

- [269] Muñuzuri, J., Van Duin, J. H. R., & Escudero, A. (2010). How efficient is city logistics? Estimating ecological footprints for urban freight deliveries. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 6165-6176.
- [270] Nemoto, T. (2004). An Experiment on Cooperative Parcel Pick-up System.. In Taniguchi, E., & Thompson, R.G. (eds.) *Logistics Systems for Sustainable Cities*. (pp. 309-320). Elsevier. Amsterdam.
- [271] Nuzzolo, A., & Comi, A. (2014). Urban freight demand forecasting: a mixed quantity/delivery/vehicle-based model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 65, 84-98.
- [272] Nuzzolo, A., Crisalli, U., & Comi, A. (2011). A restocking tour model for the estimation of OD freight vehicle in urban areas. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 20, 140-149.
- [273] Ogden, K. W. (1978). The distribution of truck trips and commodity flow in urban areas: A gravity model analysis. *Transportation Research*, 12(2), 131-137.
- [274] Ogden, K. W. (1992). *Urban goods movement: a guide to policy and planning*. Ashgate.
- [275] Ooishi, R., & Taniguchi, E. (1999). Effects and profitability of constructing the new underground freight transport system. In *First International Conference on City Logistics, Cairns, Queensland, Australia*.
- [276] Oral, M., & Kettani, O. (1993). The facets of the modeling and validation process in operations research. *European Journal of Operational Research*, 66(2), 216-234.
- [277] Ortuzar, J. de D., Willumsen, L. G. (2001). *Modelling Transport*. John Wiley and Sons, New York, USA.
- [278] Palacios-Argüello, L., Morganti, E., & Gonzalez-Feliu, J. (2017). Food hub: Una alternativa para alimentar las ciudades de manera sostenible, *Revista Transporte y Territorio*, accepté pour publication.
- [279] Partyka, J., & Hall, R. (2010). On the road to connectivity. *OR/MS Today*, 37(1), 42-49.
- [280] Patier, D. (2002). *La logistique dans la ville*. Celse, Paris, France.
- [281] Patier, D., & Alligier, L. (2004). On-line retailing in France current and future effects on City Logistics. In Taniguchi, E., Thompson, R.G. (eds.). *Logistics Systems for Sustainable Cities*. Elsevier, Amsterdam, 381-395.
- [282] Patier, D., & Browne, M. (2010). A methodology for the evaluation of urban logistics innovations. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 6229-6241.
- [283] Petit, P. (1974). *Histoire générale de l'Empire Romain* (Vol. 1). Éditions du Seuil.
- [284] Pirie, G.H. (1979). Measuring accessibility: a review and proposal. *Environment and Planning A*, 11, 299-312.
- [285] Pluvinet, P., Gonzalez-Feliu, J., & Ambrosini, C. (2012a). GPS data analysis for understanding urban goods movement, *Procedia – Social and Behavioral Science*, vol. 39, 450-462.
- [286] Pluvinet, P., Gonzalez-Feliu, J., Faivre d'Arcier, B., Gardrat, M., Basck, P., Ambrosini, C., & Routhier, J.L. (2012b). *Methodology, evaluation, simulation and assessment for the analysis of the deployment of DSB and EEIC systems of the FREILOT project. Contribution of LET*, Research report, Laboratoire d'Economie des Transports, Lyon.

- [287] Pronello, C. (2003). The methods to evaluate the social cost of urban transport: which are the most reliable? In *Urban Transport and the Environment in the 21st century* (pp. 555-562). Wessex Institute of Technology, Ashurst.
- [288] Quak, H. (2008). *Sustainability of urban freight transport: Retail distribution and local regulations in cities*. PhD. Thesis, Erasmus University, Rotterdam.
- [289] Qureshi, A. G., & Hanaoka, S. (2006, August). Analysis of the effects of a cooperative delivery system in Bangkok. In Taniguchi, E., Thompson, R.G. (eds.). *Recent Advances in City Logistics*. Elsevier, Amsterdam
- [290] Rayleigh, L. (1880). XII. On the resultant of a large number of vibrations of the same pitch and of arbitrary phase. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 10(60), 73-78.
- [291] Recker, W.W., Chen, C. & McNally, M.G. (2001). Measuring the impact of efficient household travel decisions on potential travel time savings and accessibility gains. *Transportation Research A*, 35(4), 339-369.
- [292] Roca-Riu, M., & Estrada, M. (2012). An evaluation of urban consolidation centers through logistics systems analysis in circumstances where companies have equal market shares. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 39, 796-806.
- [293] Rogers, D., & Tibben-Lembke, R. (1999). *Going backwards: reverse logistics trends and practices*, Vol. 2. Reverse Logistics Executive Council, Pittsburgh, PA.
- [294] Rohm, A. J., & Swaminathan, V. (2004). A typology of online shoppers based on shopping motivations. *Journal of business research*, 57(7), 748-757.
- [295] Rosenhead, J. (2009). Reflections on fifty years of operational research. *Journal of the Operational Research Society*, 60(1), S5-S15.
- [296] Rosenhead, J. V. (1976). Some further comments on the social responsibility of operational research. *Operational Research Quarterly*, 266-272.
- [297] Rosini, R., ed. (2005), *City Ports Project. Interim report*. Quaderni del servizio Pianificazione dei Trasporti e Logistica n. 7, Regione Emilia Romagna, Bologna, Italy.
- [298] Routhier, J. L., & Toilier, F. (2011). FRETURB: simuler la logistique urbaine In Antoni, J.P. (ed.), *Modéliser la ville. Formes urbaines et politiques de transport* (pp. 246-283). Economica, Paris.
- [299] Routhier, J. L., & Gonzalez-Feliu, J. (2013). Transport de marchandises et formes urbaines. In Brun, G. (ed.), *Ville et Mobilité. Nouveaux regards* (pp. 57-81). Economica, Paris.
- [300] Routhier, J.L, Segalou, E., & Durand, S. (2001). *Mesurer l'impact du transport de marchandises en ville. Le modèle Freturb (version 1)*. DRAST-ADEME, Paris.
- [301] Routhier, J.L. (2002). *Du transport de marchandises en ville à la logistique urbaine*. DRAST, Paris, coll. 2001 Synthèses et Recherches n°59, France.
- [302] 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.
- [303] Ruske, W. (1994). City logistics-solutions for urban commercial transport by cooperative operations management. OECD Seminar on Advanced Road Transport Technologies, Omiya, Japan.

- [304] Russo F., & Comi A. (2006). Demand model for city logistics: a state of the art and a proposed integrated system. In Taniguchi, E., & Thompson, R.G. (eds.). *Recent Advances for City Logistics*. Elsevier, Amsterdam, 91-105.
- [305] Russo, F. (2005), *Sistemi di trasporto merci. Approcci quantitativi per il supporto alle decisioni di pianificazione strategica, tattica ed operativa a scala nazionale*, Franco Angelli, Milan.
- [306] Russo, F., & Comi, A. (2004). A modelling system to link end-consumers and distribution logistics. *European Transport/Trasporti Europei*, 28, 6-19.
- [307] Russo, F., & Comi, A. (2010). A modeling system to simulate goods movements at an urban scale. *Transportation*, 37 (6), 987-1009.
- [308] Salanova-Grau, J.M., & Gonzalez-Feliu, J. (2015). Comparing fast VRP algorithms for collaborative urban freight transport systems: a solution probleming analysis, *The IUP Journal of Supply Chain Management*, 12 (2), 7-23.
- [309] Sanchez-Diaz, I., Gonzalez-Feliu, J., & Ambrosini, C. (2016a). Assessing the implications of aggregating data by activity-based categories for urban freight trip generation modeling. In *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference in Informations Systems, Logistics and Supply Chain*, Bordeaux, France, June 1-4, 2016, Kedge Business School, Bordeaux, ISBN 978-2-9539787-3-5.
- [310] Sánchez-Díaz, I., Holguín-Veras, J., & Wang, X. (2016b). An exploratory analysis of spatial effects on freight trip attraction. *Transportation*, 43(1), 177-196.
- [311] Sarraj, R., Ballot, E., Pan, S., Hakimi, D., & Montreuil, B. (2014). Interconnected logistic networks and protocols: simulation-based efficiency assessment. *International Journal of Production Research*, 52(11), 3185-3208.
- [312] Sauvage, T. (1997), *Vers une conceptualisation de la relation d'agence entre les institutions du canal de distribution : application à la relation prestataire logistique-client*, Université Aix-Marseille 2.
- [313] Savy, M. (1998). TIC et territoire: le paradoxe de localisation. *Les Cahiers scientifiques du transport*, 33, 129-146.
- [314] Ségalou E., Ambrosini, C., & Routhier, J.L. (2004). The environmental assessment of urban goods movement. In Taniguchi, E., and Thomson, R. G. (eds.). *Logistics Systems for Sustainable Cities* (pp. 207-220). Elsevier, Amsterdam.
- [315] Ségalou, E. (1999a). *Les déplacements pour achats à Bordeaux. Exploitation de l'enquête ménages 1998 de l'agglomération bordelaise*. Technical Report LETADEME-DDT, Lyon.
- [316] Ségalou, E. (1999b). *Préparation du bilan environnemental du TMV sur la ville de Bordeaux. Note relative au calcul de la distribution des flux de véhicules pour motif d'achats zone à zone*. Rapport d'activité pour le comte de l'ADEME et de la DDT, Laboratoire d'Economie des Transports, Lyon, France.
- [317] Ségalou, E., Routhier, J. L., & Durand, S. (2002). Les transports de marchandises et l'urbanisme: d'une prise en compte législative à la simulation des interactions. XXXVIII<sup>ème</sup> colloque de l'ASRDLF, « Tendances spatiales contemporaines et leur impact sur l'avenir des régions ou la diversification régionale à l'épreuve des faits », 21-23 août 2002, Trois-Rivières, Québec.

- [318] Senkel, M. P., Durand, B., & Hoa Vo, T. L. (2013). La mutualisation logistique: entre théories et pratiques. *Logistique & Management*, 21(1), 19-30.
- [319] Shadish, W. R., Cook, T. D., & Campbell, D. T. (2002). *Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference*. Houghton, Mifflin and Company, Boston.
- [320] Sjöstedt, L. (1996) A theoretical framework from an applied engineering perspective. In *Mobility, Transport and Traffic in the Perspective of Growth, Competitiveness, Employment* (pp. 71-79). EuroCASE, Paris, .
- [321] Slavin H.L. (1976). Demand for urban goods vehicle trips, *Transportation Research Record*, 591, 32-37.
- [322] Sonntag, H. (1985). A Computer Model of Urban Commercial Traffic. *Transport, Policy and Decision Making*, Vol. 3 (2).
- [323] Spinedi, M., ed. (2008). Logistica urbana: dagli aspetti teorici alle applicazioni pratiche. In *Esperienze italiane e straniere a confronto*. Emilia Romagna Region, City Logistics Expo, Bologna, Italy.
- [324] Srivastava, S. (2007). Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*, 9 (1), 53-80.
- [325] Stewart, J.Q. (1947). Empirical mathematical rules concerning the distribution and equilibrium of population. *Geography Review*, 37, 461-485.
- [326] Stivers, R. L. (1976). *The sustainable society: ethics and economic growth*. Philadelphia, PA: Westminster Press, 240 p.
- [327] Takahashi, Y., & Hyodo, T. (1999). A simulation study on the effect of Physical Distribution Facilities in the Tokyo Metropolitan Region. In *First International Conference on City Logistics, Cairns, Queensland, Australia*.
- [328] Tamagawa, D., Taniguchi, E., & Yamada, T. (2010). Evaluating city logistics measures using a multi-agent model. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 6002-6012.
- [329] Taniguchi, E., & Thompson, R. G., eds. (2015). *City Logistics: Mapping The Future*. CRC Press, Boca Raton.
- [330] Taniguchi, E., & Thompson, R.G. (1999). *City Logistics I*. Institute for City Logistics, Kyoto.
- [331] Taniguchi, E., & van der Heijden, R. E. (2000). An evaluation methodology for city logistics. *Transport Reviews*, 20(1), 65-90.
- [332] Taniguchi, E., Thompson, R. G., & Yamada, T. (2003). Predicting the effects of city logistics schemes. *Transport Reviews*, 23(4), 489-515.
- [333] Taniguchi, E., Thompson, R. G., & Yamada, T. (2012). Emerging techniques for enhancing the practical application of city logistics models. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 39, 3-18.
- [334] Taniguchi, E., Thompson, R. G., Yamada, T., & van Duin, J.H.R. (2001). *City Logistics: network modelling and intelligent transport systems*. Pergamon, Amsterdam.
- [335] Taniguchi, E., Yamada, T., & Tamagawa, D. (1999). Probabilistic vehicle routing and scheduling on variable travel times with dynamic traffic simulation. In *First International Conference on City Logistics, Cairns, Queensland, Australia*.

- [336] TL&Associés, LET (2009). FIDES: Flexibilité et Impact de la Demande de Transport des Différents Secteurs Economiques et Simulation de Scénarios d'Evolution. Rapport final. *Final report. ADEME, Paris.*
- [337] Toilier, F., Bonnafous, A., & Routhier, J. L. (2014). Suivi du transport des marchandises en ville: un nouveau pacte entre enquêtes statistiques et modélisation. In *Annales des Mines-Responsabilité et environnement*, 2014(3), 57-64.
- [338] Toilier, F., Serouge, M., Routhier, J. L., Patier, D., & Gardrat, M. (2016). How can urban goods movements be surveyed in a megacity? The case of the Paris region. *Transportation Research Procedia*, 12, 570-583.
- [339] Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The vehicle routing problem*. Society for industrial and applied mathematics, series: SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications.
- [340] Tozzi, M., Corazza, M. V., & Musso, A. (2014). Urban goods movements in a sensitive context: The case of Parma. *Research in Transportation Business & Management*, 11, 134-141.
- [341] Turblog (2011). TURBLOG – Transferability of urban logistics concepts and practices from a worldwide perspective, 2011. Deliverable 3: Urban Logistics Practices – Synthesis of Selected Case Studies.
- [342] United Nations – Department of Economic and Social Affairs (2014). *World Urbanization Prospects. The 2014 Revision. Highlights*. United Nations, New York.
- [343] Vaghi, C., & Pastanella, M. (2006). Costi| Benefici di CityPorto ItaliaMondo. *Logistica & Intermodalità*, 9(86), 24-25.
- [344] Vaghi, C., & Percoco, M. (2011). City logistics in Italy: success factors and environmental performance. In Macharis, C., Melo, S. (eds.), *City Distribution and Urban Freight Transport: Multiple Perspectives*. Edward Elgar, Northampton, 151-175.
- [345] van Duin, R., Quak, H., & Muñuzuri, J. (2008). Revival of cost benefit analysis for evaluating the city distribution centre concept? In Taniguchi, E., Thompson, R.G. (eds) *Innovations in city logistics*, Nova Science, New York, 97-114.
- [346] van Duin, J. H. R., Quak, H., & Muñuzuri, J. (2010). New challenges for urban consolidation centres: A case study in The Hague. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 6177-6188.
- [347] van Wee, B. (2016). Accessible accessibility research challenges. *Journal of Transport Geography*, 51, 9-16.
- [348] Verlinde, S., Macharis, C., & Witlox, F. (2012). How to consolidate urban flows of goods without setting up an urban consolidation centre?. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 39, 687-701.
- [349] Vickerman, R. W. (1974). A demand model for leisure travel. *Environment and planning A*, 6(1), 65-77.
- [350] 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*, 109-121.
- [351] Ville, S., Gonzalez-Feliu, J., & Dablanc, L. (2013). The limits of public policy intervention in urban logistics: Lessons from Vicenza (Italy), *European Planning Studies*, 21, 10, 1528-1541.

- [352] Virlovet, C. (2000). Les denrées alimentaires dans les archives des Sulpicii de Pouzzoles. *Cahiers du Centre Gustave Glotz*, 11, 131-149.
- [353] Virlovet, C. (2006). Encore à propos des "Horrea galbana" de Rome: entrepôts ou ergastules? *Cahiers du Centre Gustave Glotz*, 17, 23-60.
- [354] Visser, J. G. S. N., & Nemoto, T. (2003). E-commerce and the consequences for freight transport. In *Innovations in freight transport*. WIT Press, Boston.
- [355] Visser, J., Van Binsbergen, A., & Nemoto, T. (1999). Urban freight transport policy and planning. *City logistics I*, 39-69.
- [356] Wang, Z., Goodchild, A. V., & McCormack, E. (2016). Freeway truck travel time prediction for freight planning using truck probe GPS data. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 16(1), 76-94.
- [357] Watson, P.L. (1975). *Urban Goods Movement: A Disaggregate Approach*, C.D. Heath, Lexington.
- [358] Whiteing, A. E. (1999). Logistics in City Centres: A Planning and Policy Dilemma. In Waters, D. (ed.) *Global Logistics And Distribution Planning: Strategies for Management*, CRC Press, Boca Raton, 280-290.
- [359] Williamson, J. G. (2002). *Coping with city growth during the British industrial revolution*. Cambridge University Press.
- [360] Wisetjindawat, W., & Sano, K. (2003). A behavioral modeling in micro-simulation for urban freight transportation. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, 2193-2208.
- [361] Wisetjindawat, W., Sano, K., & Matsumoto, S. (2006). Commodity distribution model incorporating spatial interactions for urban freight movement. *Transportation research record: journal of the transportation research board*, (1966), 41-50.
- [362] Wonnacott, T. H., & Wonnacott, R. J. (1991). *Statistiques*, Ed. *Económica*.
- [363] Woudsma, C. (2001). Understanding the movement of goods, not people: issues, evidence and potential. *Urban studies*, 38(13), 2439-2455.