HAL
open science

Proposition d'un système de transport urbain mixte : application dans le cadre de la ville moyenne de La Rochelle

Anna Trentini

To cite this version:

Anna Trentini. Proposition d'un système de transport urbain mixte : application dans le cadre de la ville moyenne de La Rochelle. Economies et finances. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2012. Français. NNT : 2012ENMP0076 . pastel-00819246

HAL Id: pastel-00819246

https://pastel.hal.science/pastel-00819246v1

Submitted on 30 Apr 2013

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

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

ParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

MINES ParisTech

École doctorale EOS n° 396: Economie, Organisations, Société

Doctorat ParisTech

T H È S E

pour obtenir le grade de docteur délivré par

l'École nationale supérieure des mines de Paris

Spécialité " Sciences de Gestion "

présentée et soutenue publiquement par

Anna TRENTINI

le 13 décembre 2012

Proposition d'un système de transport urbain mixte. Application dans le cadre de la ville moyenne de La Rochelle

Directeur de thèse 1 : **Hugues MOLET**
Directeur de thèse 2 : **Nicolas MALHENE**

Jury

M. Y. DUCQ, Professeur, Université de Bordeaux I	**Rapporteur**
M. P. BURLAT, Professeur, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne	**Rapporteur**
M. B. DURAND, Maître de Conférences, Université de Nantes	**Examinateur**
M. D. BREUIL, Directeur de la recherche, EIGSI,	**Président**
M. O. PETON, Maître assistant, Ecole Nationale Supérieure des Mines de de Nantes	**Invité**
M. M. SANTINI, Chef du service mobilité et transports, CdA La Rochelle	**Invitée**

T H È S E

MINES ParisTech
CAOR - Centre de Robotique
60, boulevard Saint-Michel 75272 Paris cedex 06

“All modern, sustainable companies and cities will incorporate delivery of goods by bikes in their logistic systems.”

Dr. Bernhard Ensink, Secretary General of the European Cyclists’ Federation

“ Près de la place Maubert, à l'endroit où chaque matin de bonne heure j'attends l'autobus, trois boutiques voisinent : Bijouterie, Bois et Charbons, Boucherie. ”

Francis Ponge, Poète français (1899-1988) Tome premier (1942), le Parti pris des choses

REMERCIEMENTS

En prenant du recul, je suis moi-même étonnée du parcours qui m'a conduit ici.

J'exprime ma gratitude à Monsieur Nicolas Malhéné pour m'avoir guidé, encouragé, conseillé, pour la gentillesse et la patience qu'il a manifestées à mon égard durant cette thèse. Toute ma reconnaissance va à Monsieur Hugues Molet, vos connaissances techniques m'ont permis d'arriver à bon port sans doute avec confiance et, certainement, avec endurance. Je vous remercie pour les multiples relectures du manuscrit et la disponibilité dont vous avez fait preuve.

J'adresse de chaleureux remerciements à Monsieur Dominique Breuil, Directeur de la Recherche de l'EIGSI de La Rochelle, pour m'avoir accueilli à plusieurs reprises parmi ses collaborateurs, avec disponibilité et humanité, en me laissant une grande liberté.

Je remercie Monsieur Yves Ducq et Monsieur Patrick Burlat, rapporteurs de ma thèse, pour avoir accepté d'évaluer mon travail ainsi que pour leurs remarques constructives.

Mes remerciements vont également à Monsieur Bruno Durand, pour sa contribution en tant qu'examinateur, à Madame Marie Santini et Monsieur Olivier Peton qui m'ont fait l'honneur de participer au Jury de soutenance.

Un grand merci va à Madame Houda Tlahig, pour avoir soutenu l'achèvement de ce travail, avec disponibilité, conseils avisés et encouragements et aux messieurs Renaud Masson, Olivier Peton et Fabien Lehuede, de l'unité de recherche « Systèmes Logistiques et de Production» de l'Ecole des Mines de Nantes & IRCCyN (UMR CNRS 6597), pour leur accueil et leur contribution à l'avancement de ce travail. Mon travail de recherche sur le terrain a été enrichi grâce à la collaboration de Madame Anne Chané et de l'équipe de la société Proxiway ainsi que de la CdA de La Rochelle et de la RTCR, régie de transports communautaires Rochelais.

Une pensée toute particulière va à ces amis et compagnons de thèse, Tatiana, Samir, Mohammed, Dhaker, Habib, Tchapo, Lila qui voguent déjà ailleurs ou n'ont pas encore fini: la bonne ambiance qui régnait entre nous a contribué à rendre ces années particulièrement agréables. Je tiens aussi à remercier tout le personnel de l'Eigsi: j'ai été particulièrement touchée par les nombreuses marques de sympathie que j'ai reçue de votre part. Un grand merci à Madame Hannelore Guerrand qui m'a proposé l'expérience passionnante de l'enseignement de l'italien aux élèves de l'Ecole.

Je sais gré à Madame Sandrine et Monsieur Nicola Screnci, pour avoir joué le rôle de relecteurs du manuscrit dans toute son évolution, pour leur générosité, leur bonne humeur et l'intérêt manifestés à l'égard de ma recherche.

Ces remerciements seraient incomplets si je n'en adressais pas à Monsieur Loïc Delaître : sa rencontre, à La Rochelle, en 2008, a été l'élément déclencheur qui m'a, d'une part, rapprochée du domaine de la logistique urbaine, de l'autre, fait comprendre la valeur d'une thèse et toutes ses nuances. Le moment venu, ses conseils et son expérience m'ont permis d'entrevoir dans un parcours de thèse une opportunité de reconversion professionnelle et très rapidement, grâce à son rôle d'intermédiaire, j'ai pu repartir pour cette nouvelle aventure.

Je ne peux passer sous silence l'appui de ma famille et des amis qui ont été à mes côtés tout au long de ce chemin: merci Karen, Claude, Martina, Katy, Renaud et Dora, Cyril, Fathia, Jean-Paul, Djorgiça et Hervé, Matthieu et Hafida, Mathieu et Luciane, Françoise, Dominique, Celia, Blandine, Henry, Bernard, Irène mais aussi Reine Maria, Stefano, Florinda, Fosca, Dario, Cristina, Stefania, Francesca et Vito, Magda et Alfio, Laura et Matteo, Emanuele, Paola et Simone, Luca et Maria…

Dulcis in fundo, du fond de mon cœur, *Grazie Mille Sandro*, mon compagnon de vie, tu me rassure et soutiens au quotidien, tu m'aides à canaliser mes énergies avec les passions qui m'habitent. *Se non ci fossi bisognerebbe inventarti!*

RESUMÉ

La mobilité urbaine est clairement identifiée aujourd'hui comme étant la mobilité des personnes et des biens dans une ville. Si les passagers ont connu l'effervescence scientifique pour la planification des transports, le développement de nouveaux services ou encore la mise en place de systèmes d'information sophistiqués, il demeure une composante encore trop méconnue qui est celle du transport de biens. Par ailleurs, intuitivement, les deux flux s'influencent mutuellement puisqu'ils utilisent la même infrastructure. Alors, pour une autorité organisatrice des transports, l'objectif est, à terme, de rationaliser les flux de passagers et marchandises pour réduire la congestion, la pollution et la consommation d'énergie, étapes nécessaires au développement urbain durable. Par conséquent, les services techniques de déplacements des villes s'interrogent sur les méthodes et outils pour pouvoir intégrer ces deux types de flux lors de la prise de décisions liées à la mobilité urbaine.

Cette thèse, conduite dans le cadre du projet de recherche national ANR CGOODS qui réunit plusieurs partenaires académiques et institutionnels, se propose d'évaluer l'intérêt de la mise en œuvre d'un système de transport urbain mixte au profit de voyageurs et du fret. Le système de transport proposé assure la distribution de marchandises à partir d'un centre de distribution urbaine, en s'appuyant sur une ligne de transport en commun. Les véhicules circulant sur la ligne utilisent leur capacité résiduelle pour transporter les marchandises. Les marchandises sont déchargées aux arrêts de la ligne. Un système de distribution capillaire associé à chaque arrêt assure la livraison aux destinataires finaux par des tournées. Nous visons à définir d'un point de vue organisationnel et fonctionnel les atouts économiques, environnementaux et sociétaux de ce système ; le but est de fournir un cadre méthodologique pour guider sa mise en place.

Mots clés : transport urbain mixité voyageurs/fret, conception de modèles, support à la décision

OUTLINES

An efficient and effective transport for passengers and goods is an essential element for cities' daily life and development. As passengers need to resort to efficient transport solutions, allowing to reach their destinations at scheduled time, similarly, goods must be handled quickly to avoid creating excessive stocks and to minimize warehouses size and related operating costs. As urban space is a limited resource, it is commonly argued that passengers and goods flows inter-act each other strongly. Considering the fact that both flows are growing and growing in urban environment (European Commission, 2007) the global level of urban accessibility decreases. According to this trend, congestion problems occur and as a result the travel time increases for all.Cities need new scenarios to reverse this trend. Facing this challenge, our research aims at defining a model which will constitute a first framework to plan and to control both passengers and goods flows in the urban environment. It focuses on the sharing concept, which means to make a joint use of transport resources, between passengers and goods flows. Driving under the national research project ANR CGOODS (City Goods Operation Optimization using Decision support System) this study assesses the interest of implementing an shared urban transport system. The proposed transport system ensures the supply of goods in a medium-sized town, from an urban distribution center, based on a transit line that carries passengers. Vehicles running on the line use their residual capacity to transport goods. The goods are unloaded by the stops of the line. An capillary distribution system associated with each stop ensures goods deliveries to final destinations. We aim to define the economic, environmental and societal impacts of this system, the purpose being to provide a methodological framework to guide its implementation.

Keywords : shared urban transport, passengers and freight, models design, decision support tools

RIASSUNTO

Le città sono alla ricerca di strumenti e politiche volte a garantire un'efficace ed efficiente mobilità urbana sia per i passeggeri che per le merci, in un'ottica di sviluppo sostenibile. L'ottimizzazione del flusso di passeggeri e di merci nell'area urbana, finalizzata a ridurre i costi diretti ed esterni legati alla crescente mobilità, sta assumendo sempre maggiore importanza. Il trasporto delle merci, a lungo considerato come un problema non prioritario da affrontare nelle aree urbane, sembra oggi attirare un rinnovato interesse non solo da parte degli attori tradizionali, come le istituzioni e le imprese del trasporto merci su strada, ma anche da parte di nuovi attori, quali le aziende del trasporto pubblico. Alcuni operatori stanno valutando l'opportunità di impegnare risorse su questo tema, con particolare attenzione alla progettazione e alla gestione di soluzioni miste di trasporto urbano che consentano un flusso regolare di passeggeri e merci. La progettazione e la gestione di soluzioni di trasporto miste a favore di passeggeri e merci, potrebbe aprire nuove e interessanti prospettive in termini di estensione dei servizi di trasporto pubblico tradizionali. Purtroppo, poiché gli esempi di coinvolgimento di operatori del trasporto pubblico urbano nel settore delle merci e della logistica urbana sono ancora pochi, non è al momento possibile definire in maniera certa gli effetti dell'integrazione di queste soluzioni innovative nelle tradizionali strategie imprenditoriali. Questa tesi, svolta nell'ambito del progetto di ricerca nazionale ANR CGOODS che unisce diversi partner accademici e istituzionali, ha lo scopo di valutare l'interesse della realizzazione di un sistema di trasporto urbano misto a favore di passeggeri e merci. Il sistema di trasporto proposto prevede la distribuzione di merci a partire da un centro di distribuzione urbana, attraverso una linea di trasporto pubblico. I vettori di trasporto pubblico circolanti sulla linea sfruttano la loro capacità residua per trasportare le merci. Le merci vengono scaricate alle fermate della linea. Un sistema di distribuzione capillare garantisce il recupero delle merci alle fermate della linea e il recapito alle destinazioni finali tramite giri di consegna realizzati con cargotricicli a assistenza elettrica. La ricerca intende definire da un punto di vista organizzativo e funzionale i punti di forza economici, gli impatti ambientali e sociali di un tale sistema di trasporto urbano, con l'obiettivo di fornire un quadro metodologico per orientare la sua attuazione.

Parole chiave : trasporto urbano misto passeggeri/merci, concezione di modelli, strumenti di supporto alle decisioni

ERRATA

-Page 73. Au lieu de: il sera vendu et acheté sur un marché; des consommateurs les achèteront car ils percevront les bénéfices qu'ils iront en tirer et ainsi satisfaire leurs besoins.

lire: *il sera vendu et acheté sur un marché: des consommateurs l'achèteront en fonction des besoins qu'ils pourront satisfaire et des bénéfices qu'ils pourront en tirer.*

-*Page 75*. Au lieu de: nous proposons ainsi un modèle de gestion…

lire: *nous proposons un modèle de gestion…*

-*Page 76*. Au lieu de: Les tournées sur le schéma de gauche représentent les transports de marchandises traditionnels.

lire: *Dans le schéma de gauche le transport de marchandises est représenté par des tournées traditionnelles.*

-*Pag 77*. Supprimer: Cette configuration évite d'introduire des ruptures de charge aux arrêts car le livreur peut être embarqué dans les moyens de transport en commun.

-*Pag 78*. Au lieu de: Cette configuration nécessite moins de personnels mais elle impose une très grande rigueur de gestion et des perturbations en cas d'alea.

lire: *Cette configuration nécessite moins de personnels mais elle impose une très grande rigueur de gestion des perturbations en cas d'alea.*

-*Pag80*. Au lieu de: Chacune de ces solutions présentent évidemment des avantages…

lire: *Chacune de ces solutions présente évidemment des avantages…*

Déplacement de la phrase: Le transport en mode piéton est une solution particulièrement simplificatrice déjà adoptée, par exemple par La Poste dans la ville de Marseille.

Avant la phrase: *Nous étudierons plus particulièrement les configurations synchrones et asynchrones.*

-*Pag 81*. Déplacement de la phrase: Le système est celui qui nous avons étudié et détaillé.

avant la phrase: *Les nœuds d'interface entre le transport longue distance et la distribution coutre distance aura ainsi les fonctions de massification de flux et de surface de stockage, tant pour les passagers que pour les marchandises.*

Ajouter la phrase: Il sera constitué de deux parties, une dédiée aux passagers et l'autre aux marchandises

Avant la phrase: *La partie dédiée aux marchandises sera inchangée…*

-*Pag 85*. Ajouter : (″)

A la fin de la phrase: Le respect des exigences de sécurité est attesté par la mention ….sur le cadre de la bicyclette.

-*Pag 86.* Au lieu de: Ainsi, les conteneurs pleins ou vidés peuvent être introduites dans une zone réservée si le vecteur n'est pas saturé sans gêner..

lire: *Ainsi, les conteneurs pleins ou vidés peuvent être introduits dans une zone réservée, si le vecteur n'est pas saturé, sans gêner…*

-*Pag 88.* Au lieu de: Si la première situation a lieu, le cargo tricycle ne fera que charger le conteneur plein et démarrer a sa nouvelle tournée.

lire: *Si la première situation a lieu, le cargo tricycle ne fera que charger le conteneur plein et démarrer sa nouvelle tournée.*

-*Pag 89. Au* lieu de: Changements

lire: *Chargements.*

-*Pag 90.* Au lieu de: Il est évident que dans le cas du système asynchrone, il faut prévoir un plus…

lire: *Il est évident que dans le cas du système asynchrone, il faut prévoir en plus…*

-*Pag 91.* Au lieu de: Caractériser cette activité, anticiper et évaluer les adaptations qu'il est possible de faire dans le cadre du nouveau système vont nous amener…

lire: *Caractériser cette activité, anticiper et évaluer les adaptations qu'il est possible de faire dans le cadre du nouveau système nous amènent…*

Au lieu de: Pour ce faire, nous devons établir des analogies entre l'organisation du processus de transport urbain mixte et l'organisation d'un processus de fabrication industriel.

lire: *Pour ce faire, nous devons établir des analogies entre l'organisation du processus de transport urbain mixte et l'organisation d'un processus de fabrication industrielle.*

TABLE DE MATIERES

INTRODUCTION GENERALE

1 CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE 10

1.1 Introduction 10
1.2 Positionnement des travaux 12
1.2.1 Ville moyenne 12
1.2.2 Mobilité urbaine 15
1.2.3 Concept de mobilité urbaine durable 21
1.3 Problématique de la rationalisation des déplacements urbains 25
1.3.1 Clefs du changement 25
1.3.2 Intégrer pour rationaliser 27
1.3.3 Focus sur la mixité 28
1.4 Conclusion 32
1.5 Bibliographie 35

2 ETAT DE L'ART DES EXPERIENCES DE MIXITE 41

2.1 Introduction 41
2.2 Approche d'analyse 42
2.2.1 Transport urbain comme un système 42
2.2.2 Proposition d'un référentiel de performance 45
2.2.3 Etude des solutions de mixité 46
2.2.4 Principaux enseignements 54
2.2.5 La prise en compte de l'intéroperabilité 59
2.2.6 Conceptualisation 61
2.3 Conclusion 64
2.4 Bibliographie 66

3 CONCEPTION ET PILOTAGE DU SYSTEME 73

3.1 Introduction 73
3.2 Conception du système de transport urbain mixte 74
3.2.1 Système adapté à une ville moyenne 74
3.2.2 Structure 76
3.2.3 Ressources mobilisées par le modèle 81
3.2.4 Problème du dimensionnement des ressources 90
3.3 Pilotage du système : la référence aux approches de gestion de production 91
3.3.1 Décomposition en unités autonomes de production 91

3.3.2 Données techniques et autres définitions ... 93
3.3.3 Analogies avec le pilotage du système industriel ... 98
3.4 Adaptation de la méthode MRP au transport urbain mixte ... 99
3.4.1 Rappels de la logique de la planification MRP ... 99
3.4.2 Comment le PDP devient le PDD ... 101
3.5 Dimensionnement des ressources : simulation charges/capacités ... 103
3.5.1 Dimensionnement des unités de transport en commun ... 103
3.5.2 Le système asynchrone ... 105
3.5.3 Le système synchrone ... 107
3.6 Conclusion ... 113
3.7 Bibliographie ... 116

4 APPLICATION A LA ROCHELLE ... 120

4.1 Introduction ... 120
4.2 Transposition du système de transport urbain mixte à La Rochelle ... 121
4.2.1 Périmètre d'étude ... 121
4.2.2 Ressources de transport ... 122
4.2.3 Structure du système ... 125
4.3 Dimensionnement des ressources ... 126
4.3.1 Estimation de la capacité de transport résiduelle d'Illico ... 126
4.3.2 Estimation des besoins en approvisionnement ... 130
4.4 Evaluation des performances ... 135
4.4.1 Scénarios et méthodologie de comparaison ... 135
4.4.2 Résultats des tests numériques ... 137
4.4.3 Comparaison financière ... 144
4.4.4 Comparaison environnementale ... 147
4.4.5 Comparaison sociétale ... 150
4.4.6 Organisation et financement du système ... 153
4.5 Expérimentation terrain ... 157
4.5.1 Contexte, objectif et scénario ... 157
4.5.2 Les libraires et la logistique du livre ... 158
4.5.3 Mise en œuvre de l'expérimentation ... 160
4.5.4 Deroulement de l'expérimentation ... 162
4.5.5 Bilan de l'expérimentation ... 162
4.6 Conclusion ... 165
4.7 Bibliographie ... 169

CONCLUSION GENERALE

ANNEXE I *188*
ANNEXE II *192*
ANNEXE III *196*
ANNEXE IV *202*
ANNEXE V *206*
ANNEXE VI *217*
ANNEXE VII *223*
ANNEXE VIII *226*
ANNEXE IX *229*

TABLE DES FIGURES

Figure 1-1 : les Cargocycles ® selon trois configurations (source : www.lapetitereine.com) ... 20
Figure 1-2 : les deux dimensions de la durabilité urbaine (Fusco, 2003, pg. 26) ... 22
Figure 1-3 : l'Arpajonnais devant le jardin du Luxembourg et le projet d'un tunnel sublagunaire à Venise Lido ... 29
Figure 1-4 : CityCargo à Amsterdam et projet de tram-fret à l'Ile de La Réunion ... 31
Figure 2-1 : représentation du paradigme systémique (Malhéné, 2000) ... 43
Figure 2-2 : le système de la mobilité urbaine (adapté par Roque et al, 2008 de Vallespir et al., 2002) ... 44
Figure 2-3 : panneaux, messages variables et système de balises à Barcelone et Paris ... 47
Figure 2-4 : Chronopost et l'ELU sous la place de la Concorde (De Barbeyrac, 2012) ... 49
Figure 2-5 : le réseau d'automates logistiques urbains proposé par Consignity à Paris (De Barbeyrac, 2012) ... 50
Figure 2-6 : des consignes Cityssimo, dédiées au e-commerce à Paris (www.cityssimo.fr) ... 50
Figure 2-7 : Berlingo électrique pour faciliter l'auto-approvisionnement des commerçants à La Rochelle ... 51
Figure 2-8 : Cargo tram et E Tram à Zurich et CarGoTram à Dresde ... 52
Figure 2-9 : le schéma logistique adopté dans l'usage mixte de la voirie et des aires de livraison ... 54
Figure 2-10 : le schéma logistique identifié dans l'usage mixte des gares et des parkings ... 55
Figure 2-11 : le schéma logistique identifié dans l'usage mixte des véhicules en auto partage ... 57
Figure 2-12 : schéma logistique identifié dans l'usage mixte des transports en commun ... 58
Figure 2-13 : la prise en compte de l'interopérabilité selon une approche unifiée (inspirée de Roque et Delaître, 2009) ... 59
Figure 2-14 :la prise en compte de l'interopérabilité selon une approche intégrée (inspirée de Roque et Delaître, 2009) ... 60
Figure 2-15 : la prise en compte de l'interopérabilité selon une approche fédérée (inspirée de Roque et Delaître, 2009) ... 60
Figure 2-16 : point de rupture de charge permettant de massifier les flux de passagers et de marchandises ... 63
Figure 3-1 : la ville de La Rochelle, les espaces périurbains et le centre ... 74
Figure 3-2 : évolution d'une ligne de transport en commun en ligne de transport urbain mixte ... 76
Figure 3-3 : les fonctions du système de transport urbain mixte ... 77
Figure 3-4 : la livraison finale est effectuée par un facteur qu'emprunte la ligne TC ... 78
Figure 3-5 : la livraison finale est effectuée par un transfert synchrone sur des véhicules à faible impact ... 78
Figure 3-6 : la livraison finale est effectuée par un transfert asynchrone avec stockage aux arrêts ... 79
Figure 3-7 : les marchandises sont stockées aux arrêts et ensuite récupérées par les clients finaux ... 80
Figure 3-8 : exemple du système mixte avec transport capillaire synchrone et un nœud d'interface ... 81
Figure 3-9 : les traits d'un possible conteneur pour les livraisons ... 83
Figure 3-10 : Chronocity ... 83
Figure 3-11 : possibles conteneurs isothermes ... 84

Figure 3-12 : proposition d'aménagement d'intérieur d'un vecteur de transport en commun 86
Figure 3-13 : couloir de bus et cargo tricycles (Photo : Darchambeau, 2012) 90
Figure 3-14 : décomposition de l'espace urbain traversé par la ligne de transport en commun 92
Figure 3-15 : nomenclature (diagramme à droite) et gamme (diagramme à gauche) d'un bureau 95
Figure 3-16 : nomenclature (diagramme à droite) et gamme (diagramme à gauche) d'un conteneur roulant 95
Figure 3-17 : exemple de nomenclature arborescente faisant intervenir le paramètre temps (t) dans le cas synchrone 96
Figure 3-18 : représentation des gammes opératoires qui déterminent la durée de la distribution des marchandises 97
Figure 3-19 : exemple de planification au plus tard en partant du besoin final 101
Figure 3-20 : exemple de planification au plus tard en partant du besoin final 107
Figure 3-21 : définition de la période et de la maille de temps (Deschamps, 2011) 108
Figure 3-22 : représentation du temps nécessaire au bus pour atteindre les arrêts (Deschamps, 2011) 109
Figure 3-23 : prise en compte de la maille de temps et des délais (Deschamps, 2011) 110
Figure 3-24 : découpage de l'espace urbain en zones rectangulaires avec des densités différentes 111
Figure 3-25 : sur-position de deux découpages même surface/ même densité 111
Figure 3-26 : exemple théorique de couverture cellulaire (Lagrange et al, 1997) 112
Figure 4-1 : le centre-ville et agglomération rochelais 122
Figure 4-2 : localisation du CDU Elcidis 123
Figure 4-3 : la structure du système de transport urbain mixte à La Rochelle 126
Figure 4-4 : fréquentation mensuelle de la ligne Illico sur la période 2009-2011 128
Figure 4-5 : diagramme des phases d'analyse des besoins en approvisionnement 131
Figure 4-6 : arrêts de bus plus entourés de commerces (marqués par le nom en rouge) 134
Figure 4-7 : les véhicules de livraison destinés aux tournées capillaires 136
Figure 4-8 : distribution des conteneurs aux arrêts des bus, selon plusieurs créneaux horaires 142
Figure 4-9 : les coûts globaux associés à l'adoption à la distribution urbaine via des tricycles et des camions 146
Figure 4-10 : consommation énergétique et coûts associés à la distribution via des tricycles et des camions/jour 146
Figure 4-11 : émissions de CO_2 associées au nombre de clients à livrer (g CO_2) 149
Figure 4-12 : les acteurs de la mobilité urbaine 153
Figure 4-13 : les incoterms et la répartition des frais et des risques (source : http://mds-logistics.com) 157
Figure 4-14 : les librairies partenaires, les arrêts de la ligne Illico et la plateforme Elcidis 158
Figure 4-15 : Services PRISME (www.prisme.fr) 159
Figure 4-16 : type de remorque pour le transport capillaire 161
Figure 4-17 : schéma résumant les principaux impacts de l'introduction d'un système de transport urbain mixte (inspiré de Heran, 2000) . 168

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1-1 : les logiques des transports de passagers et marchandises 28
Tableau 3-1 : visualisation de la deuxième étape 102
Tableau 3-2 : visualisation de la troisième étape 102
Tableau 4-1 : itinéraire et données techniques sur la Ligne BHNS Illico 124
Tableau 4-2 : le taux d'occupation maximal de la ligne par tranches horaires dans un jour ordinaire 128
Tableau 4-3 : nombres de bus / tranches horaires/jour ordinaire 128
Tableau 4-4 : caractéristiques des bus circulant sur la ligne Illico 129
Tableau 4-5 : nombre de conteneurs pouvant être transportés/bus/tranche horaire/jour ordinaire 129
Tableau 4-6 : nombre de conteneurs transportables par jour ordinaire et par semaine 129
Tableau 4-7 : quantification des besoins des marchandises par semaine, exprimée en tonnes et en nb. de conteneurs 132
Tableau 4-8 : demande et offre de transport de conteneurs par semaine 132
Tableau 4-9 : tranches horaires de distribution de la demande des commerces sur une semaine 133
Tableau 4-10 : description des caractéristiques de la demande des instances 138
Tableau 4-11 : nombre de véhicules et distance parcourue 139
Tableau 4-12 : utilisation des véhicules 140
Tableau 4-13 : nombre moyen de conteneurs déchargés à chaque arrêt de bus sur la journée 141
Tableau 4-14 : résultats des tests avec réduction des fenêtres horaires 143
Tableau 4-15 : constantes utilisées pour le calcul comparatif des coûts 145
Tableau 4-16 : constantes utilisées pour déterminer les rejets de CO_2 des véhicules électriques 148
Tableau 4-17 : couts externes de la congestion par unité de trafic 149
Tableau 4-18 : coûts externes de la congestion (euros/jour) selon les hypothèses de CESI (2003) 150
Tableau 4-19 : employés associés aux deux modèles logistiques 151
Tableau 4-20 : évolution des nombre d'employés en fonction du nombre de clients, selon les deux modèles logistiques 152
Tableau 4-21 : les acteurs face au transport mixte et les changements induits 154
Tableau 4-22 : les effets induits sur les différents acteurs du nouveau système de transport 155
Tableau 4-23 : grille résumant des livraisons effectuées dans la période d'expérimentation (client/n colis/poids) 162

INTRODUCTION GENERALE

Les flux de marchandises tout comme ceux des personnes évoluent dans un environnement urbain complexe : ces flux, souvent liés, composent le système de mobilité urbaine (Kauffmann, 2000), (Godard, 2009).

L'évolution des espaces urbains à travers le monde se traduit par une transformation des modes de vie et des pratiques de mobilité : on se déplace de plus en plus, pour des motifs toujours plus diversifiés et en utilisant des modes de transport plus nombreux (Banister et al, 2000). La prise de conscience d'une augmentation aussi bien quantitative que qualitative des déplacements oblige à repenser la façon dont on les analyse et dont on les gère.

Deux grands défis attendent la mobilité des personnes dans les villes modernes : la réduction des émissions de gaz à effet de serre issues du secteur des transports et l'amélioration de l'accès aux services pour tous les individus. De nombreuses innovations voient le jour, notamment sous la contrainte du développement durable et grâce à l'initiative d'acteurs publics ou privés. Auto partage, covoiturage, vélos et voitures en libre-service, ces initiatives proposent une réécriture de la mobilité en ville.

Le fret, quant à lui, représente une part non négligeable des flux qui entrent ou sortent de la ville, mais aussi des flux internes à la ville. Il constitue en effet entre 10 et 20% du trafic routier urbain (en véhicules* km). Un pourcentage de 50% du gazole consommé en ville est attribué au transport de marchandises, ce qui correspond à 35% des émissions de CO_2 en zone urbaine (Interface Transport et al, 2009). Mais il ne faut pas voir le fret urbain uniquement comme une nuisance mais plutôt comme un mal nécessaire. En effet, l'attractivité d'une ville, et plus particulièrement de son centre, dépend en grande partie de l'offre qu'elle est capable de proposer en commerces et en services.

Il est donc indispensable d'approvisionner de manière régulière les professionnels mais aussi les particuliers installés dans les centres historiques des villes européennes. Le dernier maillon de la chaîne logistique, le dernier kilomètre, doit donc se trouver pleinement intégré dans les schémas logistiques tout en prenant en compte les contraintes qui lui sont particulières (législation restrictive, difficultés d'accès, limitation des nuisances…).

Cette prérogative doit permettre un développement du transport de marchandises en ville qui pourrait ainsi se faire de manière durable puisque ce développement est inévitable : d'ici 2030, une croissance de 63% du fret urbain (en tonnes* km) est attendue (cette croissance est due notamment au développement du e-commerce et à l'augmentation des fréquences de livraison …) (OECD, 2003).

La recherche de solutions de transport plus efficaces pour les passagers et les marchandises est un sujet d'actualité face à la prise de conscience des impacts de la mobilité urbaine sur le développement durable des villes. D'une part, la Commission Européenne (2007) affirme que pour aller dans le sens d'une mobilité urbaine durable, il est de plus en plus important de faire face aux problématiques liées au transport de personnes et de marchandises de façon intégrée et coordonnée.

D'autre part, les autorités organisatrices de transport ont un réel besoin de solutions de transport afin de développer les relations sociales et économiques de la ville et d'en assurer l'équilibre.

Aujourd'hui on ne dispose pas d'une approche globale de gestion de la demande de mobilité de passagers et marchandises en milieu urbain. La réalité se caractérise plutôt par un ensemble de sous-systèmes de distribution à la recherche d'une optimisation locale et d'une optimisation globale du système de mobilité urbaine qui nous échappe (Commission Européenne, 2007).

Les changements d'approche à la mobilité urbaine souhaités seront possibles seulement à condition que de nouveaux processus organisationnels se mettent en œuvre. Au niveau microéconomique, cela implique pour les villes d'entrer sur de nouveaux marchés et plus généralement d'engager des processus qui se heurtent à différents obstacles qui peuvent être regroupés sous le vocable de "barrières à la mobilité" (ADEME, 2010).

Dans ce travail de recherche, nous visons à concevoir et formuler une stratégie d'optimisation globale de la mobilité urbaine basée sur un principe de mixité.

La mixité est proposée afin de transférer dans le milieu urbain personnes et biens à travers des services de transport innovants, qui : (a) à des conditions de qualité et de coûts similaires aux services traditionnels, visent à faire coexister les deux types de flux ; (b) minimisent l'utilisation du réseau routier en le remplaçant par d'autres modes moins impactant sur l'environnement.

Nous sommes convaincus que la mise en place de services de transports urbains mixtes représente un choix stratégique pour les villes en tant qu'opportunité pour :

- *anticiper des règlementations*. Aujourd'hui un grand débat existe autour de l'évolution des règlementations régissant le transport de marchandises en ville : limitations en horaires, en taille voire en taux de remplissage des camions. La situation actuelle est telle que les règlementations diffèrent d'une agglomération à une autre et même au sein d'une agglomération. Toutes ces zones d'ombre poussent les transporteurs à repenser leurs schémas de livraison en ville. Si l'on ne sait pas encore dans quel sens la législation ira dans les années à venir, on sait par contre que les contraintes seront plus restrictives, d'où la mobilisation accrue des acteurs privés.

- *faire évoluer la politique des transports en zone urbaine.* L'introduction de cette nouvelle offre de service imposerait le développement de procédures d'encouragement étatique comme cela a eu lieu pour les utilisateurs de véhicules électriques qui ont pu bénéficier de subventions de l'ADEME réduisant considérablement, dans certains cas, l'apport économique nécessaire au déploiement de la solution et aux mesures coercitives qui sont susceptibles de faire disparaitre des offres de service classiques au profit de nouvelles.

- *offrir aux acteurs privés du transport et de la logistique des nouvelles raisons opérationnelles de se positionner en milieu urbain*. La conjoncture actuelle voit les acteurs économiques confrontés à une mutation accélérée des facteurs de leur environnement. Les transports urbains sont eux aussi à la recherche d'un nouveau modèle économique. Les 23émes Rencontres Nationales du Transport Public, tenues à Strasbourg du 12 au 14 octobre 2011, ont abordé de la question du financement, de la fiscalité, de la tarification et du modèle économique du transport urbain. L'Union des Transports Publics et Ferroviaires (UTP), à l'occasion des rencontres de Strasbourg, a constaté que depuis deux ans le report modal est en faveur de la voiture, alors que de 2006 à 2008, la mobilité collective y trouvait son compte; " En 2009, la croissance de la mobilité individuelle a supplanté celle de la mobilité collective : + 0,6% versus - 0,3%", selon la direction générale de l'UTP, et situation singulière : dans plusieurs réseaux, alors que le nombre de voyages est en hausse, les recettes chutent. D'un côté, les collectivités territoriales sont exsangues, de l'autre, les opérateurs affirment tout juste survivre en réalisant des marges qualifiées de ridiculement faibles. La situation est telle que l'union patronale estime que le modèle économique actuel étant en crise, il faut le remettre à plat, en inventer un nouveau. La mixité pourrait rentrer alors dans les pistes à exploiter.

Mais la mixité dans le transport urbain n'a pas encore été définie et formalisée en tant que pratique de rationalisation des flux (Chiron-Augereau , 2009). Mixer les deux flux dans les transports en commun n'est pas une pratique consolidée ni dans les mœurs urbaines ni dans la littérature spécifique au domaine. On ne dispose pas d'outils d'aide à la décision, dans ce domaine, adaptés à la situation du décideur qui veut obtenir une estimation des conséquences de ses décisions sur la répartition modale et les flux sur l'environnement, sur l'économie et la performance globale du système urbain de transport.

En réponse à la faiblesse théorique et méthodologique de la recherche urbaine sur le thème (Arab, 2004), nous avons fait le choix de recourir aux sciences de gestion et au modèle industriel qui s'intéressent précisément au pilotage des projets et à l'activité de conception qui les caractérise. Ces travaux de recherche sont alors mobilisés comme une armature méthodologique centrale.

Les sciences de gestion et le modèle industriel, centrés sur la conception et le pilotage des projets, occupent ici le statut de paradigme analogique i.e. qui "se fonde sur la reconnaissance d'une similitude, d'une correspondance, d'une homologie structurelle entre des propriétés partielles de deux

espaces dont l'un, mieux connu, pourra être momentanément constitué comme guide d'investigation du second " (Berthelot, 1990, p. 127).

Ainsi, cette thèse se présente comme une étude exploratoire qui vise à définir, à travers une approche systémique et productique, le fonctionnement théorique et concret d'un système de transport urbain mixte. Le système étudié produit un service de transport urbain. La cible, ici le transport à réaliser, dépend des orientations prises par la ville pour répondre à la demande. La trajectoire, ici l'enchaînement des activités de transport, va dépendre des caractéristiques du système mixte. Les indicateurs de performance porteront sur les trois axes du développement durable : l'économie, la société et l'environnement.

Cependant, cette analyse n'a de sens que face à un sujet propre d'application. Nous avons ainsi réalisé une application dans une ville française de taille moyenne : La Rochelle.

Pourquoi le choix d'une ville de taille moyenne ? Une ville est qualifiée de moyenne taille selon une hiérarchisation qu'on arrive à établir en comparant l'importance de toutes les villes réparties sur un territoire donné (notion de région). La dénomination de "ville moyenne" dépend de la disposition des villes dans l'espace, qui donne lieu à des échanges ville-ville et ville-campagne relevant de la polarisation exercée par chacune d'elles, de leur fonction régionale et de l'importance en soi des villes. Ainsi cette notion ne résulte pas seulement de la taille de la ville, mais aussi et surtout de l'importance de sa fonction régionale, c'est-à-dire de son rôle dans le tissu urbain régional (Desmarais, 1984).

La taille des villes moyennes françaises se situe entre 20000 et 100000 habitants approximativement. Ces deux extrêmes font quelque peu sursauter par leur écart considérable. On ne peut prétendre que ces limites recouvrent une même entité urbaine puisque cette classe pourrait se subdiviser en quelques sous-classes beaucoup plus homogènes dans le cadre d'une analyse structurelle. Toutefois, bien que leur importance démographique soit très inégale, ces villes ont en commun un rôle d'organisation de l'espace et en particulier l'existence de relations. Leur rôle sur l'espace s'observe par leur force d'attraction, par leur polarisation sur les communautés environnantes (FMVM, 2011).

Diverses enquêtes auprès des ménages indiquent que les habitants des villes moyennes se déplacent de façon de plus en plus individualisée sur le plan temporel et cela a des répercussions importantes sur les systèmes de déplacements, en particulier les réseaux de transport public. La mobilité des individus est très liée à la possession d'un véhicule motorisé, qui dépend lui-même des revenus des ménages. Globalement la mobilité est donc très liée à l'évolution des revenus. Les transports collectifs sont d'autant plus utilisés que l'agglomération est importante et bien desservie. Mais il semble bien que la composante "culturelle" soit une des dimensions importante de la fréquentation des transports collectifs urbains.

Ainsi, les déplacements en automobile ne représentent qu'un peu plus du quart de la totalité des déplacements dans une ville comme Zurich, qui dispose d'un bon réseau de transports en commun et d'une forte tradition d'usage de ce mode, alors qu'ils représentent la quasi-totalité dans une ville comme Phœnix (USA) qui ne connaît que l'automobile. Enfin, diverses enquêtes "ménages" montrent clairement que l'usage des transports en commun peut être considéré comme provisoire par la plupart des individus : leur usage est maximum entre 15 et 20 ans. C'est la période où l'usage de l'automobile est impossible, soit que l'on ne dispose pas encore du permis de conduire, soit que l'on a encore des revenus insuffisants pour acquérir une automobile. L'on assiste d'ailleurs chez les personnes âgées à un petit retour vers les transports en commun à partir de 70 ans, c'est-à dire au moment où l'on abandonne progressivement l'usage de l'automobile comme conducteur.

Pour développer les réseaux de transports publics des villes moyennes apparaît un nouvel outil : le bus à haut niveau de service (BHNS). En effet, les BHNS sont choisis par les villes moyennes comme une efficace alternative aux axes lourds de transports en commun en site propre. Par transport en commun en site propre, on entend un système de transport public utilisant majoritairement des emprises affectées à son exploitation. L'approche "système" d'un transport en commun en site propre repose sur trois composantes et sur leur articulation : l'infrastructure (plate-forme, stations, etc.), le matériel roulant et les conditions d'exploitation (modalités de circulation, systèmes d'aide à l'exploitation, information voyageurs…).

Les villes moyennes ne disposent pas de la capacité de financer les coûts d'investissements et d'exploitation générés par la réalisation d'axes lourds de transports en commun. A titre comparatif, le coût d'un tramway français s'élève entre 15 et 35 millions d'euros par kilomètre, en revanche le coût d'investissement du BHNS se situe entre 4 et 10 millions d'euros par kilomètre d'infrastructure.

Environ 100 km de BHNS sont déjà en service en France et de nombreux projets sont en cours. Une vingtaine d'entre eux devraient pouvoir être mis en service à l'horizon 2014 et obtenir des subventions de l'Etat. Par ailleurs, les constructeurs de bus ont saisi le potentiel et proposent désormais des "bus améliorés" avec une image plus moderne et un confort supérieur (Rabuel, 2009), (Certu, 2009).

Des recherches sont en cours sur les questions d'énergie (batteries embarquées, hybridation,…) et d'autres montrent que la création d'une ligne BHNS n'est pas toujours forcement associée à une meilleure fréquentation du réseau. L'évolution des réseaux depuis la création de leur première ligne BHNS fait apparaitre, au contraire, une baisse de fréquentation (Rivoire, 2008).

Enfin, dans une ville moyenne, la réalisation d'une ligne BHNS n'est pas forcément conséquence d'un potentiel de fréquentation important, comme au contraire pour les villes de taille plus importante, où la fréquentation est un facteur déterminant pour l'implantation de lignes de tramways, compte tenu des coûts d'investissement considérables.

Ces constats nous confortent dans la démarche de vouloir introduire la mixité dans les transports collectifs des villes moyennes. Même si mettre au point des pratiques de mixité dans la mobilité urbaine est un défi très difficile, cette approche est sans doute plus facile à réaliser dans les villes moyennes plutôt que dans les grandes. La petite taille des villes moyennes rend la démarche de mixité praticable du point de vue de la gestion de la circulation et du développement des transports.

Nous avons structuré ce travail de recherche en quatre chapitres, qui s'enchainent de la manière suivante.

Dans *le chapitre 1*, nous présentons le contexte et la problématique de cette thèse. Nous nous attardons sur les concepts de ville moyenne et de mobilité urbaine durable. Nous décrivons la problématique de la rationalisation des déplacements urbains de personnes et du fret et nous faisons appel à l'intégration des flux comme possible réponse à cette nécessité. Nous déclinons les formes possibles d'intégration des flux, telles que la mutualisation respectivement de flux de passagers et de flux de marchandises et enfin nous introduisons la mixité. Pour définir les ressources et les modalités selon lesquelles la mixité peut avoir lieu, nous nous inspirons de son application dans le domaine du design de l'espace public (Shared Space Project, 2008). Nous transférons ce concept au domaine des transports urbains en nous appuyant sur le postulat défendu par des spécialistes du domaine (Frost, 2008) (Chiron-Augereau , 2009) (Lefèvre, 2009) (Zuccotti & Konstaninopoulou, 2010) (Levifve, 2011) qu'il y a suffisamment de marge pour pouvoir intégrer les flux de voyageurs et de marchandises dans les infrastructures et dans les moyens de transport urbains existants.

Dans *le chapitre 2,* nous focalisons l'attention sur le transport mixte en tant que solution de rationalisation des flux. Nous répertorions un certain nombre d'expériences de mixité, qu'ensuite nous conceptualisons afin de concevoir un système de transport urbain mixte.

Dans *le chapitre 3*, nous dessinons ainsi la structure du nouveau système de transport urbain mixte ; nous définissons le processus de pilotage du système. Des apports méthodologiques sont introduits, tels que les outils de gestion industrielle et de la recherche opérationnelle.

Dans *le chapitre 4,* nous évaluons les performances du transport urbain mixte à La Rochelle, selon les trois axes du développement durable (économie, société, environnement). Nous nous appuyons sur un système de transport réel : la ligne de transport en commun BHNS Illico, inaugurée en 2009. Nous comparons un système de distribution urbaine de marchandises à partir d'un CDU, en véhicules utilitaires, 100 % électriques, de 5,5 t, avec un système de transport urbain mixte qui assure la distribution urbaine à partir d'un CDU, via les transports en commun, reprise aux arrêts par une flotte de triporteurs pour la desserte capillaire. Nous proposons une organisation à associer au système.

La conclusion générale permet de faire le point et la synthèse sur cette notion de mixité dans les transports urbains et de définir les étapes prioritaires permettant de la mettre en œuvre ainsi que des ouvertures sur de futurs travaux de recherche.

Ce travail de recherche a été développé dans le cadre du projet de recherche CGOODS (City Goods Operation Optimization using Decision support System) financé par l'ANR (Agence Nationale de Recherche). Plusieurs partenaires sont impliqués dans le projet. Au niveau académique, l'EIGSI (Ecole d'Ingénieurs en Génie des Systèmes industriels) et Mines ParisTech (Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris), au niveau institutionnel la Communauté d'Agglomération de Poitiers et enfin Interface Transport, partenaire du monde du conseil, spécialisé en économie des transports. L'objectif principal du projet CGOODS est de construire un prototype d'outil d'aide à la décision permettant aux autorités organisatrices de transport urbain d'optimiser le partage de l'ensemble du système de transport entre voyageurs et marchandises. En ANNEXE I nous fournissons des éléments additionnels sur les objectifs, le déroulement et les résultats attendus du projet.

ABSTRACT

The impact of urban mobility on the sustainable development of cities is the object of increasing awareness and has made the research into more efficient means of passenger and freight transport an issue of great importance.

On the one hand, the European Commission (2007) has stated that in order to move towards sustainable urban mobility it is becoming crucial to address the problems linked to passengers and freight transport in a coordinated and coherent manner. On the other hand, the organizing authorities of the transport system need solutions enabling them to develop and balance the social and economic relations in cities.

Today we lack a global vision for managing the demand for passengers and freight transport in urban areas. A modern urban transport system is in reality an assemblage of sub-systems of distribution subject to local optimization, but the global optimization of urban transport remains out of reach (European Commission, 2007).

The desired changes of strategy in urban mobility may become possible only if new organizational processes are put into place. At a microeconomic level this means that cities have to penetrate new markets and in general establish new processes which are constantly being obstructed by what we may summarize under the term mobility barriers (ADEME, 2010).

Our research aims to conceptualize and formulate a strategy for global optimization of the urban transport system based on the principle of mixing flows.

Mixed flows can be used to move people and goods by means of innovative transport services which a) allow the coexistence of the two kinds of flow while offering quality and costs comparable to traditional services; and b) minimize the use of road networks by replacing these with other more environmentally sustainable modes.

But the mixing of flows in urban transport has not yet been defined nor elaborated as a method for streamlining the movement of goods and people (Chiron-Augereau, 2009). Mixing the two flows in public transportation is not an established practice in urban habits, neither has it been treated in depth by the specialized literature in the field. Decision makers in this domain do not have decision support tools sufficiently adapted to their real concerns, which could enable them to evaluate the consequences

of their decisions on modal interaction and flows, on the environment, the economy and the global performance of the urban transport system.
In order to bridge this gap in the theoretical and methodological research on urban transport (Arab, 2004) we have chosen to apply management science and industrial modeling because these specifically address the implementation of projects and the conceptual aspects which accompany them. Thus our research presents a central methodological framework.

Management science and industrial modeling, which focus on the conception and implementation of projects, are used here as analogy paradigms, i.e. paradigms "based on the recognition of similarity, homologous structures or correspondences between the partial qualities of two spaces of which one, better known, can temporarily be used as a guide for studying the other" (Berthelot, 1990, p.127).

Thus this thesis is a work of investigation aiming to define the functioning of a mixed urban transport system through a systems and production engineering approach. The studied system produces a service of urban transport. The targeted result, in this case the desired transportation, depends on the strategic orientation of the city in response to the demand. The trajectory, the series of transport events, will depend on the characteristics of the mixed system. The performance indicators will be based on the three axes of sustainable development : the economy, society and the environment.

This analysis, however, can make sense only when applied concretely. That is why we have chosen to apply the model to a French city of medium size, La Rochelle.

Why a city of medium size? A city is defined as medium-sized based on a hierarchy of the relative sizes of cities on a given territory (the concept of region). The term "medium-sized city" depends on the relative location of cities in space, which establishes exchanges city to city or between city and countryside showing the degree of polarization resulting from each urban center. At the same time, the term also depends on the function of the city in the region and its importance in itself. Thus the notion of "medium-sized" does not reflect solely the size of a city, but also and chiefly the importance of its role in the region, that is its role in the regional urban fabric.

The size of medium-sized cities in France ranges roughly between 20 000 and 100 000 inhabitants. The considerable difference between these two figures may cause surprise. The lower and upper limits of the definition clearly do not refer to the same kind of urban entity within the framework of a structural analysis and we could subdivide the category into several more homogenous sub-categories. However, despite the differences in demographics, such cities all share an organizational role in terms of space, and notably in facilitating relations. Their role in organizing space can be observed in the power of attraction they exercise on surrounding areas, their polarizing effect on neighboring communities.

The development of public transport networks has seen the arrival of a new tool : the Busway or the Bus Rapid Transit (BRT, or BHNS in French). BRT lines are chosen by medium-sized cities as efficient alternatives which help to alleviate heavy traffic axes of public-transit transport with its own right-of-way. By public-transit transport with its own right-of-way is understood a public transport system which runs mainly on ways reserved for its use. The "system" approach to public-transit transport with its own right-of-way is premised on three components and their interaction : infrastructure (platforms, stations, etc.), the rolling stock, conditions of use (circulation modes, system controls of exploitation, information for passengers, etc.).

Medium-sized cities do not have the resources to finance the investment and the costs of exploitation generated by the implementation of heavy traffic axes of public transport. A French tramway costs between 15 and 35 million Euros per kilometer; by comparison, the investment costs of BRT range between 4 and 10 million Euros per kilometer of infrastructure.

Approximately 100 km of BRT lines have already been put in service in France and a number of projects are under way. About twenty of these should be in service by 2014 and should be able to obtain state subsidies. Moreover, bus manufacturers have become aware of the potential of BRT and are now offering "improved buses" with a modern image and higher level of comfort (Rabuel, 2009), (Certu, 2009).

Research is being conducted on the problems of energy (batteries, hybrid engines) and various works show that the creation of BRT lines does not always lead to more customers using the network. The evolution of the networks since the creation of the first BRT lines shows that, on the contrary, use of the network has decreased (Rivoire, 2008).

In any case, the implementation of a BRT line in a medium-sized city does not necessarily issue from the potential of heavy use, unlike in big cities where the number of potential users is a determining factor for the building of tramway lines, especially given the high costs of such investments.

These observations encourage us to pursue the project of introducing mixing in the public transport of medium-sized cities. To develop the urban mobility practices allowing a mix of passenger and freight transport may be a very difficult challenge, but such a project could no doubt be easier to achieve in medium-sized cities than in big ones. The small size of such cities makes mixing flows feasible in terms of traffic management and transport development.

This thesis was developed within the framework of the research project CGOODS (City Goods Operation Optimization using Decision support System) funded by ANR (the French National Research Agency).

A number of partners have been involved in this project : among the academic institutions, EIGSI (The Engineering School of La Rochelle) and MINES ParisTech ; the Conurbation Authority of Poitiers and finally Interface Transport, a consulting partner specializing in transport economics. The main goal of the CGOODS project is to build a prototype for a decision support tool allowing organizing authorities of urban transport to optimize the sharing of the transport system's entire resources between passengers and freight.

Références bibliographiques de l'introduction générale

ADEME (2010) Feuille de route; les systemes de mobilité pour les biens et les personnes, rapport disponible sur www2.ademe.fr

Arab N. (2004) l'activité de projet dans l'aménagement urbain : processus d'élaboration et modes de pilotage, Les cas de la ligne B du tramway strasbourgeois et d'Odysseum à Montpellier, thèse de doctorat, discipline : aménagement et urbanisme, Ecole Nationale Des Ponts Et Chaussées.

Banister, D., Stead, D., Steen, P., Akerman, J., Dreborg, C., Nijkamp P., Schleicher, R. (2000) European Transport Policy and Sustainable Mobility. Spon Press, London.

Berthelot J.M. (1990) L'intelligence du social, PUF, Paris.

Certu (2009) Tramway et Bus à Haut Niveau de Service (BHNS) en France : domaines de pertinence en zone urbaine revue TEC n. 203, Transports publics et territoires, juil. - sept.

Chiron-Augereau V. (2009) Du transport de marchandises en ville à la logistique urbaine, quels rôles pour un operateur de transports publics urbains ? L'exemple de la RATP, thèse de doctorat, Ecole Doctorale Ville et Environnement, discipline : transport, Université Paris-Est

Commission Européenne (2007) Livret Vert : vers une nouvelle culture de la mobilité urbaine COM (2007) 551 final du 25/09/2007

Desmarais R. (1984) Considérations sur les notions de petite ville et de ville moyenne, Cahiers de géographie du Québec, vol. 28, n° 75, 1984, p. 355-364.

Frost H. (2008) Freight*Bus, the bus that Delivers!, disponible sur www.onroutebus.co.uk

FMVM(2011) Les villes moyennes dans l'espace monde : quelles recompositions en marche ?, Actes des Ve assises de la Federation des Maires des Villes Moyennes, Quimper, 9 et 10 juin

Godard X. (2009) Variété des systèmes de mobilité urbaine face aux enjeux de développement et d'environnement, Colloque international Environnement et transports dans des contextes différents, Ghardaïa, Algérie, 16-18 fév. . Actes, ENP ed., Alger, p. 131-142

Institut pour la ville en mouvement (2001) Mobilités urbaines : les enjeux de la recherche en France et à l'étranger, Synthèse de Jean-Pierre et extrait de conférences, Séminaire international, Juin.

Interface Transport, Gérardin Conseil , LET (2009) Logistique et distribution urbaine , PIPAME

Kauffmann V. (2000) Mobilité quotidienne et dynamiques urbaines. La question du report modal, Presses Polytechniques Et Universitaires Romandes.

Lefèvre B. (2009) Urban Transport Energy Consumption : Determinants and Strategies for its Reduction, S.A.P.I.EN.S, 2.3, disponible sur sapiens.revues.org/index914.html.

Levifve H. (2011) Quels sont les projets de demain ? Compte rendu du 1er colloque FRELON, porpositions raisonnables sur une logistique urbaine, Paris, l'Ecole des Mines.

OECD (2003) Delivering the goods : 21st century challenges to urban goods transport, OECD Publishing

Rabuel S. (2009) Le Bus à Haut Niveau de Service (BHNS) en France, Certu

Rivoire M. (2008) Les transports en commun en site propre (TCSP) en France. Conception d'une base de données pour la société Egis Rail, master TURP, Transports urbains et Régionaux de Personnes, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Université Lumière Lyon 2, septembre

Shared Space Project (2008) Final meeting, Drachten, Netherlands, disponible sur www.shared-space.org/

Zuccotti S., Konstaninopoulou A. (2010) Citylog, toward new solutions for Urban Freight Distribution, Trimestrale del Laboratorio Territorio Mobilità e Ambiente – TeMALab, Vol 3 , N 2 , pagg.29- 26, disponible sur www.tema.unina.it

1 CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

1.1 Introduction

Un service de transport urbain de personnes et de marchandises efficient est un élément essentiel pour l'équilibre d'une ville et participe au développement des relations sociales et économiques (Fusco, 2003).

Les personnes recherchent des solutions de déplacement repondant à leurs attentes, qui leur permettent d'arriver à destination à l'heure, en fonction de rythmes cadencés sur des programmes précis. Le fret, lui aussi, répond à des critères de livraison bien précis comme les délais et doit être déplacé rapidement pour ne pas créer d'immobilisations excessives de stocks et minimiser les dimensions des entrepôts et les coûts de gestion correspondants (Asher, 1997).

À travers toute l'Europe, l' augmentation du trafic dans les centres villes conduit à des encombrements chroniques aux nombreuses conséquences néfastes, en termes de temps perdu et de nuisance environnementale. L'économie européenne perd chaque année près de 100 milliards d'euros, soit 1% du PIB de l'UE, du fait de ce phénomène (Commission Europeenne, 2007).

La circulation urbaine est à l'origine de 40% des émissions de CO_2 et de 70% des émissions d'autres polluants issus du transport routier (Commission Europeenne, 2007).

Le transport de marchandises en ville (TMV) participe à un tiers des émissions urbaines totales : les autres émissions sont induites par le transport de voyageurs (Boudouin, 2006).

Le nombre d'accidents de la route en ville progresse également : aujourd'hui, un accident mortel sur trois a lieu en zone urbaine et ce sont les plus vulnérables, piétons et cyclistes, qui en sont les premières victimes (Commission Europeenne, 2007).

Les villes européennes doivent faire face aux objectifs très ambitieux du secteur des transports, qui sont :

- *respecter le facteur 4 (F4) en 2050,* en utilisant 20% d'Energies Renouvelables (EnR) en 2020 dont 10% de biocarburants. L'expression *facteur 4* désigne un objectif ou engagement écologique qui consiste à diviser par 4 les émissions de gaz à effet de serre d'un pays ou d'un continent donné, à l'échelle de temps de 40 ans (2050). En France, facteur 4 désigne généralement l'engagement pris en 2003 devant la communauté internationale par le chef de l'État et le Premier ministre de

"diviser par un facteur 4 les émissions nationales de gaz à effet de serre du niveau de 1990 d'ici 2050". Cet objectif a été validé par le "Grenelle de l'environnement" en 2007 (Ministère du Développement durable, 2008),

- *respecter un gain de 9% d'énergie en 2016* (Directive Européenne 2006/32/EC - Energy Service Directive ESD),

- *respecter les critères européens en matière de qualité de l'air* - Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe – et atteindre les objectifs européens d'émissions de gaz à effet de serre (GES) des véhicules neufs (130 g CO_2/km moins 10g CO_2/km par les auxiliaires en 2012, 95 g CO_2/km en 2020),

- *respecter les objectifs du Grenelle de l'Environnement* des gaz à effet de serre (GES) des véhicules neufs (120 g CO_2/km) ainsi qu'un objectif de 130 gCO_2/km en 2020 pour le parc roulant,

- *respecter les objectifs du Grenelle de l'Environnement* concernant la répartition modale pour le transport de marchandises avec une augmentation de 25% du fer en 2012 et une part modale du fer de 25% en 2025,

- atteindre les précédents objectifs en cherchant à minimiser les coûts marginaux de réduction des émissions polluantes, c'est à dire les coûts à payer pour mettre en place les procédés réduisant la pollution (Crassous, 2008),

- *assurer une diversification énergétique* permettant d'être plus robuste aux fluctuations du prix du baril et d'être moins dépendant du pétrole, intégrant notamment 10% de biocarburants à l'horizon 2020 (ADEME, 2010),

- *développer une mobilité socialement équitable* permettant à tous d'effectuer au minimum ses "déplacements de subsistance" (i.e. domicile travail, éducation, santé, …), ainsi qu'une activité économique performante impliquant des systèmes de transport et livraison de qualité, en minimisant et optimisant l'utilisation et l'occupation de l'espace public (congestion, stationnement notamment) (ADEME, 2010).

Une approche globale de la mobilité urbaine est alors nécessaire. Cette approche, proposée et défendue par des nombreux auteurs (Bassand et Brulhardt , 1980), (Courgeau, 1988) , (Brun, 1983) , (Bassand et Kaufmann, 2000), (Dureau et Lévy, 2002), (Musso et al, 2007), (Maggi, 2007), insiste notamment sur le caractère intégré et indissociable des différentes formes de mobilité.

En effet, il s'agit de considérer les différentes formes de mobilité comme imbriquées dans des systèmes de mobilité (Bassand et Kaufmann, 2000), en dépassant la segmentation des approches (produit d'une segmentation double, disciplinaire et institutionnelle) qui a longtemps marqué la production d'information sur la mobilité urbaine.

Une telle approche peut constituer un horizon nouveau pour l'action publique engagée dans la régulation des problèmes soulevés par les mobilités.

Nous adoptons une approche globale pour développer le sujet de cette recherche qui traite de la pertinence d'un transport urbain mixte en tant que stratégie de rationalisation des flux de passagers et de marchandises.

Le contexte de vérification de notre hypothèse est la ville moyenne. Les villes moyennes constituent, en France, un enjeu important pour l'aménagement du territoire. Elles ont à faire face aux mêmes difficultés que les grandes agglomérations, mais leur taille leur permet de réagir plus rapidement à toute la problématique des déplacements.

La démarche adoptée aboutit à concevoir un résultat théorique qui sera experimenté et testé dans la ville de La Rochelle. Dans ce chapitre, nous allons présenter le contexte, la problématique et le champ d'application de la recherche.

1.2 Positionnement des travaux

1.2.1 Ville moyenne

Dans l'Union européenne, plus de 60% de la population vit en milieu urbain[1]. Près de 85% du produit intérieur brut de l'UE y est réalisé. Les villes sont le moteur de l'économie européenne. Elles attirent l'investissement et l'emploi. Elles sont indispensables au dynamisme de l'économie.

Nous caractérisons la ville comme un espace dense qui, par son cadre de vie, ses services et ses activités, offre une richesse inestimable à ses habitants.

Selon Etchegoye (2003, p. 5) "les hommes structurent cet espace en tous sens, en hauteur, en longueur, en largeur. Ils le peuplent de matériaux immobiles et visibles – immeubles et bitumes, signaux et éclairages – et d'objets mobiles et visibles – autobus, automobiles et tous types de deux roues. Ils en occupent aussi l'air de pollutions diverses, invisibles mais sensibles". Mais l'auteur remarque aussi que "La ville c'est aussi du temps. Le temps de vivre si notre santé est menacée par les éléments toxiques. Le temps de se remuer, de se déplacer, d'entrer et de rentrer".

[1]Zones urbaines de plus de 10000 habitants (source: Eurostat).

Une ville peut être caractérisée par l'ensemble des déplacements nécessaires à (Fusco, 2003) :

- *répondre à la "demande de ville" exprimée par les personnes*, à travers la nécessité de participer aux activités sociales et économiques de la ville, de développer les activités banales (travail, école, achats, visites et loisirs de proximité) et tous les aspects qui caractérisent la qualité de vie des habitants ;

- *approvisionner le système productif et commercial* localisé dans les villes et distribuer à l'extérieur les marchandises originaires des établissements économiques urbains.

C'est pourquoi une réflexion commune autour de la problématique du transport urbain est aujourd'hui essentielle (Commission Europeenne, 2007). Dans le cadre de cette réflexion, il est à minima nécessaire de prendre en compte la configuration du territoire et la taille des villes car ces paramètres conditionnent les schémas logistiques et les modèles économiques possibles ou acceptables (ADEME, 2010).

Concernant la *configuration du territoire*, un des paramètres influents à retenir est la densité de population. Il peut y avoir les cas de figures suivants : une zone dense - plus de 5000 hab/km² - dans une région dense - forte connexion entre les zones - (Ile de France et premières couronnes, conurbation urbaine régionale); une zone à faible densité dans une région dense (zones pavillonnaires, zone intermédiaire ou mixée habitation/production); une zone dense dans une région peu dense (cas des villes moyennes régionales); une zone à faible densité dans une région peu dense; une zone touristique à fortes occupations temporaires...

Mais d'autres facteurs caractéristiques d'un territoire influencent également les mobilités : le type de population (catégories socioprofessionnelles, emplois…), la densité d'entreprises, le développement du réseau de transports en commun, des modes lourds et des infrastructures, le relief, les obstacles naturels,…

Concernant *la taille des villes*, on distingue d'un côté les grandes villes et de l'autre côté les conurbations[2] et les villes de moyenne dimension. Pendant les années 1990, les grandes villes et les conurbations ont constitué un point fort de débat en Europe, par le défi de combinaison des trois objectifs de la compétitivité économique, de la durabilité environnementale et de la cohésion sociale dans les contextes urbains (Camagni, 1996), (Camagni et Gibelli, 1997). A l'aube du 21ème siècle, les villes moyennes commencent, elles aussi, à être confrontées à des changements fondamentaux et à de nouveaux défis qui les obligent à regarder au-delà de leur horizon immédiat (FE, 1998).

[2] Une conurbation est une agglomération formée par la réunion de plusieurs centres urbains initialement séparés par des espaces ruraux (Insee, 2012).

En France, les villes de taille moyenne[3], regroupant près du quart de la population nationale, revêtent une importance majeure pour le développement local et la mobilité durable. De par leur situation géographique, leur histoire, leur taille, voire leur rôle administratif, les villes moyennes constituent un ensemble relativement différencié (CERTU, 2011a).

Du fait de leur structure et de leur évolution, elles disposent d'une certaine capacité de " résistance " aux mutations contemporaines qui ne laissent pas présager d'une bonne compétitivité à terme. De plus, a contrario des métropoles qui peuvent en partie " s'extraire " de leur territoire, les villes moyennes sont profondément territorialisées et font écho à la géographie des " grandes régions " françaises.

Il est nécessaire, dans une perspective à plus court terme, d'agir sur ces centres urbains en rationalisant les flux urbains de passagers et de marchandises, compte tenu de l'unicité des lieux à mieux partager (la voirie, les infrastructures) et les nombreux objectifs communs.

Les villes moyennes proposent des services de transport de plus en plus diversifiés, afin d'offrir aux citoyens une réelle alternative à l'automobile. En revanche, elles doivent encore appréhender comment agir sur la distribution du fret, qui relève normalement du secteur privé et qui voit à l'origine de son activité des décisions industrielles.

Près de deux réseaux de transport en commun sur trois se situent dans une ville moyenne (CERTU, 2011a). En 2006, 114 d'entre elles possédaient un réseau de transports collectifs urbains desservant ainsi près de 6,3 millions d'habitants. Cependant, sur ces territoires urbains et périurbains la mobilité automobile individuelle reste largement dominante, les modes alternatifs ont davantage de difficulté à convaincre.

Pour les autorités organisatrices de transport, la mise en œuvre de politiques de déplacements volontaristes et coordonnées avec un urbanisme durable s'avère donc particulièrement complexe (CERTU, 2011a).

Si dans une hiérarchie de taille, les villes moyennes sont considérées comme des villes secondaires, elles ont une fonction d'intermédiation. Selon De Roo (2010), la ville moyenne est ainsi une charnière entre la métropole et les espaces ruraux, entre l'économie de la production et l'économie résidentielle, entre un phénomène de polarisation et un phénomène de diffusion.

Les trajectoires résidentielles et migratoires des français se sont inversées. Les français partis de l'espace rural vers les grandes villes retournent maintenant dans les villes moyennes et petites. Le confort territorial (qualité du cadre de vie, des services) – et non plus l'emploi – devient un facteur

[3] Nous entendons par villes moyennes, les villes françaises accueillant entre 20000 et 100000 habitants et leurs agglomérations, cadre de vie d'environ un quart de la population française (CERTU, 2003).

d’attractivité qui oriente les trajectoires migratoires. Aujourd’hui ces villes moyennes sont des laboratoires qui tentent de réconcilier ces deux tendances : polarisation et diffusion.

La plupart de ces villes sont construites autour d'un centre-ville historique : les zones commerciales et/ou industrielles ont évolué dans les environs, mais le centre-ville est souvent très riche avec plusieurs types de magasins ainsi que des artisans et des petites industries.

Par ailleurs, dans les villes moyennes, les citoyens sont souvent plus proches de la vie de leur quartier, plus actifs dans la vie de la cité, plus proches des autorités locales et des hommes politiques que dans les grandes villes.

En conséquence, les impacts (positifs ou négatifs) des améliorations sont rapidement analysés et les décisions d'ajustement peuvent être prises avec une participation active des populations concernées. La sensibilité aux normes ou à des mesures de réglementation est également augmentée. Un dernier aspect concerne la capacité d'investissement de ces villes : la masse critique des améliorations est plus difficile à atteindre, surtout si elles sont considérées séparément.

Il s’agit alors d’identifier des stratégies qui assurent une meilleure utilisation des véhicules (remplissage, conduite, choix de véhicule par mission, multi modalité) et des infrastructures (voiries, parkings, gares, aires de livraison).

1.2.2 Mobilité urbaine

Les conditions sociétales contemporaines (flexibilité professionnelle, autonomie croissante de la sphère de l’habitat par rapport à celle du travail, évolution des moyens de transport, tensions foncières dans les centres urbains, dissémination des fonctions urbaines récentes) ont fait évoluer les caractéristiques de déplacements urbains (Levy, 2009). Se déplacer mieux et plus vite, tout en préservant l’environnement et la santé de la population constitue un défi incontournable.

(Lannoy et Ramadier , 2007) et (Vaultier, 2010) définissent la mobilité urbaine comme : "l’ensemble des déplacements des transportables - personnes, marchandises, informations - dans l’espace urbain, quels que soient la durée et la distance du déplacement, les moyens utilisés, les causes et les conséquences". (Fusco, 2003) définit quant à lui la mobilité urbaine quotidienne comme l’ensemble des déplacements associés aux activités banales (travail, école, achats, visites et loisirs de proximité) et limités à la journée. Ce contexte sous-entend, dans le cadre de notre recherche, l’étude de deux composantes de cette mobilité urbaine quotidienne : le transport de personnes et le transport de marchandises.

1.2.2.1 ***Déplacements urbains des pers`nnes***

Aujourd'hui les citoyens se trouvent face à une offre de mobilité de plus en plus plurimodale. Selon la taille de la ville, les transports urbains se déclinent sur plusieurs modes : le métro, le tramway, le bus, les axes de transport en commun en site propre (TCSP), les services d'auto partage, le taxi et les vélos en libre-service,…

Le métro, depuis un siècle et demi, est un élément vital de l'efficacité des transports publics dans les grandes agglomérations (Ferreira, 1996) (Jacobs, 2011). En 1981, le Comité des Métropolitains de l'UITP (Union internationale des transports publics) définit le métro comme " un chemin de fer conçu pour constituer un réseau permettant le transport d'un grand nombre de voyageurs à l'intérieur d'une zone urbaine au moyen de véhicules sur rails avec contrôle externe, dans un espace totalement ou partiellement en tunnel et entièrement réservé à cet usage ".

Le tramway, quant à lui, est l'un des modes les plus adaptés à de nombreux espaces urbains. Son fonctionnement en site propre en fait une application fiable et non astreinte aux problèmes de circulation et répond aux besoins des collectivités de mettre en place des réseaux de transport rapides, capables de transporter de nombreuses personnes aux heures de pointe. C'est aussi un mode de transport respectueux de son environnement, comme par exemple à Nice où la voie passe sur les deux grandes places publiques : là où une voie bétonnée aurait sectionné la circulation piétonne, le tramway au contraire dynamise la place publique par la discrétion de ses infrastructures et la mobilité urbaine qu'il favorise (Laisney, 2011).

Le bus, classique et usuel, est un mode de transport utilisé par tous. Plusieurs politiques sont mises en œuvre pour rendre le bus plus rapide, plus accessible, plus confortable, plus écologique et plus communicant (Bonnafous, 1996), (Bonnel, 2000).

Le transport en commun en site propre (TCSP) est un site préservé de la circulation automobile et sécurisé qui permet à un matériel roulant de grande capacité de desservir au mieux des axes où se concentrent les plus fortes demandes de déplacements. Les TCSP les plus fréquemment réalisés sont le Bus à Haut Niveau de Service (BHNS) et le tramway (sur fer ou sur pneu). Le caractère structurant de ces lignes et les aménagements qui les accompagnent (aménagements paysagers, réaménagement des places riveraines et des carrefours, création d'itinéraires cyclables…) transforment véritablement la ville.

Le service d'*auto partage* est un service de mise à disposition de voitures pour une courte durée (1 heure ou plus). Il permet d'augmenter le taux d'utilisation d'une automobile en en mutualisant l'usage. L'inscription à ce service permet aux abonnés de réserver facilement un véhicule situé sur un parking à proximité de chez eux. La réservation et l'accès aux véhicules sont facilités par les nouvelles

technologies. Les voitures sont ainsi disponibles 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7. L'auto partage répond à un vrai besoin puisque 70 % des trajets effectués par ce moyen ne pourraient pas être faits autrement qu'en voiture, la desserte en transports publics n'étant pas assez complète, la course en taxi et la location traditionnelle de voiture n'étant pas adaptées pour des trajets de moins d'une demi-journée. L'intérêt environnemental de l'auto partage est double. Il induit pour ses utilisateurs une diminution progressive du nombre de kilomètres parcourus en voiture et donc réduit la consommation d'énergie et les émissions de polluants. En outre, il permet de libérer de l'espace urbain utilisé auparavant pour le stationnement des véhicules. Ainsi une voiture auto partagée remplace en moyenne dix autres véhicules ce qui représente une économie de 1,2 tonne CO_2/Personne/An (Jean, 2000).

Les taxis, quant à eux, ont un rôle important dans l'accessibilité au transport, venant essentiellement en complément des transports publics. Ils répondent aux attentes ultra-personnalisées concernant un trajet, un horaire ou un besoin d'aide, en cas d'handicap physique par exemple ou encore la prise en charge de bagages importants (Darbéra, 2005).

Le vélo est un mode de transport économique devenu aujourd'hui l'ambassadeur de la mobilité douce. Il favorise l'inter modalité, respecte l'espace, facilite la circulation, lutte contre la pollution et encourage l'activité physique des citadins. Ce type de déplacement souple représente un réel trait d'union pour l'accès aux autres modes de transport : il permet une desserte fine et facilite les déplacements ponctuels en centre-ville. De nombreuses collectivités choisissent de financer le vélo par la publicité (Commission Europeenne, 1999). Des besoins différents émergent : des parcs de stationnement sécurisés dans les lieux d'inter modalité, un système de vélos en libre-service, la possibilité de réservation d'un vélo, … (Leborgne, 2010).

Enfin, *la marche à pieds* intègre progressivement les politiques urbaines de déplacement et d'aménagement, au même titre que les autres moyens de transports collectifs. Le code de la rue, démarche participative existant depuis 2006, est la plus représentative de ces évolutions. La ville de Londres et TfL (Transports for London), à travers le programme Legible London déploient une véritable politique d'incitation à la marche. La mise en place de ce programme est parti du constat qu'un quart des distances dans le centre de Londres est plus rapide à parcourir à pieds qu'en métro.

Une signalétique adaptée a été déployée à travers la ville afin d'aider les piétons à s'orienter et de choisir la marche plutôt que le métro. De grands panneaux particulièrement bien pensés ponctuent les rues de la capitale : sur chaque carte, le nord n'est ainsi pas indiqué en haut du panneau mais orienté en fonction de la position de celui qui regarde la carte, un détail insignifiant mais qui permet d'éviter des erreurs d'orientation.

Les passages piétons et zones piétonnes sont clairement indiqués de façon à aider les personnes à mobilité réduite notamment à choisir les bons itinéraires. Au lieu d'indiquer des distances, ces cartes

indiquent les temps de parcours nécessaires pour relier un site à un autre. Les bâtiments sont représentés en trois dimensions afin de faciliter la lecture, en fournissant une représentation littérale pour rendre les cartes plus intuitives.

Le " cercle des quinze minutes " englobe tous les endroits qui peuvent être atteints par une personne en condition physique normale, dans ce laps de temps. Chaque carte inclut également la connexion avec l'ensemble des modes de transports, du métro aux stations de taxi, à disposition alentour (CERTU, 2011b).

Face à cette pluralité de modes de transport, des études montrent que les conditions de viabilité des différents services associés sont difficiles à atteindre. Dans les cas des transports en commun, ils se révèlent viables lorsque la fréquence et le taux moyen d'occupation[4] sont élevés, ce qui n'est généralement possible que dans les grandes villes (WBCSD, 2009), (WBCSD et BCSD Brazil, 2009), (WBCSD et University of Dar es Salaam, 2007), (TERI, 2008), (Tongji University, 2008).

Plus ce taux est élevé, plus l'efficacité énergétique et économique d'un moyen de transport est importante et moins il y a de véhicules sur les voies de communication pour déplacer une même quantité de population.

Dans les villes de plus petite taille, on constate une relative stagnation de l'usage des transports collectifs par rapport aux modes individuels de déplacements (Ries, 2003), (Rivoire, 2010).

1.2.2.2 ***Déplacements urbains des marchandises***

L'ADEME (2010) caractérise l'offre de transport de marchandises comme : " la résultante du système logistique complet des produits, des modes d'organisation et également des infrastructures. La logistique, agissant sous contraintes aujourd'hui essentiellement économiques, arbitre, sélectionne et organise les meilleurs outils (véhicule, énergie, infrastructure, informations) permettant de respecter des objectifs : temps, coût, qualité.

La dimension des métiers (paramètres clés de la chaîne logistique i.e. température contrôlée/sécurité/localisation, type de véhicule nécessaire, type d'énergie, temporalité, modèle économique) conditionne la spécialisation de l'outil (ensemble véhicule/énergie/infrastructure de stationnement, chargement des véhicules)".

[4] Le taux d'occupation d'un véhicule est le nombre de passagers qui empruntent un véhicule lors d'un déplacement. Ce taux peut être exprimé en nombre de personnes par voiture ou en pourcentage de sièges occupés dans le cas d'un moyen de transport en commun.

Les échanges entre l'ensemble des établissements économiques et le transport de marchandises impliquent, souvent, l'utilisation de véhicules utilitaires (moins de 3,5 tonnes) ou encore des véhicules industriels de transport (plus de 3,5 tonnes). Cela représente 13% des déplacements (en véhicules x km) en milieu urbain et 18% en termes d'occupation de la voirie (en véhicules x km "équivalents voitures particulières"). Des enquêtes conduites dans le cadre du programme national de recherche sur les marchandises en villes ont relevé que plus de la moitié des opérations de livraison et d'enlèvement est réalisée par des véhicules utilitaires de moins de 3,5 tonnes.

Au sujet du *commerce électronique*, le Comité Interrégional pour le Transport des Marchandises de Montréal (2005, p. 32) en distingue deux types, l'un à l'intention de l'industrie et l'autre pour les consommateurs. Ce deuxième, appelé aussi commerce électronique de détail, se développe à une vitesse vertigineuse en Europe.

Même s'il est encore embryonnaire, le commerce électronique du détail met énormément de pression sur la chaine de distribution car il suppose des étapes antérieures à la livraison, comme la transmission de la commande, l'emballage et l'étiquetage. Du point de vue de l'aménagement, les implications ne sont pas négligeables. D'une part, une réorganisation des lieux de distribution devient nécessaire. D'autre part, la séquence de livraison est modifiée considérablement car le magasin n'est plus la destination finale, celle-ci étant le domicile ou le bureau. Cette multiplication des destinations privilégie les messageries comme maître d'œuvre de la livraison, mais au prix d'une circulation plus intense sur la route, avec davantage de petites livraisons (Gonzalez Feliu et al, 2012), (Durand, 2009) et les unités de consignation.

Parmi les facteurs qui influent sur la structure de l'offre, nous pouvons citer l'impossibilité de disposer d'une grande surface de stockage pour les petits commerces, en raison du prix du foncier urbain, qui a comme conséquence la multiplication de livraisons. De même, le comportement du consommateur qui souhaite accéder sans délai à un très grand nombre de produits différents se traduit également par une augmentation de nombre de livraisons et une forte demande de flexibilité.

Désormais dans les villes de toute taille, la circulation des véhicules dédiés au transport de marchandises est perçue comme gênante et contraignante pour la perception de l'espace urbain par les habitants. Cependant, l'approvisionnement des villes en marchandises est un "mal nécessaire" : une étude réalisée dans le cadre d'un projet d'implantation d'un centre de distribution urbaine dans la ville de Toulouse par une équipe de l'Université de Toulouse 1 permet de constater que, chaque semaine, 685 tonnes de marchandises entrent dans l'hyper-centre et 54 seulement en sortent, dans la mesure où il s'agit d'un lieu de consommation finale (Ivaldi et Menoud, 2002).

Néanmoins, selon les conclusions du projet européen MOTOS (2007), peu de villes disposent de données précises et localisées concernant le volume ou le poids des marchandises qui entre dans les centres - villes ; l'intégration du transport de marchandises en ville dans les documents d'urbanisme et dans les politiques de déplacement s'est fait très tardivement.

Actuellement peu d'équipements adaptés aux livraisons urbaines sont mis en place. Nous listons quelques exemples :

- *la Petite Reine*. La société a été pionnière dans l'adoption de ce type de véhicules en Europe. Son activité repose sur le constat que les moyens utilisés pour le transport de marchandises en ville sont très souvent surdimensionnés. Une camionnette de livraison pèse plus d'une tonne, elle livre en moyenne moins de 100 kg de marchandises et elle parcourt environ 15 km sur la zone à livrer. Les triporteurs pour le fret pèsent 100 kg, ont une capacité de charge de 180 kg et ils sont non polluants. La société peut livrer tous types de marchandises compatibles avec le volume de 1500 litres de ces véhicules (Cargocycles ®).

Figure 1-1 : les Cargocycles ® selon trois configurations (source : www.lapetitereine.com)

- *FedEx Express et Urban-Cab testent des livraisons écologiques.* Crée en 2007, Urban-Cab a pour ambition de devenir l'un des leaders du transport logistique du dernier kilomètre. SNCF Geodis a investi dans le capital de la société Urban-Cab. À l'aide d'un parc de 15 vélos à assistance électrique, la société propose notamment un service de livraison express de petits colis pour le compte des entreprises de messagerie. Celles-ci souhaitent en effet un accès facile et rapide à des zones du centre-ville de plus en plus encombrées. Ainsi la société a récemment déployé son activité à partir d'une base logistique située au centre de Paris pour l'acheminement d'une partie des colis FedEx en utilisant 3 de ces véhicules avec 13 arrêts par heure en moyenne. FedEx livre au cœur de Paris des livraisons écologiques au moyen de transports différents : d'une part, un véhicule utilitaire électrique d'une capacité de 70 km d'autonomie et d'autre part un tricycle à assistance électrique (40 km ou 6h d'autonomie). FedEx tire un double avantage de ces transports "verts" : il anticipe les restrictions de trafic automobile qui interviennent dans la capitale et peut également améliorer son service client en accédant aux zones piétonnières[5].

[5] p.10 n°239 et p.14 n°247 de LOGISTIQUES Magazine

- *DHL Express : des triporteurs à Rennes.* L'agence de DHL Express à Rennes a conclu un contrat de partenariat avec la société " Formule Courses " pour effectuer des livraisons de petits colis dans le centre-ville. Express compte désormais 4 centres - villes desservis par triporteurs : Lyon, Bordeaux, Toulouse et Rennes. En 2009, 38 300 colis ont été livrés en France avec une distance parcourue de 28 700 km. Ainsi, 2 600 litres de carburants sont économisés par an entraînant une réduction de gaz à effet de serre de plus de 6600 kg. L'entreprise vise une baisse de 30% d'ici 2020[6] .

- *TNT livre Paris en triporteurs.* TNT qui a l'ambition de devenir le premier transporteur " carbone neutre " au monde a investi dans des solutions de livraison urbaine propre. Ainsi TNT livre en triporteurs dans certains quartiers de Paris et devrait déployer ce service dans les villes de province[7] .

Les orientations de ces opérateurs nous font comprendre à quel point le transport urbain de marchandises est crucial pour faire face au défi du développement durable d'une ville. Dans le prochain paragraphe nous détaillons le concept de développement durable et nous proposons un référentiel de performance destiné à évaluer *la durabilité des projets de mobilité urbaine.*

1.2.3 Concept de mobilité urbaine durable

Ce concept est dérivé de celui de développement durable qui a été défini institutionnellement dans le rapport Brundtland de la Commission Mondiale pour l'Environnement et le Développement (Brundtland, 1987) qui stipule qu'un "développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs".

Cette définition très large et vague renvoie au respect simultané de plusieurs objectifs : le développement durable est une trajectoire de développement qui permet la "coévolution" des systèmes économiques, sociaux et écologiques (Brunet, 1997) (CDU, 1998) (Barnier et Tucoulet, 1999) (Torres, 2002).

Il cherche à prendre en compte simultanément *trois piliers :* l'équité sociale, l'efficacité économique et la qualité environnementale.

- *L'efficacité économique*. Il s'agit d'assurer une gestion saine et durable, sans préjudice pour l'environnement et le social.

[6] p.12 n°248 de LOGISTIQUES Magazine
[7] p. 8 n°246 de LOGISTIQUES Magazine

- *L'équité sociale*. Il s'agit de satisfaire les besoins essentiels de l'humanité en logement, alimentation, santé et éducation, en réduisant les inégalités entre les individus, dans le respect de leurs cultures.

- *La qualité environnementale.* Il s'agit de préserver les ressources naturelles à long terme, en maintenant les grands équilibres écologiques et en limitant des impacts environnementaux.

En milieu urbain, le développement durable se traduit par le concept de *"ville durable"* qui, selon (Emelianoff, 2002) (Fusco, 2003) devrait conjuguer des objectifs de viabilité interne et externe (Figure 1-2).

- *En interne*, la ville doit être capable d'assurer ses fonctions urbaines traditionnelles (économies d'agglomération et de proximité, accessibilité et interaction sociale, intégration en réseau avec le monde extérieur) et de maximiser le bien-être collectif local par une intégration positive entre l'environnement naturel, la ville physique avec son héritage culturel, les activités économiques et la société;

- *A l'extérieur,* dans une optique de solidarité spatiale et intergénérationnelle, la ville durable tâcherait de minimiser les pressions sur les écosystèmes globaux et sur les stocks de ressources non renouvelables, sans pour autant prétendre qu'elle puisse vivre uniquement de ses ressources locales et conscients du rôle que la ville doit donner à l'innovation et au développement global.

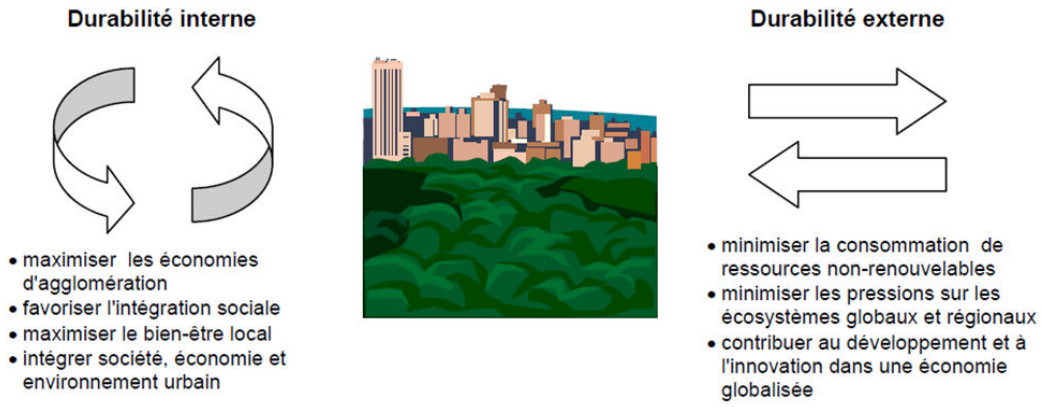


Figure 1-2 : les deux dimensions de la durabilité urbaine (Fusco, 2003, pg. 26)

Pour aller vers une ville durable et atteindre les objectifs fixés par la stratégie " Europe 2020 ", c'est à dire la stratégie de croissance que l'Union européenne a adoptée pour les dix années à venir, les villes doivent inventer des solutions innovantes pour améliorer la qualité de vie de leurs habitants. Nous avons à affronter deux défis majeurs : le réchauffement climatique et la pénurie énergétique.

En matière de transport, dans l'esprit du livre blanc de la Commission européenne (2010) les villes ont besoin de systèmes efficaces qui favorisent le développement économique, tout en diminuant la

pollution. En conséquence, le concept de ville durable peut être dérivé en mobilité durable. De manière un peu simpliste nous pouvons considérer que la mobilité est durable si elle contribue de manière effective à l'atteinte de l'objectif de durabilité défini au niveau supérieur, c'est-à-dire au niveau de la ville.

En fait, les enjeux de la mobilité urbaine durable sont beaucoup plus complexes : la mobilité telle que nous l'entendons au niveau urbain, induit des flux de natures différentes et implique de nombreux acteurs aux objectifs souvent antagonistes.

Si les autorités locales sont largement sensibilisées par la mise en œuvre de services de transport destinés aux passagers et aux marchandises dans une perspective de durabilité, elles s'interrogent en particulier sur la rationalisation des ressources de transport tout en assurant le développement des relations sociales, économiques et l'équilibre urbain.

La *durabilité de la mobilité urbaine des personnes* peut se définir en fonction de sa capacité à répondre aux finalités suivantes (Fusco, 2003) (Levy, 2010) : assurer aux citadins une accessibilité équitable aux transports urbains, coordonner les temporalités privées au nom de l'intérêt général, de la maximisation des économies externes et de la lutte contre les inégalités sociales.

Dans la planification de leurs services de transport des personnes, les municipalités reconnaissent de plus en plus l'importance des modes de déplacement multiples et des priorités plus élevées consenties aux transports actifs, aux transports en commun et aux véhicules à coefficient élevé d'occupation.

On ne peut pas parler aujourd'hui de *durabilité de la mobilité urbaine de marchandises*. Dans le domaine de la logistique, les efforts ont principalement porté sur l'acheminement de fret sur de longues distances.

La logistique urbaine a été négligée au profit du transport de passagers et était masquée par l'ensemble de la supply chain (Bossez, 2009). Par conséquent, la notion de logistique urbaine durable n'a été développée que marginalement, au sein de la notion de " gestion durable des chaînes d'approvisionnement " ou " sustainable supply chain management " (SuSCM) (Morana, 2010).

Le concept de " supply chain management " est apparu au début des années 1990 et se définit comme le management intégré du processus logistique selon un flux coordonné entre les entreprises solidaires de la même chaîne de valeur (Belin - Munier, 2008). L'intégration du développement durable fait émerger deux nouvelles dimensions – sociale et environnementale.

La prise en compte du développement durable dans le " supply chain management " amène les entreprises à internaliser une part des coûts d'environnement et des coûts sociaux qu'elles auraient auparavant rejetés à l'extérieur (Jouenne, 2010).

Ainsi, plusieurs programmes de développement durable sont appliqués aujourd'hui, tels que la certification ISO 14001 concernant le management environnemental, l'utilisation d'énergies renouvelables, la réduction de la consommation d'eau, le tri et le recyclage des emballages (programme Eco-Emballages), l'aménagement du territoire grâce notamment au développement des produits du terroir, le développement du commerce équitable, l'intégration de travailleurs sociaux, etc.

Au plan du transport urbain de marchandises, les programmes durables concernent plus spécifiquement la formation des chauffeurs à l'éco-conduite, l'utilisation de modes de propulsion hybrides ou le développement du transport multimodal combinant la route, le fer, le fluvial, pour réduire la consommation énergétique, les émissions de gaz à effet de serre et la congestion des axes routiers (Jaegler et Burlat, 2012).

D'autres initiatives en faveur d'une logistique orientée vers les exigences du développement durable sont prises. Par exemple, dans le secteur des produits de grande consommation, le Global Commerce Initiative (GCI) a défini les changements clés à opérer en vue de la future supply chain 2016 (Cap Gemini, 2008).

Sept domaines d'amélioration ont été identifiés au niveau de :

- la logistique du point de vente : inclut la visibilité de la demande, la disponibilité des produits en linéaire, l'interaction avec le consommateur ;
- la distribution collaborative : inclut les transports, les entrepôts et les infrastructures mutualisés ;
- la logistique inverse : inclut le recyclage des produits, des emballages et des actifs ;
- la gestion collaborative de la demande : planification, exécution et contrôle conjoints ;
- l'identification et le marquage des produits ;
- des actifs efficients : formes alternatives d'énergie, véhicules hybrides, bâtiments HQE ;
- des business plans et tableaux de bord partagés.

Dans cette perspective, les acteurs de la supply chain sont amenés à jouer leur rôle pour accomplir les changements qui recouvrent pour partie des challenges existants, mais aussi de nouveaux défis liés au développement durable (Jouenne, 2010) (Burlat et Jaegler, 2011).

En ce qui concerne les municipalités, il existe un certain nombre d'initiatives pour ce qui est d'appuyer les centres mixtes de distribution et l'instauration en milieu urbain de parcours plus efficients de transport.

Des véhicules de transport plus durables sont utilisés pour les déplacements entre les ports, les terminaux et les centres urbains. Toutefois, les municipalités ne sont pas encore en mesure d'équilibrer les incidences sur les résidents directement visés et les besoins économiques et opérationnels des entreprises et des fournisseurs. Elles ne disposent encore ni d'information fiable sur comment restreindre les temps de livraison, ni d'information sur le statut à accorder aux véhicules de livraison de marchandises par rapport aux autres véhicules.

1.3 Problématique de la rationalisation des déplacements urbains

1.3.1 Clefs du changement

Trouver des leviers d'amélioration qui puissent agir sur les passagers et sur les marchandises n'est pas facile pour les autorités locales, car les déplacements urbains de personnes et marchandises sont assurés par des logiques de transport très différentes (Ogden, 1992) (Delaître, 2012).

Selon (ADEME, 2010), les clefs du changement se trouvent dans la maîtrise des trois paramètres suivants :

- l'*interopérabilité des modes de transport :* cette caractéristique permet de passer d'un mode à l'autre sans rupture, simplement, rapidement, en simplifiant le paiement et sans effort préparatoire démesuré. Ceci permet d'imaginer des déplacements aujourd'hui complexes, d'enchaîner plusieurs véhicules et modes de transport pour aller d'un point A à un point B. L'interopérabilité est grandement facilitée par le partage d'informations des différents modes, donc la mise à disposition des acteurs de données publiques, ainsi qu'une meilleure gestion des infrastructures. Voici quelques exemples non exhaustifs de solutions déjà existantes qui visent à mettre l'interopérabilité des modes de transport. Aux Pays - Bas, depuis 1990, *un service taxi-train* est proposé, dans un certain nombre de gares. Crée à l'initiative des Chemins de fer néerlandais (NS), le service a été introduit suite au constat que le manque de transports avant et après la gare représente un obstacle à l'utilisation du train. Le trajet en taxi depuis où vers la gare a un prix forfaitaire réduit, le service est disponible de 7h à minuit et aussi la nuit dans les grandes villes. Le taxi peut attendre jusqu'à dix minutes que d'autres clients arrivent. Les défauts pointés sont des délais d'attente trop longs dans les gares peu fréquentées et des files d'attente dans des grandes gares, ainsi que la difficulté à faire accepter le système aux taxis locaux. Toujours aux Pays-Bas, le groupe belge TEC, exploitant de la société régionale wallonne du transport (SRWT, couvrant Liège, Namur, Charleroi,..), à l'issue de sa campagne de test, depuis mai 2010, permet aux clients de bénéficier gratuitement d'un *vélo pliable couplé avec l'abonnement aux transports en commun*. Conçu pour l'inter modalité, le cycle d'encombrement réduit pèse moins de 10kg, se plie en dix secondes, n'a pas de chaine salissante, mais une courroie et reste immobile une fois plié dans le

bus. Avec l'achat de l'abonnement annuel aux bus, moyennant une caution de 50 euros, les clients bénéficient gratuitement du vélo, entretenu par CycloTec et assuré contre le vol (Nangeroni, 2011).

- *la mobilité en partage* : ce paramètre traduit un modèle économique très différent par rapport à celui conventionnel. Son adoption a des conséquences sur les usages des objets, donc à plus long terme sur les caractéristiques et les performances des véhicules. Basée sur l'économie de la fonctionnalité, à l'image du vélib[8] et de l'autolib[9], la mobilité en partage utilise la location courte durée mais également l'auto partage dans la sphère privée, le covoiturage, et bien sûr les transports publics. Cela permet d'assurer tout ou une partie des trajets quotidiens sans être propriétaire de son véhicule. Ce découplage permet une plus grande souplesse tant intellectuelle qu'économique dans le choix d'un mode pour un trajet. Voici quelques exemples de mise en œuvre de ce principe. *La création de voies réservées aux véhicules à occupation multiple*, sur les autoroutes pénétrant dans les grandes agglomérations, également ouvertes aux véhicules de transport en commun, est apparue aux Etats-Unis, dans les années 70. Le concept a été importé en Europe dans les années 90, timidement malgré les encouragements de la Commission Européenne avec Icaro (Increase of Car Occupancy through innovative measures and technical instruments), lancé en 1997, pour une durée de 27 mois. La promotion de la location de véhicules entre particuliers est une expérience qui a été lancée par des sites Internet qui jouent le rôle de l'entremetteur et proposent une vérification du véhicule plus une assurance en cas de problème. Pour les propriétaires, l'objectif est de " rentabiliser " la voiture qu'ils utilisent souvent très peu, et pour les locataires de disposer d'une voiture à moindre coût. Nous pouvons citer comme site de location auto entre particuliers : en France Buzzcar, unevoiturealouer.com, voiturelib.com, aux Etats–Unis Realyrides, en Angleterre Whipcar (Nangeroni, 2011).

- *les technologies de l'information et de la communication (TIC) évoluées* : grâce à une connexion permanente aux réseaux sociaux, ainsi qu'au partage et à la création d'information par les citoyens, ces technologies permettent d'apporter une véritable rupture en matière d'usage des véhicules, des énergies et des infrastructures. Quelques exemples de mise en œuvre de ce principe: *l'instauration du système " pay as you move "*, qui permet de moduler les tarifs indirects des mobilités (péage, stationnement, assurance) en fonction de l'usage du véhicule. Une fois généralisé, ce système qui s'apparente au péage urbain doit permettre de moduler la demande de transport, donc de lisser les pointes et de favoriser des transferts du véhicule personnel vers des solutions alternatives. Dans un scenario futuriste idéal, les données auront été ouvertes, les clients seront guidés par un assistant personnel mobilité et une méta-autorité sera capable d'arbitrer en

[8] Vélib' (mot-valise, contraction de vélo et liberté) est le système de vélos en libre-service de Paris disponible depuis le 15 juillet 2007 (source : site internet de Velib).
[9] Autolib' (mot-valise, contraction de automobile et liberté) est le service de voitures électriques en libre-service (autopartage) de l'agglomération parisienne dont la mise en place date de décembre 2011 (source : site internet d'Autolib).

temps réel les tarifs en fonction de la demande et de l'offre. *La gestion dynamique du stationnement* est, quant à elle, une mesure pour permettre aux automobilistes qui cherchent un parking de disposer d'une cartographie dynamique des places disponibles. La ville de San Francisco a déployé en 2010 le SF Park, un système en temps réel pour informer les automobilistes de la location et de la disponibilité de place de stationnement sur la voirie. De petits boitiers ont été installés sur 6000 places de parking. Ces détecteurs permettent d'indiquer instantanément la présence ou l'absence de voitures sur la place et de relayer l'information à une base de données centrale qui dispense cette information via des panneaux électroniques disposés le long des roues, des cartes dynamiques sur le site Web dédié et des applications sur mobile. Toulouse et Paris mènent également des tests sur des périmètres plus restreints. En complément, l'application mobile ShareMySpot permet depuis 2011 à un conducteur désirant garer son véhicule d'être dirigé immédiatement vers un autre utilisateur sur le point de quitter sa place (Nangeroni, 2011).

1.3.2 Intégrer pour rationaliser

Aborder de façon conjointe les mobilités des personnes et des biens est recommandé par les autorités européennes qui soulignent l'importance de l'approche intégrée dans le développement d'une politique de mobilité urbaine durable. Dans le Livre Vert intitulé " Vers une nouvelle culture de la mobilité urbaine ", publié le 25 septembre 2007, il est énoncé que : " La logistique du fret comporte une dimension urbaine ".

Du point de vue des parties prenantes, toute politique de mobilité urbaine doit englober tant le transport des passagers que celui des marchandises " (Commission Européenne, 2007). Néanmoins, la Commission Européenne n'a pas encore légiféré sur une politique orientée vers l'adoption d'une approche intégrée de la mobilité urbaine, et cela indépendamment de l'échelle des villes. Le terrain de recherche est ainsi encore vierge et laissé aux mains des collectivités locales.

Cela nécessite que les collectivités répondent à des logiques différentes parfois incompatibles résultant des spécificités des entités transportées et de leur comportement.

PASSAGER	MARCHANDISE
Voyage (actif)	Transportée (passif)
Embarque, débarque et effectue les	Doit être chargée, déchargée et transférée

correspondances sans assistance	
Traite l'information et l'utilise sans assistance	L'information doit être traitée par des gestionnaires logistiques
Choisit entre différents moyens de transport sans assistance mais parfois de manière irrationnelle	Les gestionnaires logistiques doivent choisir un mode de transport de manière rationnelle

Tableau 1-1 : les logiques des transports de passagers et marchandises

L'intégration se définit comme une stratégie d'organisation des flux par laquelle les systèmes de transports et leurs ressources sont mis en interaction plus étroite (NEA and Partners, 2003). L'intégration des flux urbains peut se manifester à travers des processus différents, selon que l'on souhaite intégrer des flux de passagers, des flux de marchandises, ou alors intégrer les passagers et les flux marchandises.

Nous parlerons ainsi de "mutualisation" ou de "mixité", selon que l'on intègre des flux d'éléments homogènes ou hétérogènes :

- *Mutualisation transport passagers* : un exemple de mutualisation très connu est le transport en commun qui permet de transporter plusieurs personnes sur un même trajet, en contrepartie d'un titre de transport (billet, ticket, carte). L'un des principes de base des transports en commun est celui de rassembler des voyageurs dans un même véhicule pour réaliser des "économies d'échelle";

- *Mutualisation transport marchandises* : la mutualisation de la logistique urbaine (Paché, 2010), (Gonzalez - Feliu et Morana, 2010), (Capgemini, 2008), quant à elle, vise à mettre en commun des moyens, du personnel afin de regrouper dans un même lieu des marchandises de nature variée et de différentes provenances dans le but d'organiser leur acheminement futur en un minimum de flux optimisés (FNE et ADEME, 2011).

- *Mixité passagers / marchandises :* le transport par avion permet quant à lui d'illustrer la mixité dans le cadre du transport. On peut en effet utiliser des avions spécialisés (combi) qui peuvent changer de configuration de façon à transporter personnes, fret ou les deux, en fonction de la mission à accomplir. Ce type de solution est adoptée aussi dans le transport maritime de courte distance –ou short sea shipping - (navires de type RoRo).

1.3.3 Focus sur la mixité

La mixité dans le transport urbain doit permettre une "utilisation conjointe de *l'infrastructure et des moyens de transport* (*les ressources*) urbain entre passagers et marchandises". Selon les modes de partage qui peuvent avoir lieu, on distingue deux types de mixité : (a) une mixité différée - *les ressources* sont partagées de manière différée (dans le temps et/ou dans l'espace), (b) une mixité simultanée - *les ressources* sont partagées de manière simultanée (dans le temps et/ou dans l'espace).

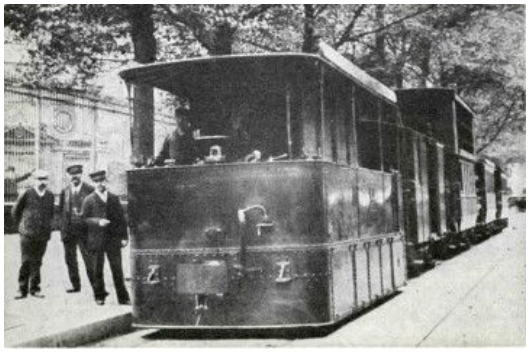
Définie comme telle, la mixité dans le transport urbain est un sujet trop peu exploité. Mais les choses évoluent et face à la nécessité de réduire les nuisances du transport routier et pour répondre au besoin de distribuer des marchandises en zone dense, des actions et des réflexions sont menées autour de la mixité en tant que processus d'intégration du maillon logistique dans les réseaux de transports en commun (Chiron-Augereau, 2009), (Frelon, 2011) (cf. les sites web des projets FILET - Faisabilité de l'Intégration Logistique des Espaces Transport - et IMOT : EP - Intégration des Mixités Opérationnelles Transport : Etats et Possibles, dans le cadre du Programme de Recherche et D'Innovation dans les Transports terrestres PREDIT).

La pertinence des solutions mixtes pour le transport urbain a déjà été démontrée dans le passé. À partir de la fin du XIXe siècle et jusque dans les années 30, certaines lignes de tramway ont été utilisées pour transporter des marchandises. La concurrence du camion et la difficulté de circulation des trams dans une circulation croissante vont mettre fin à ce mode de transport à partir des années 1935, les pouvoirs publics investissant principalement dans des infrastructures routières, synonymes de modernité.

Nous pouvons rappeler des expériences de transport de marchandises mises en place à travers l'utilisation du réseau de transport en commun. On découvre parmi elles :

- la ligne Les Andelys – Etrépagny dans l'Eure, mise en place pour le transport des betteraves et du sucre afin d'éviter les détériorations causées chaque automne par les campagnes betteravières sur les routes : ce tramway à vapeur sur voie étroite mis en place en 1877 fonctionnera jusqu'en 1883, date de la faillite des sucreries desservies. Le tramway aura transporté jusqu'à 18000 t de marchandises par an (betteraves, pulpe, sucre, charbon) pour un coût inférieur à la traction hippomobile (0,25 F la T. km pour le tramway, contre 0,36 F pour la traction classique).

- l'Arpajonais, dénommé aussi " train des haricots ", reliant la zone maraîchère d'Arpajon aux Halles, assura quant à lui le transport de fruits et légumes entre 1894 et 1934. Son exploitation fut stoppée suite à la décision de la Préfecture de Police de Paris de supprimer les tramways parisiens afin de laisser davantage de place à la circulation automobile… En 1927, l'Arpajonais aura transporté 24400 t de légumes et fruits sur un trajet de 37 km, soit jusqu'à 42 wagons par nuit.



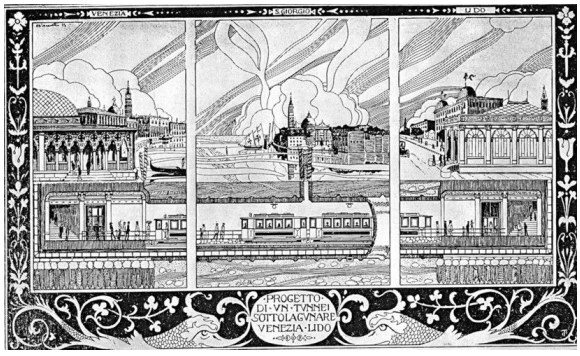


Figure 1-3 : l'Arpajonnais devant le jardin du Luxembourg et le projet d'un tunnel sublagunaire à Venise Lido

- la ligne B de la métropolitaine parisienne (appelée aussi de Sceaux) vit son premier train de marchandises circuler le 4 septembre 1871. Le transport de marchandises concernait les pavés extraits des carrières de la région d'Orsay, le charbon, les matériaux de construction, les productions agricoles, le fourrage pour les chevaux et le vin. Les circulations se faisaient aux heures creuses pour ne pas perturber le service voyageurs. À la fin des années 1940, trois trains réguliers parcouraient la ligne, desservant huit gares affectées au service marchandises et ce, jusqu'en 1971, année où le tonnage remorqué atteignit les 213054 t. Depuis, le trafic marchandises commença à décroître, entraînant la fermeture progressive des gares et la diminution du nombre de trains réguliers (Jacobs, 1995), (Tricoire, 2002).

- *La ville de Venise* a mis au point déjà dans le siècle passé un projet de *ligne métropolitaine* sub-lagunaire pour le transport de personnes et de marchandises, afin de pallier l'affluence excessive dans certaines zones de la ville et la nécessité de contrôler/gérer les flux, spécialement touristiques. Parmi les raisons qui poussaient à réaliser le travail, on citait des problèmes hygiéniques : l'excessif accroissement de la population dans les étroites ruelles (calli) de Venise pouvait produire une rapide propagation de maladies (Pinto et Trentini, 2007).

Le contexte urbain a très largement changé et nombre de ces solutions ont été abandonnées. Certaines expérimentations contemporaines soulignent pourtant l'intérêt que les décideurs ont encore pour les solutions mixtes :

- l'acheminement des marchandises par voie ferrée et véhicules roulant au GNV vers les magasins Monoprix et Monop' de Paris. Il s'agit d'un exemple réussi d'usage fret d'une infrastructure utilisée majoritairement pour le transport de personnes (RER D). Il concerne chaque année 210 000 palettes, soit 120 000 tonnes de marchandises. Les produits transportés sont : les boissons sans alcool, le textile, la beauté et les produits pour la maison et le loisir. Ils sont stockés dans deux entrepôts de la Samada, filiale logistique de Monoprix, situés en Seine et Marne (77) : l'entrepôt de Lieusaint (boissons sans alcool) et celui de Combs-la-Ville (textile, beauté, maison, loisir). Du lundi au vendredi, une navette ferroviaire composée d'une vingtaine de wagons emprunte les voies de la ligne D du RER (axe Paris-Melun), et parcoure les 30 km qui séparent les entrepôts Samada de la Gare de Bercy. Monoprix dispose d'un vaste espace de 3 700 m² dans la halle Gabriel Lamé, spécialement aménagée. La halle peut accueillir jusqu'à 20 wagons à quai pour le déchargement des marchandises. 12 emplois ont été créés sur le site par la Samada. Les marchandises sont ensuite déchargées des wagons, triées puis rechargées dans des camions roulant au GNV sans préparation de commande (cross - docking). Les marchandises sont ensuite acheminées vers les 60 magasins parisiens par une vingtaine de camions "26 tonnes" roulant au GNV, équipés d'un dispositif anti-bruit. Une station GNV équipe la halle de Bercy pour permettre leur approvisionnement.

- *La ville d'Amsterdam* a réalisé un test grandeur nature pour distribuer les colis à destination du centre-ville. Une entreprise privée, City Cargo, a organisé la livraison de la marchandise par tramway. L'entreprise utilisait le matériel roulant de la société GVB, les transports en commun de la ville d'Amsterdam. Ce test s'est déroulé durant le mois de mars 2006 avec deux tramways classiques réaménagés pour l'occasion. Dans un premier temps, les véhicules de fret ont tourné à vide sur le réseau pour pouvoir vérifier que l'exploitation de ces véhicules de marchandises ne perturbait pas l'exploitation des tramways voyageurs. Ensuite City Cargo a réalisé des livraisons réelles pour des marques de vêtements et de boissons. Le point de départ des tramways de marchandises était un espace logistique urbain permettant de conteneuriser la marchandise. Les conteneurs étaient déposés ensuite dans les tramways réaménages à cet effet. Une fois chargés, les tramways s'inséraient sur le réseau et poursuivaient leur course en centre-ville. Le projet d'origine envisageait la mise en exploitation de cinq tramways de marchandises, 47 petits véhicules routiers pour le " dernier kilomètre " et un centre de distribution. A terme, City Cargo avait étudié la possibilité de faire rouler 50 tramways et 400 véhicules de distribution, les lignes étant connectées à quatre espaces logistiques urbains à créer en périphérie de la ville. Faute de financement, le système a été abandonné (Luciano, 2012).

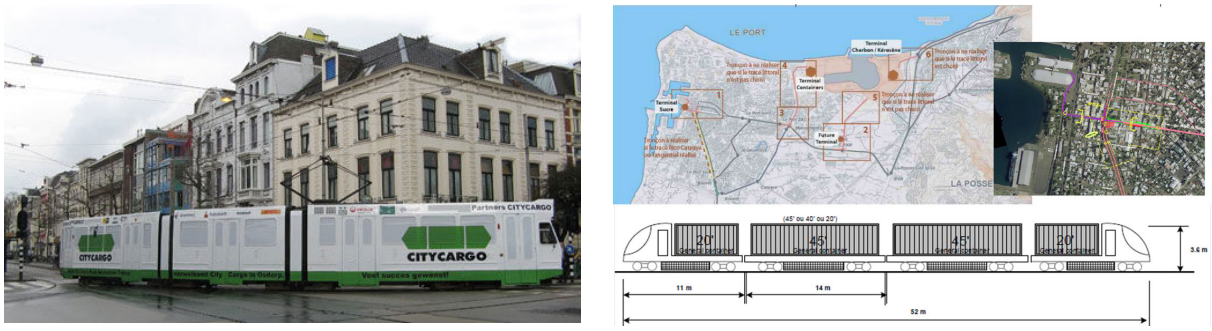


Figure 1-4 : CityCargo à Amsterdam et projet de tram-fret à l'Ile de La Réunion

- *A la Réunion*, des études ont été conduites en 2004 et 2005 sur la faisabilité technique et la viabilité économique de faire circuler des tram-trains marchandises sur les voies du futur tram-train voyageurs, qui devraient être mis en service en 2013. Notamment ceci permettrait de relier le port de la Réunion à Saint-Denis, principale ville de l'île. Cette mise en place d'un tram-train, envisagé dans l'étude à l'horizon 2012, apparaît comme pertinente (compte tenu de l'intérêt financier et de la facilité de mise en œuvre) en particulier pour les marchandises comme le sucre en association avec le charbon, le kérosène et les conteneurs. L'étude stipule que pour ces catégories de produits, l'équilibre économique est présent sans aide particulière (à l'exception du transport de kérosène pour lequel 3,7 millions d'euros – correspondant à une subvention de 50% pour les travaux d'embranchements et à 30% d'aide pour l'acquisition du matériel – sont nécessaires). Une centaine de poids lourds par jour serait concernée par ces produits. Leur transfert correspondrait au passage d'une douzaine de tram-train fret par jour ouvrable et par sens.

L'estimation du nombre de rames par tram-train varie selon le type de marchandises transportées. Toutefois, deux à trois rames semblent le scénario le plus probable.

1.4 Conclusion

La rationalisation des ressources dédiées aux déplacements des passagers et des marchandises en ville est devenue une préoccupation croissante. De nombreuses solutions plus ou moins innovantes sont expérimentées. Elles mettent en œuvre des organisations, des outils et des technologies divers.

Seules quelques-unes franchissent le cap de l'expérimentation et sont pérennisées. La mixité du transport comme toute autre solution prônant l'intégration est pertinente à l'heure où l'importance des émissions de CO_2 des villes et en particulier des déplacements urbains oblige l'ensemble des niveaux de compétence à coopérer afin d'aller vers une mobilité urbaine durable.

Le domaine de la recherche scientifique, quant à lui, est aussi plutôt limité : experts, chercheurs et ingénieurs élaborent des modèles pour l'analyse du transit urbain de passagers et de marchandises mais de tels modèles ne prennent pas en compte l'intégration des deux flux (Roque et Delaître, 2009).

Mais quels seraient a priori les avantages et les inconvénients d'intégration du maillon logistique dans les réseaux de transports en commun à travers la mixité ? Pour explorer ce sujet, nous avons mené des observations sur les tracés des lignes des transports en commun et les liaisons établies par ces lignes entre les zones de la ville, la connexion avec un autre mode de transport, les performances du matériel roulant. Mais nous avons pris en compte aussi l'organisation, les coûts associés et la gouvernance que la mise en place du système mixte demande.

Au sujet des tracés des lignes des transports en commun, ils se caractérisent par le fait d'être bien intégrés dans le tissu urbain et permettraient ainsi une desserte fine des quartiers qui sont généralement des pôles générateurs de trafic. Les lignes des transports publics relient la périphérie au centre, elles sont généralement localisées sur des axes pénétrants les plus importants de la zone agglomérée. Les lignes diamétrales relient deux points de la périphérie en passant par le centre : elles suivent également les axes pénétrants importants de la zone urbaine. Ainsi il est possible d'établir la liaison entre les plates-formes logistiques implantées en périphérie et la partie dense de l'agglomération (Montoya-Torres et al, 2012) (Rouibi et al, 2011).

En ce qui concerne la connexion avec d'autres modes de transport, on peut envisager qu'un réseau de transport en commun soit facilement connecté à d'autres : dans le cas des tramways français, par exemple, l'écartement des voies entre ces derniers et le réseau ferroviaire est généralement identique et il serait possible de reproduire pour les marchandises la solution du tram-train mise en pratique pour les voyageurs.

A propos des performances du matériel roulant propre aux transports en commun, il présente des caractéristiques qui lui permettent d'être plus adapté au milieu urbain que les véhicules routiers, telles que la réduction des nuisances sonores ou encore l'utilisation de l'énergie électrique. Par exemple, les tramways de nouvelle génération ont la capacité de récupérer une partie de leur énergie au freinage, ce qui peut représenter jusqu'à 30% de leur consommation (Oillo, 2009).

En revanche, l'organisation, les coûts et la gouvernance à associer à un système de transport mixte sont des thèmes très complexes. Organiser un transport mixte comporte la prise en compte des rythmes du transport des passagers. Suite aux différentes enquêtes du programme " Transport de marchandises en ville " de 1993, il faut noter qu'il existe un décalage entre les heures de pointe des personnes et celles des marchandises : le transport de marchandises et celui de personnes ont leur propre rythme, ce qui facilite la mixité dans les deux exploitations de jour. Pour éviter tout conflit avec le trafic voyageurs, on peut toujours recourir au transport de nuit.

Cependant, le transport de marchandises durant la nuit engendre des coûts supplémentaires et demande une réorganisation de l'ensemble de la chaine logistique (disponibilité de la marchandise). De plus, l'exploitant du transport urbain organise généralement les travaux d'entretien des ressources de transport (moyens et infrastructure) la nuit.

Les coûts d'un tel nouveau système sont élevés et il est difficilement envisageable qu'un opérateur privé puisse le prendre en charge. Pour atteindre un niveau de pertinence susceptible de justifier l'investissement, la ligne de transport en commun mixte doit cependant être conçue comme un transport de masse. Un centre de distribution urbaine (CDU) est donc nécessaire pour permettre cette massification en périphérie de la ville. L'exploitation d'un tel système ne peut donc être conçue sans recourir à l'intégration de la logistique, un métier qui n'est pas dans la compétence directe des autorités organisatrices de transport urbain (AOTU), aussi bien en amont de la ligne de transport en commun qu'en aval, pour la desserte du dernier kilomètre par petits véhicules à impact environnemental faible ou absent.

Cela ouvre le champ à la question gouvernance du système mixte et milite en faveur d'une intervention de l'AOTU au service d'une offre intégrée voyageurs – marchandises (Oillo, 2009). La recherche se concentre sur ces questions, en s'adressant à l'étude des villes de taille moyenne. Cela parce que, à différence des grandes villes et des agglomérations, la plupart des villes moyennes dispose de moins d'opportunités pour expérimenter la mixité à son échelle. Les autorités organisatrices de transport des villes moyennes nécessitent des stratégies et des solutions de transport destinées aux passagers et aux marchandises afin de développer les relations sociales et économiques et assurer l'équilibre de la ville.

A partir des constats que la capacité totale des transports publics est actuellement sous-utilisée et que le nombre et la taille des véhicules utilitaires opérant dans la ville sont souvent surdimensionnés, nous cherchons à concevoir un système de transport urbain qui optimise les déplacements des flux de passagers et de marchandises dans les trois domaines de l'espace, le temps et les ressources à travers l'introduction de la mixité.

Nous ne cherchons pas à rendre les modes de fonctionnement des deux systèmes de transport urbain, celui des passagers et celui des marchandises, strictement identiques mais plutôt à comprendre leurs différences pour concevoir un système qui permette l'harmonisation de ces fonctionnements aux différents niveaux de décision.

Pour ce faire, nous adoptons dans ce travail de recherche une démarche décomposée en trois phases contenant respectivement les processus de : (i) conception globale du système de transport urbain mixte, (ii) fonctionnement et (iii) pilotage.

Au cours de la phase de conception globale, nous déterminerons les objectifs généraux demandés au système de transport mixte et sa structure. Dans la phase d'organisation du fonctionnement, nous nous occuperons de son organisation, de la gouvernance à mettre en œuvre et des relations entre les acteurs. Dans la phase d'organisation du pilotage, nous déterminerons les différentes actions qui permettront d'atteindre la situation finale décrite au cours de la phase de conception.

Nous allons déterminer les règles de pilotage du système dans l'ensemble du transport urbain. Ce pilotage est hiérarchisé sur plusieurs niveaux de décision, chacun avec des horizons d'actions différents.

1.5 Bibliographie

A

ADEME (2010) Feuille de route; les systemes de mobilité pour les biens et les personnes, rapport disponible sur http://www2.ademe.fr

Ascher F (2009) L'âge des métapoles, Éditions de l'Aube.

Asher F (1997) Du vivre en juste à temps au chrono- urbanisme. Les Annales de La Recherche Urbaine, n.77, pp.113 – 122.

B

Barnier V, Tucoulet C (dir) (1999) Ville et environnement – de l'écologie urbaine à la ville durable. Problèmes politiques et sociaux n° 829, Paris, La Documentation française.

Bassand M., Brulhardt M.-C (1980) *Mobilité spatiale. Bilan et analyse des recherches en Suisse.* Lausanne, Georgi.

Bassand M, Kaufmann V (2000) Mobilité spatiale et processus de métropolisation : quelles interactions ? *Les territoires de la mobilité*. Paris, PUF.

Belin-Munier C (2008) Etat de la recherche sur le supply chain management et sa performance : une revue de la littérature récente, n. 32 Logistique et management Vol.16 n°2, La recherche en logistique : nouvelles pistes, nouveaux enjeux

Bonnafous A (1996) Le système des transports urbains. *Economie et statistique. Regard socioéconomique sur la structuration de la ville* (294-295), pp. 99-108.

Bonnel P (2000) Une mesure dynamique des relations entre transports collectifs, etalement urbain et motorisation. Le cas de Lyon. *Le cahiers scientifiques du transport*(38), pp. 19-44.

Bossez J-C (2009) La logistique urbaine et la ville, Conférence animée par Sandra ROUMI, Rédactrice en chef – BUSINESS IMMO Mercredi 2 décembre

Boudouin D (2006) *Guide methodologique les espaces logistiques urbains,* la documentation française.

Brun J (1983) La mobilité résidentielle et les sciences sociales. Transfert de concept et questions de méthodes. *Les Annales de la recherche urbaine* (59-60), pp. 3-14.

Brundtland G. H (1987) *Our Common Future.* Bruxelles : Commission des Nations-Unies pour l'environnement et le développement.

Brunet R (1997) Le développement durable en haut de l'échelle, Pouvoirs locaux, n° 34, septembre.

Burlat P, Jaegler A (2011) Analyzing carbon emission within supply chains: a discrete-event simulation approach Production Planning and Control

C

Camagni R (1996) Economia e pianificazione della città sostenibile. Bologna, Il Mulino.

Camagni R, Gibelli M.-C (1997) Développement urbain durable – quatre métropoles européennes, La Tour d'Aigues, Editions de l'Aube.

Cap Gemini (2008) Future Supply Chain 2016, Serving consumers in a sustainable way, Global Commerce Initiative.

CDU (1998) Villes et développement durable, dossier bibliographique, Paris, Centre de Documentation sur l'urbanisme.

CERTU (2003) Mieux se déplacer dans les villes moyennes, telechargeable sur http://www.certu.fr

CERTU (2011a) La mobilité dans les villes moyenne,telechargeable sur http://www.certu.fr

CERTU (2011b), Développer la marche en ville : mobilité, santé, sécurité du piéton, 15 septembre , Paris. Actes du Colloque disponibles sur http://www.sante.gouv.fr/colloque-developper-la-marche-en-ville-mobilite-sante-securite-du-pieton.html

Chiron-Augereau V (2009), Du transport de marchandises en ville à la logistique urbaine, quels rôles pour un operateur de transports publics urbains ? L'exemple de la RATP, thèse de doctorat, Ecole Doctorale Ville et Environnement, discipline : transport, Université Paris-Est

Commission Europeenne (1999) *Villes cyclables, villes d'avenir,* Office des publications officielles des Communautés européennes, Luxembourg

Commission Europeenne (2001) *La politique europeenne des transports à l'horizon 2010 : l'heure des choix,* Office des publications officielles des Communautés européennes, Luxembourg

Commission Européenne (2007) Livret Vert : vers une nouvelle culture de la mobilité urbaine COM (2007) 551 final du 25/09/2007

Courgeau D (1988) *Méthodes de mesure de la mobilité spatiale. Migration interne, mobilité temporaire, navettes,* Paris, Ined.

Crassous R (2008) *Modéliser le long-terme dans un monde de second rang : application aux politiques climatiques,* Thèse de doctorat en sciences économiques, CIRED, Nogent sur Marne.

D

Darbéra R (2005) Technologie et regulation des taxis. *RTS Recherche Transport Sécurité*(87), pp. 109-127.

De Roo P (2010) *Les villes moyennes sont des villes d'intermediation,* Mobilité durable dans les agglomerations de taille intermediaire, (pp. 8 -10) Amiens.

Delaître L (2012) Problématique du fret urbain, actes de la semaine Athens, Ecole des Mines de Paris, 19 – 23 mars.

Delaître L, Trentini A, Molet H, Breuil D (2009), Les artisans du BTP à La Rochelle : quels enjeux pour le fret urbain ?, Congrès international ATEC-ITS France 4 et 5 février

Durand B (2009) e-commerce et logistique urbaine : quand le développement durable. *Revue Française de Gestion Industrielle*(2), 7-26.

Dureau F, Lévy J.-P (2002) L'accès à la ville. Les mobilités spatiales en questions. Paris, L' Harmattan.

E

Emelianoff C (2002) Comment définir une ville durable, source : www.ritimo.org/cedidelp/ville durable/intro/emelia.htp.

Etchegoye A (2003). Avant-propos. Dans R. Ries, *Transports urbains : quelles politiques pour demain ?* (pp. 5 - 6).

Faillon M (2009) Quelles solutions pour le transport de marchandises en ville ? Mémoire de fin d'études Master 2 spécialité Logistique, Panthéon Sorbonne Université Paris 1

F

FE (1998) Les villes de moyenne importance en Europe, fondation européenne pour l'amélioration des conditions de vie et de travail office des publications officielles des communautés européennes, Luxemburg

Ferreira J (1996) *Métro, le combat pour l'espace.* Paris, l'Harmattan.

FNE, ADEME (2011) Logistique urbaine : agir ensemble, disponible sur http://www2.ademe.fr

Fusco G (2003) Un modèle systémique d'indicateurs pour la durabilité de la mobilité urbaine : les cas de Nice et Gênes, dans une comparaison internationale, thèse de doctorat de géographie, Université de Nice – Sophia Antipolis.

G

Gonzalez Feliu J, Ambrosini C, Routhier J.-L (2012) New trends on urban goods movement : modelling and simulation of e-commerce distribution. *European Transport \ Trasporti Europei*.

Gonzalez-Feliu J, Morana J (2010) A la recherche d'une mutualisation des livraisons en milieu urbain : le cas du groupe NMPP, Revue Française de Gestion Industrielle, RFGI, V. 29, N 2

I

Ivaldi M, Menoud L (2002) *Projet de centre de distribution urbaine sur le site de Toulouse/Ralynal.* Université de Toulouse 1 - Sciences Sociales, Toulouse.

J

Jacobs G (1995). Les Automotrices Z, un demi-siècle au service de la ligne de Sceaux. La Vie du Rail.

Jacobs G (2011) *Le métro de Paris : un siècle de matériel roulant,* Vie du rail.

Jaegler A, Burlat P (2012) Carbon friendly supply chains: a simulation study of different scenarios, Production Planning & Control Vol. 23, Iss. 4.

Jouenne T (2010) Les leviers de la logistique durable, Revue Française de Gestion Industrielle, Vol. 29, n°1

L

Laisney F (2011) *Atlas du Tramway dans les villes françaises.* Editions Recherches.

Lannoy P, Ramadier T (2007). *La mobilité généralisée. Formes et valeurs de la mobilité quotidienne.* Louvain-la-Neuve : Academia Bruylant.

Leborgne G (2010) Le modèle economique du VLS : le velo en libre service en fin de cycle. *Ville Rail&Transports*(496), pp. 22 - 34.

Lévy J (2010) La ville est le développement durable, Métropolitiques, 3 décembre ? disponible sur http://www.metropolitiques.eu/La-ville-est-le-developpement.html

Luciano F (2012), Cargotrams : Transdev's involvement in City Cargo Amsterdam and other projects, actes de la semaine Athens, Ecole des Mines de Paris, 19 – 23 mars.

M

Maggi E (2007) La logistica urbana delle merci : aspetti economici e normativi. Milano, Polipress.

Ministère du Développement durable (2008) *FACTEUR 4 La réponse au défi climatique* disponible sur http://www.developpement-durable.gouv.fr.

Montoya-Torres J.R, Marquès G, Burlat P (2012) A conceptual framework for location, sizing and operation of urban distribution centers with sustainable performance metrics. 4th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain, Aug 2012, Quebec, Canada.

Montreal (2005) *L'harmonisation du transport des marchandises avec le milieu urbain/ diagnostic,* Montreal par quatre chemins, Comité interrégional pour le transport des marchandises, disponible sur http://www.citm-transport.org/pdf/Conditions-diagnostic.pdf

Morana J (2010) Le Sustainable Supply Chain Management : Une première étape de modélisation, RIRL 2010 The 8th International Conference on Logistics and SCM Research BEM Bordeaux Management School September 29, 30 and October 1st

MOTOS (2007), Transport Modelling : Towards Operational Standards in Europe, www.transport-research.info

Musso E, Burlando C, Ghiara H (2007) La città logistica. Bologna, Il Mulino.

N

Nangeroni C (2011) 10 solutions pour la mobilité dans les villes moyennes, Ville Rail&Transports, N.530, pp 30-36

Nea and Partners (2003), integration and regulatory structures in public transport, final report étude commissionnée par la Commission Europeen DGTREN

O

Ogden K (1992) *Urban Goods Movement.* Ashgate.

Oillo B (2009). Le tramway pour transporter des marchandises en ville ? *Transports Urbains*(116), pp. 22 -26.

Orfeuil J.P (2000) L'évolution de la mobilité quotidienne. Les Collections de l'INRETS. Paris.

P

Paché G (2010) Logistique urbaine mutualisée : quelle stratégie de différentiation pour le commerce alimentaire en ligne ? Revue Française de Gestion Industrielle, RFGI, VOL. 29, N° 2

Pinto F, Trentini A (2007) Le projet de métro sublagunaire à Venise in Terrains : éclairages européens, FLUX 2007/3, N° 69, pp.73-77.

R

Ries R (2003) *Transports urbains : quelles politiques pour demain ?* Disponible sur http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/034000532/0000.pdf

Rivoire M (2010) *Le transport en commun en site propre en France.* Master Professionnel transports urbains et regionaux de personnes (TURP), ENTPE, Université Lumière Lyon 2.

Roque M, Delaître L (2009) Vers une interoperabilité de la modelisation des flux de passagers et de marchandises en milieu urbain, 8ème Congrès international de Génie Industriel, Bagnères de Bigorre, 10, 11 et 12 juin

Rouibi S, Burlat P, Grimaud F (2011) Réduction des stocks d'une chaîne logistique via différents mécanismes de coordination. 12e congrès annuel de la Société française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision (ROADEF 2011), Mar 2010, Saint Etienne, France.

T

TERI (2008) *Mobility as a Driver for Economic Development : India Case Study,* WBCSD Publications.

Tongji University (2008) *Mobility as a Driver for Economic Development : China Case Study,* WBCSD Publications.

Torres E (2002) *Adapter localement la problématique du développement durable : rationalité procédurale et démarche-qualité.* Consulté le 06 07, 2011, sur Developpement Durable&Territoires : http://developpementdurable.revues.org/878

Tricoire J (2002) Le RER, le réseau francilien. RATP.

V

Vaultier E (2010) Vers une mobilité generalisée en haute normandie en 2050, disponible sur http://www.cesdefrance.fr/pdf/10326.pdf

W

WBCSD (2009) Mobility for Development,WBCSD Publications.

WBCSD, BCSD Brazil (2009) *Mobility as a Driver for Economic Development : Brazil Case Study,* WBCSD Publications.

WBCSD, University of Dar es Salaam (2007) *Mobility as a driver for Economic Development : Tanzania-Dar es Salaam case study,* WBCSD Publications.

2 ETAT DE L'ART DES EXPERIENCES DE MIXITE

2.1 Introduction

Les quelques expérimentations présentées dans le chapitre précédent témoignent que la mixité dans le transport urbain n'est pas une innovation, néanmoins on constate une manque de procédures systématiques qui intègrent les différentes phases de mise en œuvre de cette modalité de transport : l'analyse du besoin, l'élaboration des spécifications, la conceptualisation du service, son développement, la phase de test et finalement la maintenance. Cette systématisation n'ayant été encore proposée, toute analyse objective des solutions déjà existantes et leur duplication est difficile.

Nos travaux visent à proposer un modèle de transport urbain mixte et une approche associée support à sa mise en œuvre. Il nous est tout d'abord nécessaire étudier et évaluer les différentes solutions de mixité existantes : à partir des éléments émergents, il nous sera possible de retenir des principes et des logiques de fonctionnement que nous transposerons dans notre modèle.

Pour ce faire, dans ce chapitre nous définissons une procédée qui se structure en plusieurs étapes:

- *identification d'un cadre d'étude* assez global pour inclure l'ensemble des parties prenantes, les ressources, les contraintes associées au transport de passagers et de marchandises et pour souligner les relations entre ces éléments. Nous faisons appel à l'approche systémique et à la modélisation d'entreprise,

- *proposition d'un référentiel* à travers lequel classer ces solutions de mixité vis-à-vis de leur potentiel durable dans le transport urbain. Ce référentiel met en avant le concept d'interopérabilité, défini comme la capacité de deux systèmes à fonctionner ensemble sans effort particulier de l'un ou de l'autre (Konstantas et al, 2005). Il s'agit donc pour notre étude d'un concept majeur dans la mesure où nous cherchons à rationaliser le fonctionnement de deux systèmes impliquant des flux de passagers et de marchandises qui ne répondent pas à la même dynamique et ayant des caractéristiques propres.

- *analyse des solutions de mixité existantes en faisant recours au référentiel de durabilité et* mise en évidence des éléments clefs pour la définition d'un modèle de transport urbain mixte durable.

2.2 Approche d'analyse

2.2.1 Transport urbain comme un système

L'introduction de la mixité dans le transport urbain vise à intégrer les flux de passagers et de marchandises dans l'ensemble des modes de transports : transport public, modes doux (vélo, marche à pied), voiture, auto partage…et doit permettre l'intermodalité.

L'intermodalité est un principe qui consiste à organiser et articuler l'offre de transport, coordonner plusieurs systèmes modaux par une gestion et un aménagement spécifiques des interfaces entre les différents réseaux. L'organisation de l'intermodalité nécessite de raisonner en terme de service et non plus de mode, et en terme de chaîne de transport de bout en bout. L'enjeu de l'intermodalité amène les acteurs des divers modes de transport à travailler ensemble.

Ces évolutions dans le monde des transports nécessitent de nouvelles approches dans le pilotage et la gestion des projets afin d'éviter le déploiement de systèmes peu compatibles et difficilement évolutifs (GP, 2007), (ACTIF, 2007). La mise en place de solutions efficaces de transport urbain mixte est trop souvent entravée par le manque d'intégration et d'interopérabilité des différents systèmes de transports urbains, à la fois au niveau technique et politique.

Cette première réflexion nous amène à nous intéresser à l'approche systémique qui, en proposant un cadre conceptuel, permet de comprendre et d'analyser les phénomènes associés à la mobilité urbaine : plusieurs travaux de recherche sont orientés vers cette approche. Les travaux du projet SUCCESS du programme CIVITAS (Success, 2009) proposent, entre autres, une méthodologie globale d'optimisation du transport de marchandises en ville (Delaître et al., 2007) et une mobilité intégrée pour les villes de taille moyenne (Breuil et al., 2007).

Selon la théorie systémique (Simon, 1960, 1977) (Mélèse, 1972) (Le Moigne, 1974, 1977, 1990) (De Rosnay, 1976) (François, 1998), il existe l'environnement système dans lequel est contenue une entité qui veut consommer un ou plusieurs objets que l'entité même ne peut pas produire. L'identification d'une telle relation permet donc d'identifier, à défaut de le caractériser, un système : cette relation particulière constitue la finalité du système. Le système peut être alors défini comme un groupe de processeurs élémentaires de natures diverses, structurés, organisés, reliés et interconnectés, afin de satisfaire à cette finalité (Figure 2-1).

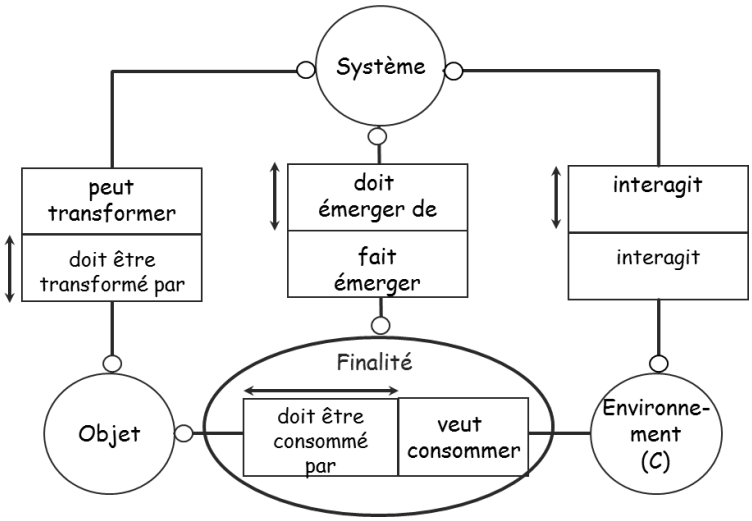


Figure 2-1 : représentation du paradigme systémique (Malhéné, 2000)

Afin de transposer le *paradigme systémique* à la problématique de la mobilité urbaine, nous pouvons définir dans l'environnement du système de transport une entité (marchandise ou personne) qui souhaite être déplacée d'un point *A* à un point *B* géographiquement distinct en un temps *t* donné.

Dans notre proposition, *A* et *B* correspondent à des emplacements dans la ville et l'entité est une marchandise ou une personne spécifique qui ne peut pas réaliser ce mouvement de *A* à *B* par elle-même dans le temps *t* imparti. L'entité souhaite donc consommer un objet : un service de transport. Pour envisager une collaboration directe entre le transport urbain de passagers et de marchandises, nous proposons de faire appel à une vision systémique, qui permet de mieux comprendre et gérer les interactions et de trouver des synergies.

Notre système est défini. Pour le caractériser, la théorie des systèmes permet d'identifier dans les systèmes socio/technico/économiques deux types d'activités : des activités pilotées réalisant des actions et des activités de pilotage ou de conduite, qui pilotent la réalisation de ces actions.
En se basant sur ces théories, il est possible de décomposer le système "mobilité urbaine" en trois sous-systèmes : le système piloté de mobilité d'une part et le système de décision et le système d'information formant le système de pilotage d'autre part. Les différents sous-systèmes agissent afin que l'ensemble respecte la finalité du système global (Figure 2-2).

Le *système piloté* est traversé par un flux de passagers ou de marchandises qu'il va transporter. Ce système décrit le déplacement du flux physique, c'est à dire le transport des personnes ou de biens, par des ressources (camions, bus, voiture, etc).

Le *système de décision* transmet au système piloté de mobilité des ordres ou commandes, résultats de nombreuses prises de décision et de traitements d'informations. En d'autres termes, le système de décision élabore l'ensemble des décisions qui permettent de piloter le système de mobilité, en s'appuyant sur le système d'information.

Le *système d'information* est chargé de collecter, stocker et distribuer, l'ensemble des informations nécessaires au système "mobilité urbaine". Les informations peuvent être d'origines externes au système (informations concernant l'environnement) ou internes (liens entre le système de décision et le système piloté de mobilité).

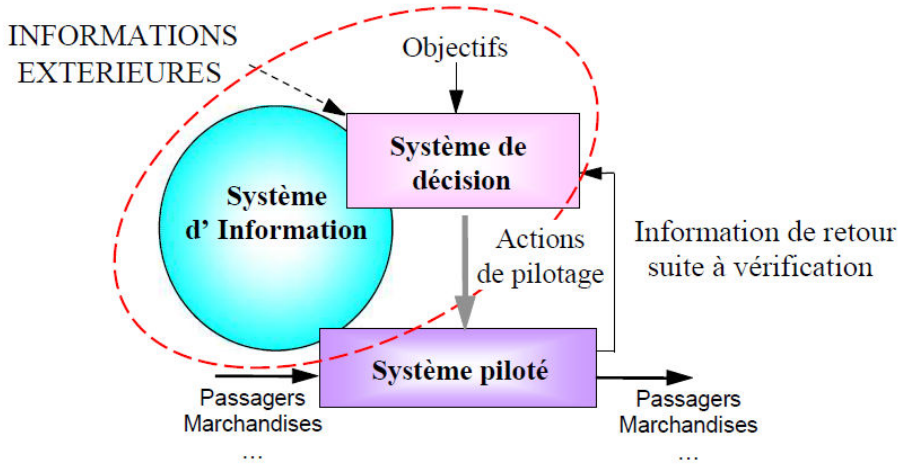


Figure 2-2 : le système de la mobilité urbaine (adapté par Roque et al, 2008 de Vallespir et al., 2002)

Afin de modéliser le système dans sa globalité, nous faisons appel à la modélisation d'entreprise, qui se situe au cœur du domaine de la productique, traitant de problèmes allant de la représentation du système industriel en vue de son analyse et de sa conception, jusqu'à des problèmes d'intégration et d'interopérabilité des systèmes industriels (Doumeingts et Ducq, 1998) (Bakiri et al., 2007) (Ducq, 2008) (Ducq et Chen, 2008) (Breuil, 2011).

Dans ce cadre, de nombreuses approches ont été développées dont certaines, reposant sur la théorie des systèmes comme la méthodologie GRAI (Marcotte, 1995) (Vallespir et al., 2002) (Ducq, 2007) (Grandel et al., 2007) permettent d'étudier l'ensemble des trois sous-systèmes présentés précédemment, en proposant des outils de modélisation adaptés à chaque sous-système

La méthodologie GRAI modélise le système décisionnel à travers une grille permettant de décomposer les décisions selon deux axes principaux. Un axe vertical lié à la nature temporelle des décisions, définit les niveaux décisionnels du système. Un axe horizontal lié aux activités (fonctions) de décisions définit les types de décisions. L'ensemble des décisions prises dans le cadre d'une fonction pour un niveau décisionnel donné définit un centre de décision. Les activités de décision au sein d'un centre de décision sont définies à la fois par le biais d'un "cadre de décision" qui lui est associé, et par les informations utilisées pour prendre la décision.

Ce " cadre de décision " doit guider le décideur dans sa prise de décision. Un cadre de décision est formé par :

- un (ou plusieurs) objectif(s) qui représente(nt) le résultat attendu par la décision,
- une (ou plusieurs) variable(s) de décision qui représente(nt) les moyens d'actions dont le décideur dispose pour atteindre le(s) objectif(s),
- des contraintes qui limitent l'utilisation des variables de décisions.

Le " cadre de décision " assure la coordination entre les centres de décision en garantissant la cohérence des objectifs de la structure décisionnelle. Cette cohérence des objectifs " permet de vérifier qu'à chaque niveau décisionnel et pour chacune des fonctions considérées, un objectif assigné à un centre de décision contribue à terme à atteindre les objectifs globaux de l'entreprise " (Ducq, 1999).

Dans le cadre de notre étude, et conformément à la théorie des systèmes hiérarchisés, cette cohérence doit être opérée à un niveau encore supérieur et pose donc la problématique d'interopérabilité car la mobilité globale suppose le pilotage de deux systèmes : le système de transport de passagers et le système de transport de marchandises (Breuil et Malhéné, 2010).

2.2.2 Proposition d'un référentiel de performance

Nous souhaitons mesurer la durabilité de la mixité dans un système de transport urbain cependant nous ne disposons pas d'applications concrètes et d'outils pour bien l'appréhender. De ce constat émerge une démarche de recherche autour d'un référentiel de performances.

Nous proposons un référentiel construit autour des cinq composantes essentielles de la mobilité urbaine durable :

- *le désenclavement physique et l'amélioration de l'accessibilité :* cette composante prend en compte dans quelle mesure la solution de mixité considérée favorise l'amélioration de l'accessibilité du quartier des personnes et des marchandises (irrigation des bassins d'emploi, accès au centre-ville, en travaillant sur les modes doux).
- *l'organisation des transports :* cette composante prend en compte dans quelle mesure la solution de mixité proposée améliore l'offre de transport, à travers l'accès aux espaces et aux équipements à des horaires adaptés.
- *les enjeux socio-économiques et cognitifs :* cette composante évalue la prise en compte de la part de la solution de mixité des dimensions socio-économiques et cognitives de la mobilité. La dimension cognitive renvoie aux caractéristiques personnelles du décideur qui vont déterminer la manière dont il va percevoir et vivre. Elle renvoie aussi à l'analyse des enjeux liés à la

connaissance des demandes de mobilité, à la tarification, à l'accès à l'information sur les transports mixtes.

- *la gestion future en amont des solutions :* cette composante évalue la prise en compte de la part de la solution de mixité des contraintes futures de gestion des espaces à partir du moment où les solutions sont conçues, jusqu'à leur réalisation (entretien, sécurité…).

- *l'interopérabilité :* pour caractériser le niveau d'interopérabilité des solutions de transport mixtes, nous adaptons les travaux développés dans le domaine de la modélisation d'entreprises à la mobilité urbaine (Roque et al, 2008) (Roque et Delaître, 2009) (Breuil, 2011) (Malhéné et al, 2012). Dans le cadre du génie industriel, il existe trois approches selon la norme ISO 14258 (1999) pour la mise en œuvre de l'interopérabilité : l'intégration, l'unification et la fédération. Ces trois approches sont toutes adaptées au développement de l'interopérabilité. Toutefois, elles n'impliquent pas le même degré de modification des systèmes. Plus l'approche utilisée tendra vers la fédération et plus l'identité des entreprises sera préservée. Inversement, plus l'approche utilisée tendra vers l'intégration et plus nous assisterons à une réduction des différences (homogénéisation des langages, des méthodes de travail, des outils informatiques,…).

Dans la prochaine section, nous faisons appel à ces cinq composantes pour étudier la durabilité des expériences de mixité urbaine repérées, L'analyse qu'en sortira nous permettra d'alimenter notre recherche afin de définir un système de transport mixte capable de considérer à la fois les biens et les personnes répondant à des dynamiques de comportement différentes.

2.2.3 Etude des solutions de mixité

2.2.3.1 ***Usage mixte de la v`irie et des aires de livrais`ns***

La municipalité de Barcelone s´est efforcée de trouver des solutions innovantes pour la gestion des livraisons afin de réduire les embouteillages dans une circulation croissante. Des études ont été menées dans le cadre du projet européen MIRACLES (Multi-Initiative for Rationalised Accessibility and Clean Liveable Environments) (2002 – 2006), basées sur des analyses de données cartographiques et en collaboration avec plusieurs opérateurs. Elles ont montré que le nombre total d'espaces de livraison correspond certes à la demande en livraisons mais que le temps et la disponibilité de ces emplacements ne correspondent pas aux besoins individuels et précis des opérateurs (Miracles, 2006). Le concept d'usage mixte de la voirie a donc été mis en œuvre.

Cinq grands boulevards de la ville ont été aménagés de façon spécifique. Les voies latérales de ces boulevards sont dorénavant réservées à un triple usage : stationnement longue durée pendant la nuit, livraisons la journée et en dehors des heures de pointe, circulation automobile aux heures de pointe.

Pour informer en temps réel de ces changements d'usage, des panneaux à messages variables ont été installés sur les deux voies expérimentales : chaque usager sait au moment où il accède à la voie, quelle réglementation s'applique. Des panneaux à messages variables et un système de balises déportent le trafic automobile pour libérer la voie aux activités de livraison et de stationnement (Figure 2-3).

En ce qui concerne les aires de livraison, à Paris, il en existe 9.000. Elles représentent environ 15% de la totalité des emplacements sur la voirie parisienne. Du 2 mars au 30 septembre 2009, une expérimentation a été conduite par la Ville de Paris, en partenariat avec la Préfecture de Police et avec les mairies des 3ème et 17ème arrondissements. Elle a consisté à mettre en place un dispositif autorisant le stationnement de particuliers sur les zones de livraison, la nuit, les dimanches et les jours fériés. Tous les usagers, résidents comme visiteurs, pouvaient stationner gratuitement sur les zones de livraison partagées. Certaines zones de livraison n'ont pas été ouvertes à cette expérimentation pour permettre aux établissements requérant des approvisionnements de nuit ou très tôt le matin de fonctionner dans de bonnes conditions (supérettes, boulangeries dont les livraisons de farine ont lieu entre 4 et 6 heures, etc.)

Tout stationnement constaté sur une zone non partagée ou en dehors des horaires prévus était sanctionné par une amende de 35 € et le véhicule était enlevé par la fourrière. Cette expérimentation a porté sur environ 500 zones de livraison partagées et a mis à disposition des particuliers près de 1.000 places de stationnement supplémentaires (une zone de livraison représente en moyenne deux places de stationnement) (Mairie de Paris, 2009). Aujourd'hui, la ville de Paris étudie encore les résultats de cette expérimentation qui s'est montrée prometteuse (Bossin, 2012).

Figure 2-3 : panneaux, messages variables et système de balises à Barcelone et Paris

2.2.3.2 ***Usage mixte des parkings et des gares***

Ces dernières années, la ville de Paris a entrepris de rationaliser l'entrée et la sortie des marchandises de la capitale. Cela donne lieu à de nombreux aménagements dont font partie la création d'espaces logistiques urbains (ELU) et les consignes logistiques urbaines installées dans des parkings souterrains au cœur de la capitale (De Barbeyrac, 2012).

C'est en avril 2003 que la ville de Paris a mis en place son premier espace logistique urbain (ELU) avec la société "la Petite Reine". Cette société distribue toutes sortes de petits colis : produits alimentaires ou non, petits équipements, fleurs... Installée dans le parking souterrain de Saint-Germain-L'auxerrois, elle effectue ces livraisons avec des vélos triporteurs à assistance électrique dans les quatre arrondissements centraux de Paris. Les triporteurs utilisés ont une charge utile de 80 à 100 kg et proposent des temps de parcours identiques, voire inférieurs, à ceux d'un petit utilitaire. En effet, son statut de vélo lui permet d'utiliser les voies cyclables et les couloirs de bus.

D'autres entreprises travaillent dans le même sens. Chronopost, qui a expérimenté des livraisons "douces" dans le centre historique de Strasbourg, s'est implanté dans un ELU sous la place de la Concorde. De là, elle livre en véhicules électriques les 7e et 8e arrondissements. En 2006, plus de 400.000 objets ont ainsi été distribués et 300.000 collectés, réduisant de 60% les émissions de gaz à effet de serre (Figure 2-4).

Enfin, le troisième ELU parisien est implanté sous la porte d'Orléans. La société Natoora.fr, qui vend sur internet des produits frais, utilise, elle aussi, des vélos à assistance électrique pour livrer les particuliers à partir de sa plateforme.

Les consignes logistiques urbaines peuvent être définies comme des espaces de " substitution à la livraison ", à domicile pour les particuliers et aux magasins pour les commerçants. Les consignes peuvent se présenter sous la forme de casiers indépendants ou être assemblées. Elles peuvent être implantées dans des espaces publics comme privés, intérieurs comme extérieurs (Augereau, 2009). En France, quatre prestataires de consignes se sont développés depuis 2000 : E-box (2000), Homeport (2004), Consignity (2004) et Cityssimo (2005). La société Consignity propose un réseau d'automates logistiques urbains accessible 24/24h et 7/7j dédié aux professionnels. Pour cela, les lieux privilégiés pour l'implantation de ces consignes sont les parkings souterrains du fait de leur position centrale et de leur accessibilité. Le client commande sa marchandise sur internet ou par le biais de la vente par correspondance. En substitution à son adresse personnelle, il transmet celle de la consigne comme lieu de livraison. Le livreur, après s'être identifié, dépose le colis et obtient un numéro de transaction. Puis par email ou SMS, le client reçoit un message lui indiquant que son colis est arrivé.

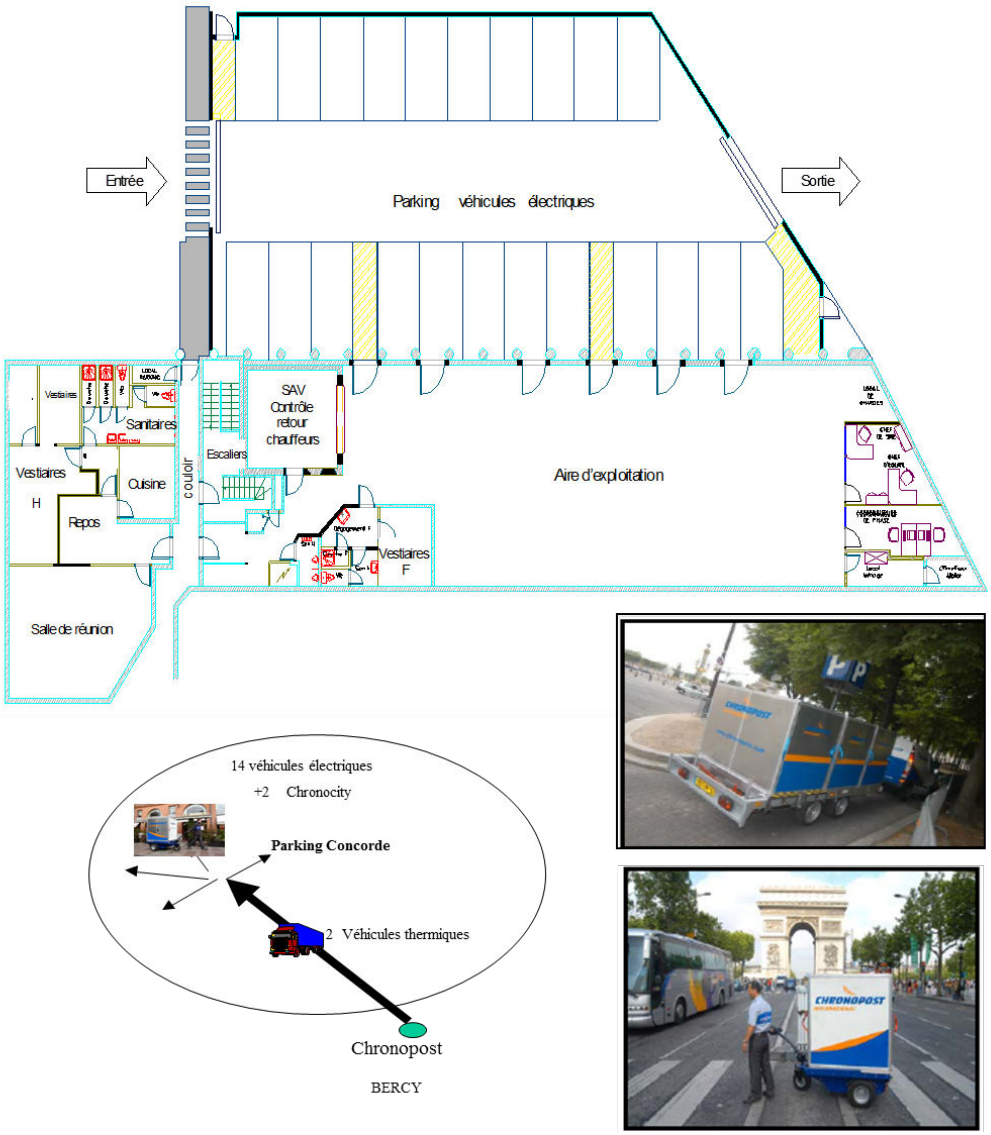


Figure 2-4 : Chronopost et l'ELU sous la place de la Concorde (De Barbeyrac, 2012)

Consignity indique qu'il facture en moyenne le colis à 4 euros mais que ces frais supplémentaires sont compensés par une réduction des trajets donc du temps de transport et des frais kilométriques. Pour Consignity, le rôle de la Ville de Paris a été essentiel dans son développement puisqu'elle a servi d'une part de garantie pour conclure ces partenariats et qu'elle a permis, d'autre part, de réaliser une étude de suivi et d'évaluation via un financement ADEME et PREDIT. Ainsi, Consignity est devenue partenaire de DHL et travaille aujourd'hui pour Schindler, fabricant et installateur d'ascenseurs, escaliers mécaniques et monte-charges. Pendant les six premiers mois d'exploitation du système, 71 livraisons ont été réalisées, utilisant deux automates et douze casiers. Ceci a concerné neuf techniciens de Schindler qui se sont avérés satisfaits du service proposé. Toutefois, ce projet reste de faible envergure (Figure 2-5).

Figure 2-5 : le réseau d'automates logistiques urbains proposé par Consignity à Paris (De Barbeyrac, 2012)

Au sujet de l'usage mixte des gares à Paris, ColiPoste, l'activité colis de La Poste, a décidé d'ouvrir des espaces où les internautes peuvent retirer leurs achats 24/24h et 7/7j (Figure 2-6). Les premiers Cityssimo, consignes dédiées au e-commerce, ont été ouverts en novembre 2005. Ce service est gratuit, sachant que seuls les colis Colissimo, service de La Poste assurant la livraison d'une commande en 48h à compter de la prise en charge par La Poste, peuvent y être livrés. Cityssimo est en grande partie réservé aux particuliers et apparaît comme une continuité des bureaux de la poste mais en " tout automatique ".

Espace Colis PARIS – Louvre
Métro Louvre Rivoli (ligne 1)

Espace Colis PARIS - Les Halles
Forum Des Halles, Metro Ligne 4

Figure 2-6 : des consignes Cityssimo, dédiées au e-commerce à Paris (www.cityssimo.fr)

Ce projet a été conçu pour pallier l'augmentation du nombre d'envois d'achats par Internet en Colissimo et pour s'adapter, selon J.-L. Carrasco, " au rythme de vie des clients des grandes villes, en particulier à leur horaire de travail". Le concept des Cityssimo existe déjà en Allemagne ainsi qu'au Royaume-Uni en B to B. Il rappelle celui des "points relais ", proposés par exemple par le réseau Kiala ou plus récemment par Chronopost. Deux différences existent néanmoins : les points relais se trouvent chez des commerçants (buralistes pour Chronopost) et ne sont donc pas ouverts en permanence. Mais chez Cityssimo, on reconnaît que la très grande majorité des clients viennent chercher leurs colis dans

la journée et en semaine. Depuis les premières ouvertures à Paris, à Richard Lenoir (11ème) et Saint-Charles (15ème), neuf Cityssimo avaient vu le jour en 2006, dont deux en province (Nantes et Lille). Les derniers construits sont ceux de La Défense et d'Issy les Moulineaux, mis en service en décembre 2006. Aujourd'hui 30.000 personnes environ sont abonnées au service. Depuis octobre 2010, les gares de Paris Montparnasse et de Paris Est proposent le service de point relais de colis. Pour tester ce système, la SNCF s'est associée à Kiala pour permettre aux personnes qui commandent des articles sur Internet de retirer leurs colis en gare.

2.2.3.3 ***Usage mixte des véhicules en aut`-partage***

Osaka (Japon) a été une des villes pionnières qui a mis en place un service d'auto partage destiné au transport des biens en ville, en 1999 (Chiron – Augereau, 2009). L'idée à la base de l'initiative est de fournir un certain nombre de vans électriques dans différents parkings publics de la ville pour permettre aux commerçants de les utiliser de manière coopérative. Les utilisateurs du service peuvent prendre un van électrique dans un parking et le garer dans un deuxième parking proche de leur destination finale, pour ensuite retourner à leur point de départ avec les moyens de transport public. La zone concernée par le service est le centre de la ville d'Osaka : 28 vans électriques sont utilisés, équipés d'un système d'information avancé. Soixante-dix-neuf entreprises utilisent le service. A La Rochelle, le service d'auto partage existe depuis 1999. Des actions de promotions ont été lancées pour encourager les commerçants du centre-ville à utiliser les utilitaires du service pour le transport de marchandises. Depuis 2006, le service a été équipé d'une flotte de vans cargo (Renault Berlingo à motorisation électrique) pour faciliter l'auto-approvisionnement de ces commerçants (Figure 2-7).

Figure 2-7 : Berlingo électrique pour faciliter l'auto-approvisionnement des commerçants à La Rochelle

2.2.3.4 ***Usage mixte des transp`rts en c`mmun***

La possibilité de profiter du réseau de bus en voie propre pour diminuer la circulation des camions en ville a fait l'objet d'un projet de partage des voies réservées entre camions et autobus,

introduit à Londres en 1999. Il s'agit d'une permission qui reconnaît que les camions constituent, au même titre que les autobus, des éléments essentiels du trafic urbain et on leur assure un traitement prioritaire (Browne, 2012) (Binder, 2005) (McLeod et Cherrett, 2009).

Si on considère le réseau par tramway, plusieurs expériences ont été lancées en Europe visant à attribuer les sillons sans pénaliser le système existant initial, i.e. le système de transport de voyageurs. Dans le §1.3.3 nous avons déjà présenté l'expérience d'Amsterdam, malheureusement plus opérationnelle. Depuis avril 2003, l'exploitant des transports en commun de Zurich met à disposition des habitants des remorques pour le ramassage de déchets électriques et électroniques et de déchets encombrants. Cargo tram et E Tram assurent des services gratuits, cette offre est réservée aux piétons, cyclistes et passagers des transports publics, à échéances fixes et à proximité des arrêts spécifiques sur la ligne. Les remorques sont tractées puis laissées en stationnement sur des voies de délestage. L'objectif est de réduire le nombre de camions bennes en ville. Les périodes d'immobilisation de ces remorques sont affichées publiquement et il existe neuf points de collecte.

Figure 2-8 : Cargo tram et E Tram à Zurich et CarGoTram à Dresde

Depuis 2001, le CarGoTram à Dresde approvisionne une usine Volkswagen en pièces détachées. Le tram-fret en circulation est le fruit de la volonté du constructeur automobile Volkswagen. Depuis mars 2001, un tramway traverse la ville pour approvisionner une usine située au centre-ville de Dresde à partir d'une plate-forme en périphérie. L'usine est alimentée en matériaux de fabrication à la cadence de 40 minutes (en période de pleine utilisation). Deux rames, spécifiquement conçues pour ce projet (Bombardier, Schalke), sont nécessaires pour assurer cette fréquence. Ce tram-fret utilise l'infrastructure existante à Dresde et s'insère dans le trafic voyageurs des deux lignes de tramway en service et fonctionne de 6h à 22h (et non la nuit).

Des études relatives à la mixité des ressources du tramway pour le transport de marchandises et de personnes sont en cours notamment à Paris (Apur, 2011). Le nombre de lignes de tramway augmente en Ile de France, toutes les lignes existantes sont prolongées : en regardant l'ensemble de ces lignes comme un réseau, on peut imaginer un tram-fret qui pourrait passer d'une ligne à l'autre, desservant des zones d'activités, des centres de consommation. L'Apur (Atelier Parisien d'Urbanisme) a initialisé la démarche de démontrer par l'expérimentation la faisabilité de l'utilisation du tramway pour la distribution de marchandises en ville, en testant la capacité d'absorber des rames de fret en mesurant

les impacts sur le service voyageurs, la gestion des carrefours et l'accueil des usagers. L'objectif de l'Apur est de mettre en place une expérimentation de transport de marchandises par le tramway courant 2012 (Danard, 2012).

Ces quelques exemples passés en revue visent à faire coexister deux types de flux (i.e. correspondant aux tramways transportant les marchandises et ceux transportant les passagers) en minimisant leurs interactions sur le réseau ferré.

Voici maintenant quelques expériences qui, en revanche, visent à introduire des marchandises directement à bord d'unités de transport (vecteurs) et assurent ainsi la circulation des marchandises en même temps que la circulation des passagers. A Paris, l'association pour une logistique urbaine durable Alud cherche à mettre en place une infrastructure de commis livreurs à très bas coût, 2 euros hors taxes pour le portage à domicile d'un colis. Un commis livreur passe chez les commerçants à heure fixe, deux fois par jour, le matin et le soir. Le livreur collecte toujours les colis chez les commerçants selon un itinéraire prédéfini. Cette collecte dure environ 30 minutes. Le poids des colis est limité à 6kg ou à 10 litres. Il charge ces colis dans un chariot. Les commis livreurs se retrouvent à un point d'échange sur la voie publique où ils échangent leur colis en fonction de leur destination (principe du cross-dock). Le livreur est toujours à pied et son chariot lui permet d'être accepté dans un bus RATP (Danard, 2012). Le chariot, d'une capacité de 50 kg ou 250 litres environ, est compartimenté et sécurisé. Il est doté de grosses roues pour aider au roulement et au passage des trottoirs et peut recevoir des caisses isothermes. Le principe des tournées permet une massification des colis et la gestion des flux en continu sans lieu de stockage et sans infrastructure immobilière ou de véhicule, ce qui permet une rupture du prix et de parvenir ainsi à 2 € HT le colis. Cet exemple présente des analogies avec notre propre modèle.

A Marseille, à partir du siège de La Poste localisé dans la plateforme d'Arenc, les facteurs utilisent le tramway pour se rapprocher de leurs lieux de distribution grâce à l'accès avantageux de la plateforme à la ligne du transport public (FNE, ADEME, 2011) (Ripert, 2012).

Encore peu d'expérimentations existent dans le domaine du métro et elles disposent ou prévoient des réseaux exclusivement réservés au transport des marchandises et sans connexion avec les réseaux de voyageurs. Les recherches menées convergent rapidement sur trois cas à l'international : Chicago, Londres et le projet de métro de Tokyo. Le réseau de transport souterrain de Chicago a été construit pour faciliter la mise en œuvre du réseau téléphonique dans une ville particulièrement congestionnée. Cette concession a été étendue en 1903 au transport de marchandises. En 1910 le métro a été exclusivement réservé au TMV. Les marchandises transportées sont des produits frais, des biens de consommation courante, du courrier, du charbon, des cendres, des ordures et des débris. Londres dispose du plus ancien métro au monde (1863). Pour pallier la congestion du centre-ville, la ville a mis

en service un réseau souterrain dédié au service postal en 1928. Plus récemment Tokyo s'est lancé dans l'étude d'un réseau souterrain parallèle à son métro dédié au transport de marchandises (Chiron - Augereau, 2009).

2.2.4 Principaux enseignements

L'usage mixte de la voirie et l'usage mixte des aires de livraison contribuent au désenclavement physique de la zone ciblée, grâce à une réorganisation de l'accessibilité. L'organisation des transports et la coexistence des deux flux sont améliorées, grâce à l'accès aux espaces et équipements à des horaires adaptés. L'usage mixte de la voirie combine une action réglementaire simple mais rarement mise en œuvre dans les villes européennes : le partage de l'usage de la voirie dans le temps, avec un système d'information élaboré. Malgré un coût d'exploitation élevé, l'expérimentation est jugée satisfaisante.

De plus en plus de collectivités ont engagé ou envisagent des démarches de mixité du stationnement dans le but de favoriser un meilleur équilibre entre l'offre et la demande de stationnement, maîtriser la place de la voiture en ville, économiser l'espace dédié au stationnement, optimiser les coûts. La mixité du stationnement consiste soit à limiter l'offre privée associée à chaque projet immobilier en créant des parkings mixtes qui répondent aux besoins complémentaires de plusieurs projets proches, ce qui veut dire: faire jouer la complémentarité d'usage entre des parkings publics et/ou privés existants pour éviter par exemple la construction d'un nouvel ouvrage. La mixité peut donc être initiée dans le cadre d'opérations urbaines à venir (ZAC, etc.) ou envisagée dans le cas d'un tissu urbain déjà existant.

Toutefois, ces deux expériences de mixité n'agissent pas sur la réduction du nombre de véhicules circulant sur le réseau routier urbain car elles ne font pas appel à un schéma logistique spécifique. Cependant chaque vecteur de transport a le droit d'accéder en ville en provenance de n'importe quelle origine (Figure 2-9).

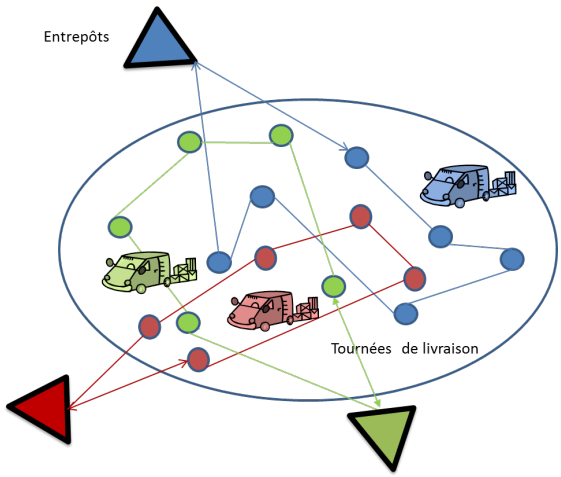


Figure 2-9 : le schéma logistique adopté dans l'usage mixte de la voirie et des aires de livraison

Ainsi la prise en compte des enjeux socio-économiques et cognitifs de la mobilité et de la gestion future en amont des solutions est à notre avis limitée.

L'usage mixte *des parkings et des gares* adopte un schéma logistique qui se caractérise par : (a) la présence d'un point de rupture de charge (la gare ou le parking selon le cas), où les marchandises en provenance des sites de production des fournisseurs ou des entrepôts de consolidation/déconsolidation externes à la ville sont collectées; (b) la réalisation de la livraison au point final (qui peut être le point de vente au particulier, soit le particulier lui-même) lors de tournées organisées ou par enlèvement direct de la livraison par le destinataire. Ce schéma est représenté dans la Figure 2-10. Le désenclavement physique et l'amélioration de l'accessibilité sont assurés dans la mesure où cette solution permet une meilleure irrigation des bassins d'emploi et des centres-villes (Whiteing et Edwards, 1996).

Elle assure une nouvelle organisation des transports grâce à l'accès aux espaces et aux équipements à des horaires adaptés et la prise en compte des enjeux socioéconomiques et cognitifs de la mobilité. Cependant la gestion future en amont des projets est difficile à maîtriser.

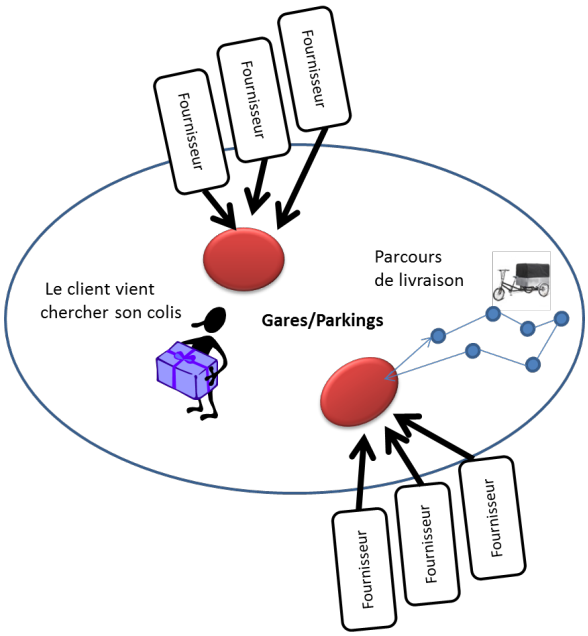


Figure 2-10 : le schéma logistique identifié dans l'usage mixte des gares et des parkings

Les parkings ne sont plus un endroit réservé aux voitures. Les opérateurs de parkings cherchent à jouer un nouveau rôle stratégique dans le domaine des mobilités alternatives. Si auparavant le parking était une destination finale, aujourd'hui il devient un relais entre la voiture hors zone urbaine et les transports en commun en centre-ville. L'usage alternatif des parkings dans la chaine logistique est un sujet très actuel, car les parkings sont souvent des grands espaces, bien situés, solutions au coût du dernier kilomètre. La logistique urbaine est vouée à devenir une activité de services à forte valeur ajoutée et sa valorisation passe par une rationalisation de ses structures. Les espaces logistiques urbains sont destinés à optimiser la livraison des marchandises en ville (points de rupture de charges,

recomposition des flux) en offrant des services spécifiques (stockage, manutention, desserte en véhicule propre…). Les ELU permettent de concilier activité économique et qualité de la vie au sein d'une agglomération dense. Pour cela, il faut consacrer des moyens et des surfaces à l'organisation logistique.

Les relais livraison sont des points de dépose et de collecte à partir desquels les clients de la vente à distance vont récupérer les colis commandés par internet ou par courrier. Ces relais remplacent la livraison à domicile, qui suppose une remise en main propre du colis par le livreur au destinataire; Aujourd'hui les livraisons à domicile sont si compliquées et les clients si peu disponibles à payer le prix réel, qu'elles doivent être impérativement organisées de façon à réduire le coût collectif. Cette optimisation inclut la mise en place de nouveaux systèmes tels que les points – relais, qui pourraient alors constituer pour l'ensemble des livraisons urbaines une impulsion à l'innovation.

L'usage mixte des véhicules en auto-partage assure un considérable désenclavement physique, grâce à l'amélioration de l'offre de transport. L'initiative a pour objectif de proposer des solutions alternatives aux véhicules motorisés traditionnels. Le service d'auto-partage d'utilitaires facilite le transport de marchandises à faible impact sur l'environnement. Entre la location de courte durée et la mutualisation d'un véhicule entre particuliers, l'auto-partage des véhicules utilitaires est à la croisée du transport privé individuel et du transport public collectif.

Les dimensions socio-économiques et cognitives de la mobilité sont prises en compte et le développement d'une connaissance des demandes de mobilité est assuré ainsi qu'une réflexion sur la tarification et sur l'accès à l'information sur les transports.

Ce service est souvent développé avec l'aide des pouvoirs publics, dans le cadre d'une réflexion sur la mobilité urbaine. Une aide, notamment financière, est nécessaire lors du lancement du service. Les Etats ou collectivités locales apportent une légitimité, permettent d'accélérer la mise en place de ces services coûteux et assurent une coordination avec les transports publics. D'ailleurs, l'Union Internationale des Transports Publics (UITP) organise des réflexions et un forum sur le sujet. Pour une collectivité, l'auto-partage permet une meilleure utilisation de l'espace public, une réduction de la pollution et de la consommation d'énergie. Ce système peut parfois être considéré comme un service public local et être aidé. Entre financement privé et subventions publiques, l'hybridation des ressources caractérise le secteur de l'auto-partage.

La solution adopte un schéma logistique qui se caractérise par l'implantation d'une station de véhicules en libre – service, point de rupture de charge intra urbain à partir duquel peut avoir lieu la prise en charge d'un véhicule particulier, tout comme d'un véhicule utilitaire destiné à transporter des marchandises (Figure 2-11).

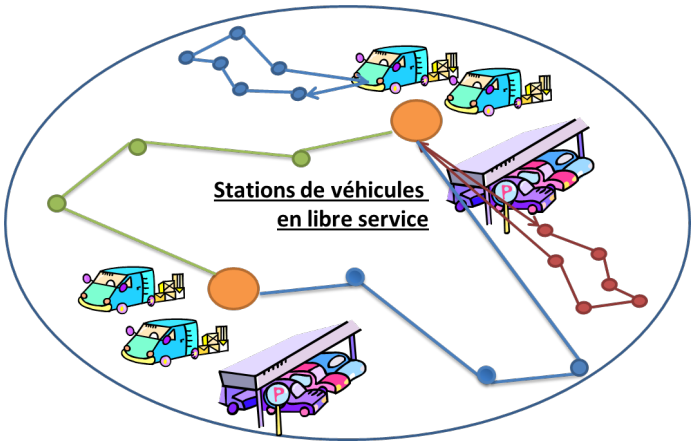


Figure 2-11 : le schéma logistique identifié dans l'usage mixte des véhicules en auto partage

Ce schéma logistique assure l'accès à des véhicules avec des performances environnementales élevées et, au contraire des solutions précédentes, réduit le nombre des véhicules lancés chaque jour. Cependant la prise en compte de la gestion future en amont des projets n'est pas assurée car l'appel que l'utilisateur final peut faire à cette solution n'est pas maîtrisé.

Les transports en commun se caractérisent par des ressources de transport qui restent partiellement disponibles. Cette particularité est la conséquence de la possibilité limitée de ce service à s'adapter au rythme de la demande. Une fois la décision stratégique sur la taille de l'unité de transport prise (vecteur), elle s'impose comme une contrainte, avec le défi de l'exploiter au maximum et si cela ne se réalise pas, les ressources de transport restent disponibles car elles ne sont pas complètement utilisées. En effet, fixer la taille de l'unité de service dans le transport urbain de passagers est difficile parce que, le rythme sur lequel le client manifeste sa demande n'est pas linéaire. La fréquentation présente des périodes de forte demande et des périodes de faible demande, soit des creux et des pointes. Les services ne pouvant se stocker, on est condamné à décider de la capacité en fonction de ces rythmes.

Cela a ouvert la voie à plusieurs réflexions sur la possibilité de partager les transports en commun entre personnes et marchandises, en donnant ainsi lieu à des solutions de transport mixte. Le couplage des deux flux peut avoir lieu selon plusieurs modalités : on peut envisager la circulation des deux flux sur le même réseau, sans cependant partager les mêmes unités de transport (vecteurs) ou plutôt adapter les vecteurs mêmes afin d'exploiter la capacité résiduelle de ces derniers pour transporter simultanément les deux entités. Cependant cette deuxième modalité est la moins expérimentée : les villes visent plutôt à tester l'insertion du fret à travers l'introduction en heures creuses des rames supplémentaires sans voyageur.

Les bus mixtes se heurtent encore à des difficultés principalement d'ordre organisationnel et économique (Shaefer, 2003) : au niveau organisationnel, dans la mesure où le secteur du transport est

un marché fortement concurrentiel et les transports en commun restent un service public associé à des coûts d'exploitation relativement élevés, et au niveau économique car les véhicules dédiés au transport mixte sont plus coûteux que les véhicules classiques.

L'usage mixte du tramway facilite la mise en œuvre du concept de mixité comparativement au métro. Les expérimentations réalisées sont assez prometteuses, même si un modèle économique pérenne peine à émerger.

En ce qui concerne le désenclavement physique et à l'amélioration de l'accessibilité, l'usage mixte des transports en commun favorise l'amélioration de l'accessibilité du quartier (irrigation des bassins d'emploi, accès au centre-ville) et impose un travail considérable sur les modes doux et sur la mobilité des personnes et des marchandises. L'organisation des transports est renouvelée et reconçue ainsi que la prise en compte des enjeux socio-économiques et cognitifs de la mobilité.

L'usage mixte des transports en commun (bus, métro, tramway) nécessite la mise en place d'un schéma logistique caractérisé par : le déplacement des marchandises sur les moyens de transport en commun et le transfert des marchandises aux arrêts de la ligne. Deux situations peuvent avoir lieu aux arrêts de la ligne : (1) le client vient chercher sa marchandise ; (2) un livreur prend en charge la marchandise et l'amène au destinataire final. La Figure 2-12 représente ce schéma logistique.

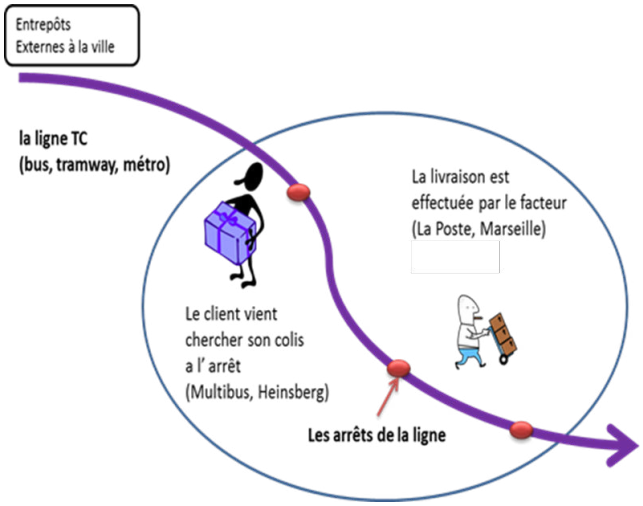


Figure 2-12 : schéma logistique identifié dans l'usage mixte des transports en commun

Ainsi, si l'adoption de cette solution de mixité permet de réduire la congestion, l'accidentologie et de développer des nouveaux emplois, la nature fort différente des personnes et des marchandises jusqu'à aujourd'hui, a rendu difficile son implémentation. Pour les personnes qui utilisent les transports en commun des équipements urbains de surface réduite pour les opérations de transbordement d'un moyen de transport à l'autre et par conséquent des temps d'attente courts suffisent. En revanche, pour les marchandises, il est nécessaire de disposer de considérables surfaces de stockage dans des lieux centraux pour pouvoir livrer au bon moment le client final.

2.2.5 La prise en compte de l'intéroperabilité

*L'usage mixte de la voirie et des aires de livraison ainsi que l'usage mixte des parkings et des gares m*ettent en œuvre l'interopérabilité selon une *approche unifiée*. Cette approche se caractérise par la présence d'interfaces qui doivent assurer l'équivalence sémantique et syntaxique des informations échangées. La Figure 2-13 illustre l'affirmation précédente : dans la partie gauche les deux systèmes de transport des passagers (S1) et des marchandises (S2) fonctionnent de manière distincte et aucune mixité n'a été introduite. Dans la partie droite de l'image la mixité a été introduite, ainsi afin d'assurer l'utilisation des mêmes infrastructures de transport de la part d'utilisateurs disposant d'une sémantique et d'une syntaxe très différentes, des interfaces s'imposent. Ces interfaces peuvent être très simples ou assez évoluées, comme illustrent les images aux pages 47, 49, 50.

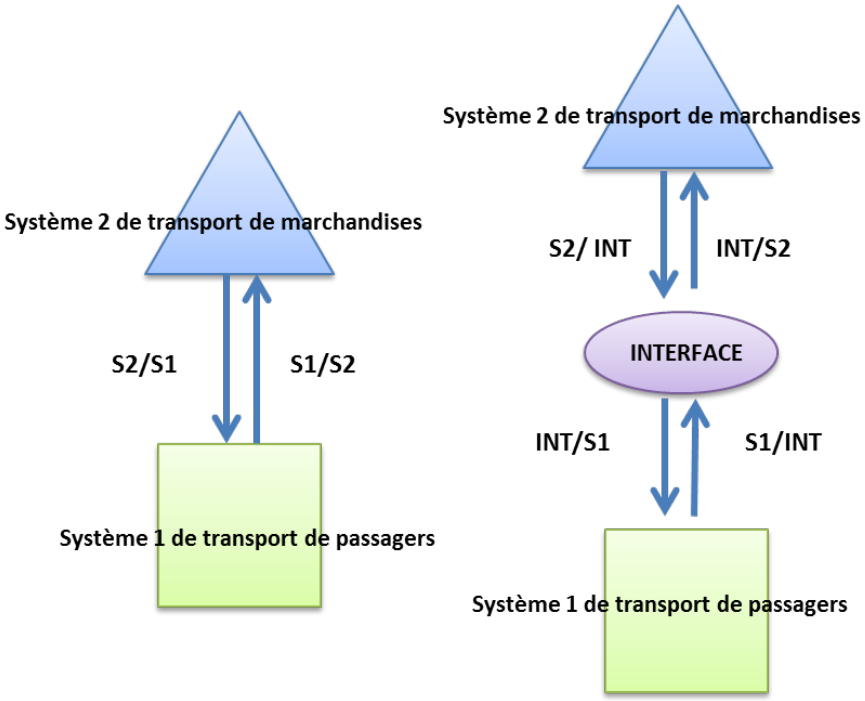


Figure 2-13 : la prise en compte de l'interopérabilité selon une approche unifiée (inspirée de Roque et Delaître, 2009)

Le déploiement de l'*usage mixte des véhicules en auto partage* service de transport nécessite une gestion du système d'information et de l'intelligence des réseaux évoluée et des capacités de communication voire d'intelligence entre le véhicule, la borne et l'utilisateur. Ces paramètres infléchissent sur le niveau d'interopérabilité qui doit être atteint par les deux systèmes qui adopte une *approche intégrée*, caractérisée par la présence d'un format standard qui assure l'échange des informations. La figure suivante illustre ce principe: à gauche les deux systèmes S1 et S2 sont prives de toute mixité et disposent chacun de sa propre syntaxe et sémantique pour l'échange d'information. A droite, les langages de S1 et S2 ont été standardisés afin que l'usage du service d'auto partage soit assuré autant pour les déplacements des personnes que pour les déplacements des marchandises.

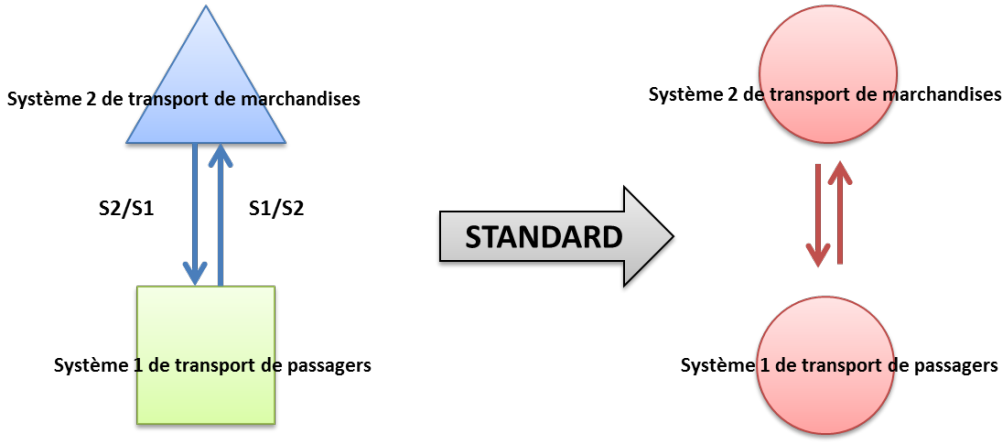


Figure 2-14 :la prise en compte de l'interopérabilité selon une approche intégrée (inspirée de Roque et Delaître, 2009)

L'approche intégrée impose une structure de coordination et de backoffice beaucoup plus importante que l'approche unifiée.

Enfin, dans le cas de *l'usage mixte des transports en commun*, nous considérons que l'approche adoptée pour la mise en œuvre de l'interopérabilité soit une *approche fédérée* : le système de transport de passagers et celui de marchandises vont s'adapter dynamiquement pour assurer l'échange et l'utilisation des informations. L'interopérabilité se développe sans modifier l'identité des systèmes de transport. Cela est évident si on reprend l'exemple de l'usage du tramway pour l'approvisionnement de l'établissement Volkswagen de Dresde : le réseau dispose d'infrastructures ainsi que de matériel de manutention spécifiques et de personnel dédié. Le figure suivante reflet cette configuration.

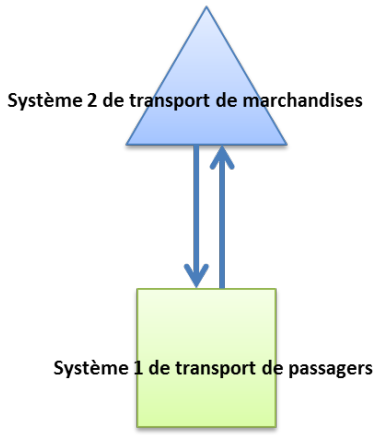


Figure 2-15 : la prise en compte de l'interopérabilité selon une approche fédérée (inspirée de Roque et Delaître, 2009)

Dans le cadre de nos travaux nous envisageons un modèle de transport destiné aussi bien aux personnes que aux marchandises et impliquant forcement une homogénéisation des langages, des méthodes de travail, des outils informatiques : nous orientons alors vers une *approche intégrée*. Cette approche fait appel aux nouvelles technologies de l'information et de la communication tels que le GPS, le téléphone cellulaire, Internet, des systèmes d'optimisation, d'information et de paiement. Elle doit aussi répondre à deux critères indispensables : la flexibilité et le partage.

Tous ces besoins ne sont pas satisfaits par les modes traditionnels de transport ; des nombreuses pistes de recherche s'ouvrent, visant à déterminer le niveau de technologie qui permettrait l'uniformisation des langages et à trouver des sémantiques et des syntaxes souples, basées sur les nouvelles technologies.

Notre recherche ne s'attarde plus longuement sur ces aspects : nous renvoyions plutôt à certains travaux développés dans le domaine de la modélisation d'entreprise (Ducq et al., 2004) (Blanc et al., 2007) (Cucu et al., 2009 a,b,c) (Camara et al., 2010) (Vicien et al., 2010) (Wadhwa et al., 2010). Il nous semble que leur transposition au transport urbain peut apporter une intéressante contribution à la structuration d'une méthodologie d'analyse des problèmes d'interopérabilité imbriqués dans ce domaine.

Dans la prochaine section nous ferons le lien entre les schémas logistiques des solutions de mixité étudiées, afin d'obtenir un schéma logistique destiné au système de transport urbain mixte, à partir de l'information recueillie des expériences de mixité et en y ajoutant d'autres concepts.

2.2.6 Conceptualisation

Les solutions analysées nous fournissent un certain nombre d'éléments fondamentaux pour la conception du système de transport urbain mixte.

Elles se caractérisent par une nouvelle vision de la relation entre logistique urbaine et ville, qui s'appuie sur une organisation logistique à contre-courant des évolutions qu'a connues ce secteur.

Il s'agit d'expériences visant à :

1. *assurer le dernier kilomètre vert par un report modal du transport des marchandises.* Ces expériences se caractérisent par l'exploitation des transports en commun comme les bus, tramways, métros, et les systèmes d'auto-partage pour le transport urbain de marchandises. Une utilisation accrue des moyens publics peut libérer les villes de la congestion, tout en augmentant les recettes des transports publics, ce qui permettrait de réduire la dépendance de la subvention publique (Macario, 2005).

2. *intégrer le stockage dans l'espace urbain.* Ces expériences se caractérisent par : (a) une utilisation raisonnée de l'espace routier habituellement parcouru par des flux de voyageurs qui se déplacent avec des moyens motorisés privés et publics et des flux de biens déplacés par des moyens de transport motorisés privés; (b) l'introduction d'équipements logistiques destinés à faciliter la distribution urbaine de marchandises (centres de distribution, de stockage, relais-livraison, etc.)

dans des zones urbaines déjà existantes et consacrées aux passagers (zones de parking, gares, etc.). Ces pratiques ont pour objectif d'éviter les trajets à vide et d'optimiser le stationnement.

Cependant :

- aucune des six solutions n'assure simultanément le dernier kilomètre vert par un report modal du transport des marchandises et l'intégration du stockage dans l'espace urbain ;

- sur la base de l'évaluation qualitative de la durabilité, la solution qui est le mieux notée est l'usage mixte des transports en commun, car elle assure le mieux le dernier kilomètre vert pour les passagers et les marchandises. La forme plus fréquente de mixité mise en place est l'alternance entre sillons réservés aux passagers et sillons réservés aux marchandises. Encore peu de tests existent sur l'exploitation de la capacité résiduelle d'une même unité de transport (nommé aussi vecteur).

- aucune n'intègre dans son schéma logistique un équipement logistique qui assure la massification des marchandises provenant de l'extérieur de la ville et l'inter modalité entre modes de transport différents, tels que les transports en commun et les transports routiers de marchandises.

Face à ces constats, nous préconisons d'introduire la mixité dans les transports en commun de préférence, en considérant la capacité résiduelle réelle et potentielle de ces réseaux. En outre, nous préconisons d'introduire dans toute solution de mixité urbaine la création d'un point de rupture de charge permettant de massifier les flux de passagers et de marchandises et de rationaliser les tournées de ces dernières, sur le modèle des Centres de Distribution Urbaine, équipements logistiques couramment adoptés par de nombreux projets de logistique urbaine (Browne, 2012) (Van Binsbergen et Visser, 1999).

Il s'agit de nœuds d'accès à la ville intégrant des services logistiques destinés aux passagers et aux marchandises (Ripert, 2012). Cet équipement logistique se focalise sur le stockage et sur le transfert de ces flux vers des modes de transport urbains propres et respectueux de l'environnement (Figure 2-16).

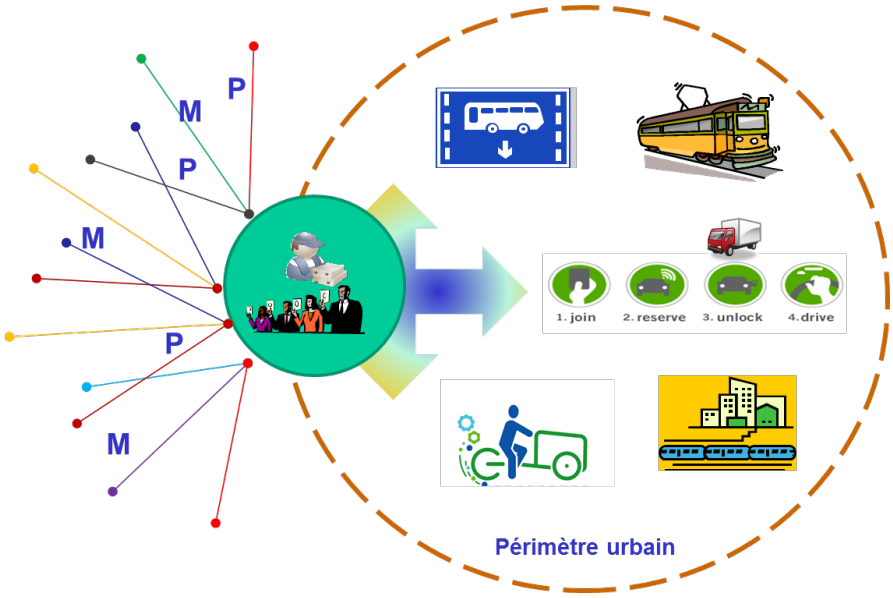


Figure 2-16 : point de rupture de charge permettant de massifier les flux de passagers et de marchandises

Nous considérons l'introduction de cet équipement logistique comme nécessaire pour atteindre une réelle intégration des deux flux dans le milieu urbain (Guyon et al., 2012).

Jusqu'à une époque très récente, l'approvisionnement des marchandises en ville était considéré par les Autorités de Transport comme un ensemble d'activités apportant des contraintes externes dans le fonctionnement du transport urbain. La distribution du fret était ainsi la compétence du secteur privé qui dépendait de logiques industrielles.

Dans l'industrie, la capacité de production doit être fixée en fonction du volume total du marché potentiel annuel, national, voire international, et en fonction du marché escompté pour l'entreprise. L'adéquation avec le rythme de la demande s'opère par l'intermédiaire du tampon que sont les stocks.

On a assisté à un développement progressif de plateformes de taille grandissante, d'envergure nationale et localisées plus en fonction du coût du foncier que de la proximité du bassin de consommation. On a ainsi vu la disparition du stockage en zone urbaine sous la pression des coûts du foncier et d'un coût du transport faible ; la logistique s'est éloignée des centres-villes, augmentant les kilomètres et les polluants.

Les seules actions possibles pour les Autorités de Transport portaient soit sur de la règlementation (accès, horaires, aires de livraison), soit sur de l'urbanisme (centre commerciaux extérieurs). Bien qu'elles n'en soient pas les seules causes, ces politiques ont conduit à déshumaniser les centres-villes en réduisant fortement les activités commerciales attractives et sources d'animation. Evidemment, ce choix implique des efforts considérables en termes d'aménagement urbain, un changement fort des mentalités et un environnement économique, social et sociétal évolué qui nécessite un temps de maturation très lent (ADEME, 2006).

2.3 Conclusion

Personnes et marchandises en milieu urbain ont des besoins de déplacement similaires : autant les personnes que les marchandises nécessitent d'être " stockées " et "transférées " d'un point A à un point B. Cependant la nature fort différente des personnes et des marchandises a déterminé le développement de systèmes de transport urbain caractérisés par des logiques souvent antagonistes pour satisfaire ces mêmes besoins. L'absence de synergies entre les deux systèmes a déterminé une gestion des ressources de transport non optimale, un surdimensionnement des capacités circulantes, en termes de nombre et taille des véhicules collectifs et utilitaires, et cela a contribué énormément à dessiner les formes de nos villes.

L'analyse des expériences de transport urbain mixte, conduite dans ce chapitre nous a permis d'identifier les synergies de ces deux types de flux a priori antagonistes et nous fournit des éléments qui nous incitent à axer nos prochaines réflexions autour de l'usage mixte des transports en commun, car cette solution semblerait la plus capable d'assurer une exploitation optimale des ressources de transport urbain.

La finalité de notre étude est de concevoir un modèle de transport urbain mixte dont l'intérêt principal réside en la maîtrise de la coexistence des passagers et des marchandises en ville. En conclusion de ce chapitre, nous disposons des éléments pour pouvoir dessiner les caractéristiques de ce système. Il devra assurer les fonctions suivantes : stocker, charger, décharger, transporter, transférer, livrer, et cela à travers un report modal des marchandises sur une chaîne telle que les transports en commun et l'intégration du stockage dans l'espace urbain.

Un tel fonctionnement impose l'introduction de plusieurs points de rupture de charge :

- un premier point de rupture de charge constitué par un équipement logistique capable de massifier les flux de marchandises et de les rediriger vers un autre mode de transport.
- des points de rupture de charge additionnels constitués par les arrêts de la ligne, où ont lieu non seulement la montée et la descente des passagers mais aussi le déchargement des marchandises, dirigées ensuite vers les clients finaux.

La complexité croissante des deux systèmes de transport, celui des passagers et celui des marchandises, complémentés par leurs outils technologiques et la nécessaire collaboration entre eux, repose aujourd'hui sur un véritable maillage informationnel.

Cela conduit à interconnecter ces systèmes pour les faire collaborer et à adopter ainsi une approche systémique. Il en résulte un système de mobilité globale qui se caractérise par un fonctionnement collaboratif des éléments constituants.

On recherche par cette collaboration à améliorer les capacités de chaque élément constituant le système. Dans le prochain chapitre nous détaillons ces concepts et nous nous intéressons à la définition d'une organisation cohérente avec le système envisagé.

La présentation de ces différentes expériences et cet essai de conceptualisation sont intéressants à plusieurs titres ; les expériences témoignent de cette volonté de trouver des solutions efficaces et appropriées à la problématique que nous avons présenté dans cette thèse.

Par ailleurs, ces essais aussi intéressants soient-ils, montrent qu'il n'existe pas une solution unique et universelle pour résoudre ce problème de fret urbain.

Enfin et surtout, ce sont ces expérimentations qui ont orienté le modèle qui va être présenté ultérieurement: en effet les mots-clés de mixité, de combinaison de transports passagers-marchandises, d'espaces résiduels dans des trams de voyageurs, de priorisation du service public…, qui vont constituer des idées directrices du modèle que nous allons présenter dans le chapitre suivant.

2.4 Bibliographie

A

ACTIF (2007) Aide à la conception de systèmes de transports interopérables en France, www.its-actif.org

ADEME (2006) Les Centres de Distribution Urbaine : quels outils d'évaluation environnementale ? ADEME Editions, 2005

Apur (2011) Le projet TramFret, Mise en place d'une expérimentation de transport de marchandises par le tramway, point d'avancement à fin 2010.

ATHENA (2004) ATHENA Integrated Project, Requirement for interoperability framework, product-based and process-based interoperability infrastructures, interoperability life-cycle services, ATHENA deliverable A4.1.

Atlassy M (2006) Urban Freight : Strategies, actions and experimentations in London and Paris, Short-Term Scientific Mission - Scientific report for the COST 355 working group, March.

B

Bakiri M, Ducq Y, Chaabane S (2007) Conduite et évaluation des systèmes de production intégrant les domaines Qualité, Sécurité, Environnement, Conférence QUALITA 2007, Tanger, Maroc, 20-22 mars

Binder S (2005) The potential for integrating light commercial freight into the Avenue bus lane. B.Sc. student thesis, School of Civil Engineering and the Environment, University of Southampton.

Bossin P (2012) La logistique urbaine dans le monde, actes de la semaine Athens , Ecole des Mines de Paris, 19 – 23 mars.

Blanc S, Ducq Y, Vallespir B (2007) evolution management towards interoperable supply chains using performance measurement Computers in Industry, Elsevier, Vol. 58, n°7, septembre, pp 720-732

Breuil D (2011) Une approche systémique de l'integration des transports passagers/marchandises en ville, Colloque SIL2011, Casablanca, 15 et 16 décembre.

Breuil D, Graindorge M , Grellier J.M. (2007) Integrated Sustainable Mobility For Medium Sized Cities, EET European Ele-Drive Conference, Bruxelles, Belgique, 30 Mai 30 – 01 Juin.

Breuil D, Malhene N (2010) Design & evolution management of city logistic organisation, Proceedings of the 12th World Conférence on Transport Research WCTR12 – Lisbon, (Portugal), July 11-15.

Browne M (2012) Le cas de Londres, actes de la semaine Athens, Ecole des Mines de Paris, 19 – 23 mars.

C

Chiron-Augereau V (2009) Du transport de marchandises en ville à la logistique urbaine, quels rôles pour un operateur de transports publics urbains ? L'exemple de la RATP, thèse de doctorat, Ecole Doctorale Ville et Environnement, Discipline : transport, Université Paris-Est

Camara M. S, Ducq Y, Dupas R (2010) Methodology for Prior Evaluation of Interoperability PRO-VE'10- 11th IFIP Working Conference on VIRTUAL ENTERPRISES Saint-Etienne, France- 11-13 October

Cucu T, Ion L, Ducq Y, Omrani H (2009a) Aid to the extension and to the exploitation of a public transportation service- International Conference on Computers & Industrial Engineering, CIE 39, Troyes- France, 6-8 juillet

Cucu T, Ion-Boussier L, Boussier J.M, Ducq Y. (2009b) An Approach to Improving the Logistical Performance of the Self-Service Public Transportation System INformation COntrol problems in Manufacturing – Conférence INCOM '09– Moscou - Russie– 3-5 juin

Cucu T, Boussier J.M., Ion-boussier L, Ducq Y (2009c) Management of a public transportation service: car sharing Service The 6th International Conference on Theory and Practice in Performance Measurement and Management – Dunedin – Nouvelle Zélande – 16-18 avril

D

Daclin N (2007) Contribution au développement d'une méthodologie pour l'interopérabilité des enterprises, Thèse de Doctorat, Université Bordeaux 1.

Danard J (2012) La problematique de mixité des flux, actes de la semaine Athens, Ecole des Mines de Paris, 19 – 23 mars.

De Barbeyrac C (2012) Les espaces logistiques urbaines, actes de la semaine Athens, Ecole des Mines de Paris, 19 – 23 mars.

Delaître L, Breuil D, Molet H (2007) Approche globale pour l'optimisation du transport de marchandises dans les agglomérations de taille moyenne. Revue TEC n°193

Delaître L (2008) Méthodologie pour optimiser le transport de marchandises en ville. Application aux villes moyennes et dans le cadre de l'agglomération de La Rochelle, Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris

De Rosnay J (1976) Le Macroscope, Seuil.

Ducq Y (1999) Contribution à une méthodologie d'analyse de la cohérence des Systèmes de Production dans le cadre du Modèle GRAI, Thèse de l'Université Bordeaux 1, février

Ducq Y (2007) Evaluation de la performance d'entreprise par les modeles, habilitation a diriger des recherches, presentee a l'universite bordeaux 1

Ducq Y (2008) Principles for interoperability evaluation, IESA 2008, Interoperability for Enterprise Software and Applications, Berlin, Allemagne, 25-38 mars

Ducq Y, Chen D (2008) How to measure interoperability: Concept and Approach, 14th International Conference on Concurrent Enterprising: ICE2008, A New Wave of Innovation in Collaboration Networks, Lisbon : Portugal, 23-25 juin

Ducq Y, Chen D, Vallespir B (2004) Interoperability in enterprise modelling: requirements and roadmap, in Advanced Engineering Informatics, Elsevier, Vol. 18, Issue 4, octobre, p 193-203

Doumeingts G, Ducq Y (1998) Production Management: Which future ?, Papier de la conférence APMS'96 sélectionné, commenté et révisé pour publication dans Advanced in Production Management Systems : perspectives and future chalenges edited by Norio Okino, Hirpyuki Tamura and Susumu Fujii – Published in IFIP Transaction - Chapman & Hall – ISBN 0-412-82350-0 — pp 18-28

F

FNE, ADEME (2011) Logistique urbaine : agir ensemble, disponible sur http://www2.ademe.fr

François C (1998) revue internationale de systémique Vol. 12, N° 4-5,1998, pp. 405 à 418.

G

GP (2007) The proposed Green Paper on Urban Mobility, Joint statement by the UITP European Union Committee and the European Transport Workers' federation, janvier .

Grandel R, Ben Salem R., Bourey J.P, Daclin N, Ducq Y (2007) Transforming GRAI Model into UML Models, a first step to Model Driven Interoperability, IESA 2007, Interoperability for Enterprise Software and Applications– Madeira - Portugal- 28-30 mars

Guyon O, Absi N, Feillet D, Garaix T (2012) A modeling approach for locating logistics platforms for fast parcels delivery in urban areas, In Procedia - Social and Behavioral Sciences, vol. 39, pp. 360–-368

I

INTEROP (2005) Deliverable DI.1 : Interoperability knowledge corpus, Network of Excellence - Contract no.: IST-508 011, www.interop-noe.org, Novembre.

ISO 14258 (1999) Industrial Atomation Systems – Concepts and Rules for Enterprise Models, ISO TC184/SC5/WG1.

K

Konstantas D, Bourrières M, Leonard M, Boudjlida N (2005) Preface de : Interoperability and Enterprise Software and applications, Actes de INTEROP-ESA'05, Geneve.

L

Le Moigne J.L (1974) Les systèmes de décision dans les organisations, Presses universitaires de France, Paris.

Le Moigne J.L (1977) La théorie du système général. Théorie de la modélisation, Presses universitaires de France, Paris

Le Moigne J.L (1990) La modélisation des systèmes complexes, Bordas, 1990.

M

Macário R (2005) Quality Management in Urban Mobility Systems : an integrated approach, Ph.D dissertation, Instituto Superior Técnico, Lisbon Technical University, disponible sur http://cesur.civil.ist.utl.pt/tvc/

Maire de Paris (2009) Les zones de livraison ouvertes au stationnement la nuit, les dimanches et les jours fériés, Expérimentation dans le 3e arrondissement et trois quartiers du 17e, www.paris.fr

Malhene N (2000) Gestion du processus d'évolution des systèmes industriels, Thèse de l'Université Bordeaux 1

Malhene N, Breuil D (2010a) Conceptualization of the evolution process of Urban Freight Transport, Proceedings of the 3rd International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain Creating value through green supply chains ILS 2010 – Casablanca (Morocco), April 14-16

Malhene N, Breuil D (2010b) Decision making tool for the selection of urban mobility project, Proceedings of the 12th World Conference on Transport Research WCTR12 – Lisbon, (Portugal), July 11-15

Malhene N, Trentini A, Marques G, Burlat P, Bénaben F (2012) Freight Consolidation Centers for urban logistics solutions: the key role of interoperability, IEEE DEST-CEE 2012, Campione d'Italia, Italy, 18 -20 June

Marcotte F (1995) Contribution à la modélisation des systèmes de production - Extension du modèle GRAI, Thèse de l'Université Bordeaux 1

McLeod F, Cherrett T (2009) Modelling the impacts of shared freight-public transport lanes in urban centres,

Mélèse J (1972) L'analyse modulaire des systèmes de gestion, Editions hommes et techniques

Miracles (2006) Multi Initiative for Rationalised Accessibility and Clean Liveable Environments : final report, disponible sur : http://www.civitas.eu/docs_internal/92/MIRACLES_D1_8_Final_Publishable_Report.pdf

R

Ripert C (2012) Le foncier et l'immobilier logistique en milieu urbain, actes de la semaine Athens, Ecole des Mines de Paris, 19 – 23 mars.

Roque M, Delaître L (2009) Vers une interopérabilité de la modélisation des flux de passagers et de Marchandises en milieu urbain, 8eme Congrès International de Génie Industriel, Bagnères de Bigorre, France, 10 -12 juin.

Roque M, Delaître L, Breuil D (2008) Mobilité urbaine et interopérabilité étendue, Congrès ATEC ITS

S

Shaefer C (2003) A new and innovative approach for bus systems in rural areas, Association for European Transport

Simon H.A (1960) The new science of management decision, Harper and Row publisher, New York

Simon H.A, March J.G (1969) Les organisations, Dunod, Paris

Success (2009) Improving mobility in medium size cities Lessons from the CiViTAS-SUCCESS project in La Rochelle, Preston and Ploiesti, edité par Breuil D. Blackledge D., disponible sur http://www.civitas-initiative.org/

V

Vallespir B, Doumeingts G (2002) La méthode GRAI. Supports de cours de l'école de printemps *Modélisation d'entreprise*, Groupe de travail n°5 du Groupement pour la recherche en productique, GRP, Albi-Carmaux, France, 28-30 mai.

Van Binsbergen A, Visser J (1999) New urban goods distribution systems, paper for : Conference on Urban Transport Systems, June, Lund, Sweden.

Vicien G, Ducq Y, Vallespir B (2010) Contribution to Interoperability of Executive Information Systems focusing on data storage system, in actes de la conference Interoperability for Enterprise Software and Applications I-ESA10, Coventry, 14-15 avril, chez springer

W

Whiteing A. E, Edwards S. J (1996) Urban freight trans-shipment facilities : a European comparative study, Department of Transport and Logistics, The University of Huddersfield.

Wadhwa S, Mishra M, Chan F.T.S, Ducq Y (2010) Effects of information transparency and cooperation on supply chain performance: a simulation study" International Journal of Production Research - Volume 48, numéro 1, pp 145-166

3 CONCEPTION ET PILOTAGE DU SYSTEME

3.1 Introduction

Le système de transport urbain mixte réalise la production d'un service de *" déplacement d'une entité d'un point A vers un point B en un temps t donné "*. Ce déplacement est destiné à avoir une valeur, un prix : il sera vendu et acheté sur un marché; des consommateurs les achèteront car ils percevront les bénéfices qu'ils iront en tirer et ainsi satisfaire leurs besoins.

Le service constituera donc le support d'une valeur, et ce support est, d'une manière ou d'une autre, créé, fabriqué. Ce processus de fabrication est nommé " servuction ", ce néologisme est issu de la réduction de l'expression " processus de création des services ". La " tangibilité " constitue le critère le plus communément accepté de différence entre produits et services : est considéré comme produit tout bien tangible et comme service tout bien intangible (Gagnepain, 1998) (Eiglier, 2002) (Touzi et al, 2009).

Les réflexions développées dans le chapitre précédant nous fournissent un certain nombre d'éléments fondamentaux pour la conception du système de transport urbain mixte :

- *l'intégration des flux de marchandises dans un réseau de transport en commun* pourrait nous assurer un transport urbain alternatif, à travers l'exploitation de la capacité résiduelle des unités de transport en commun (vecteurs) déjà existante. Cela permettrait de rapprocher les marchandises de leur bassin de consommation en faisant appel à des ressources déjà circulantes, en réduisant considérablement le nombre total de kilomètres parcourus et les émissions de CO_2 par kilomètre précédemment engendrés par des véhicules commerciaux traditionnels.

- *la construction d'un réseau de nœuds d'interface* entre le transport longue distance et le transport urbain mixte, sera indispensable pour assurer l'intégration des services logistiques destinés aux passagers et aux marchandises en ville.

L'introduction de la mixité dans le transport urbain impose d'y intégrer des nouvelles fonctions. Le niveau d'intégration des connaissances dans l'aménagement du territoire, l'urbanisme et le transport ne leur permettent pas d'aborder, seuls, ce sujet. Nous montrerons ainsi dans ce chapitre l'intérêt d'emprunt de concepts de la gestion de production (gestion de flux, planification et pilotage) pour organiser et orienter la production de connaissances et d'outils devant accompagner cette évolution.

3.2 Conception du système de transport urbain mixte

3.2.1 Système adapté à une ville moyenne

A travers le système de transport urbain mixte, nous souhaitons proposer aux villes moyennes une solution de transport capable d'assurer le déplacement urbain des passagers et des marchandises d'une part en respectant les objectifs du développement durable et de l'autre la dimension d'efficience du transport de passagers et la dimension de compétitivité territoriale du transport des marchandises (Mazzarino, 2007).

Pour adapter au mieux ce nouveau système de transport aux villes moyennes, nous cherchons tout d'abord à répondre à la question : comment les villes moyennes françaises se structurent. A travers l'observation de leur espace urbain, l'articulation de ses différentes parties les unes par rapport aux autres, leur agencement et organisation, nous constatons souvent un schéma concentrique que l'on représente avec trois cercles : centre-ville, banlieue, espace périurbain. En effet même si chaque ville est différente, ne serait-ce que par son site, il y a des régularités dans l'espace. Le modèle qui s'adapte le mieux aux villes moyennes françaises est ainsi celui de la ville mono centrique : l'aire urbaine s'organise autour d'un seul centre, en l'occurrence, le centre-ville.

L'étude de la morphologie urbaine de la ville de La Rochelle confirme ce constat (Figure 3-1). L'image à droite dans la Figure 3-1 représente le centre coloré en rouge entouré par les espaces périurbains et l'image à gauche fait apparaître un zoom sur le centre.

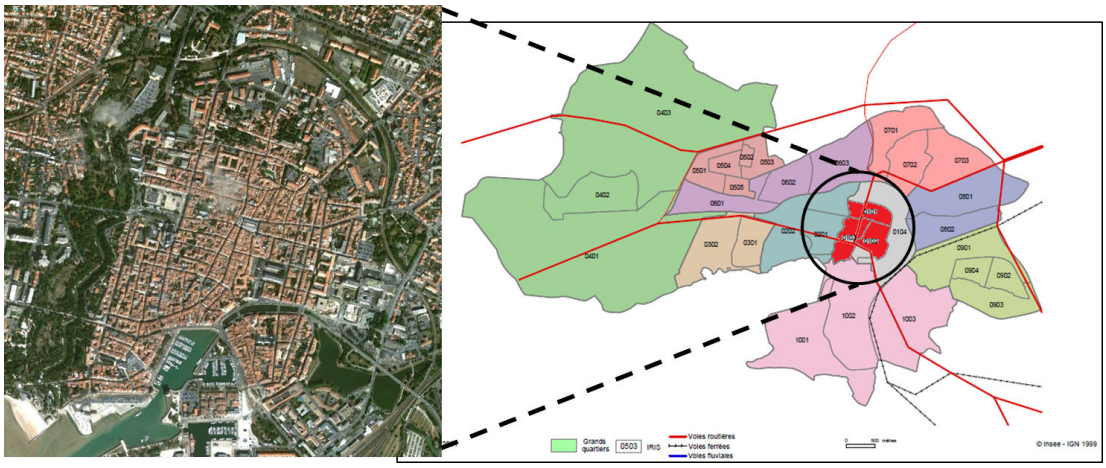


Figure 3-1 : la ville de La Rochelle, les espaces périurbains et le centre

Le centre de la ville, en plus d'accueillir des individus et des lieux d'activités économiques importantes, est dans la plupart des cas le centre historique, zone sensible du fait que le patrimoine historique et culturel y est conservé. Les politiques d'écologie urbaine menées par la plupart des villes moyennes cherchent à mettre en valeur ces centres, en les transformant dans des espaces urbains très

contraints en termes d'accès. Pour répondre à la nécessité d'une régulation du transport de personnes, trois solutions sont actuellement préférées.

La première consiste à privilégier les transports en commun, en tant que systèmes à grande capacité, la grande densité permettant d'avoir un point de départ pas trop éloigné du point d'arrivée, et, surtout, un point de départ du déplacement proche de celui d'un autre.

La deuxième consiste à favoriser les modes prévus pour des courtes distances (marche, vélos, deux-roues), la disponibilité d'espaces à dédier au système de transport étant faible.

La dernière solution vise à rendre des rues piétonnes, en faisant sortir les modes motorisés pour changer le cadre de vie.

Concernant la régulation du transport de marchandises, nous pouvons observer que la plupart des villes moyennes ne sont pas encore en mesure de proposer des solutions adaptées aux morphologies urbaines. Les solutions plus fréquentes visent à aménager des créneaux pour la desserte des commerces, sur des voies piétonnes par exemple, de même que des stationnements spécifiques. Cette gestion est critiquable car elle n'assure pas un report modal de ce trafic, elle est encore plutôt " sauvage " (Rioland, 2012).

Ces constats nous confortent sur la pertinence de poursuivre les orientations émergées du chapitre II, c'est-à-dire proposer un système de transport urbain mixte qui adapterait le réseau de transport en commun déjà existant pour y faire passer des marchandises.

Nous proposons ainsi un modèle de gestion du transport urbain qui se structurerait ainsi sur deux niveaux :

- *le premier niveau* assurerait l'acheminement régulier des marchandises grâce à une chaîne de transport alternative à la route, la ligne de transport en commun;
- *le deuxième niveau* assurerait le déchargement des marchandises depuis les arrêts de la ligne de transport en commun pour assurer la bonne réception de la part des clients finaux;

La Figure 3-2 illustre l'évolution d'une ligne de transport en commun en une ligne de transport urbain mixte.

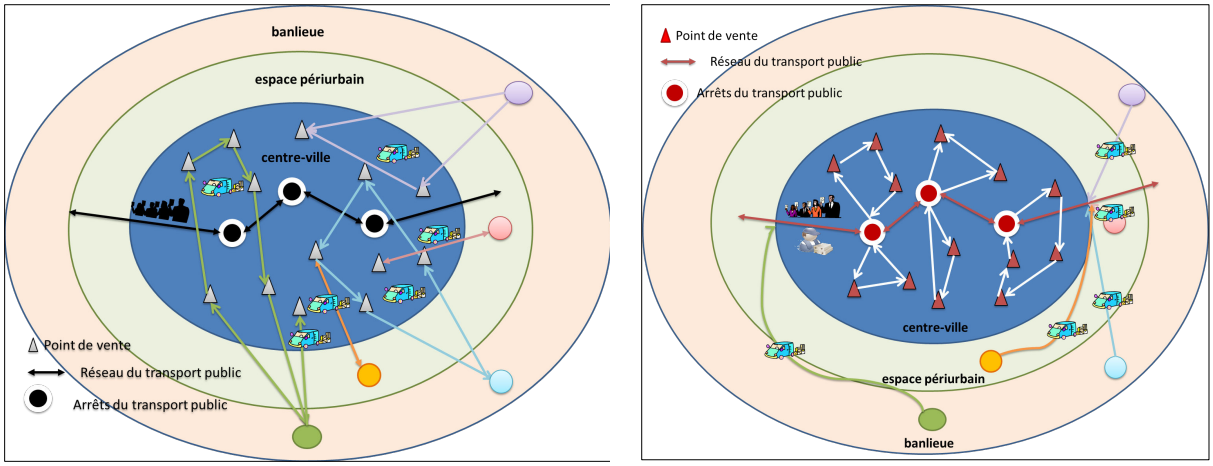


Figure 3-2 : évolution d'une ligne de transport en commun en ligne de transport urbain mixte

Les tournées sur le schéma de gauche représentent les transports de marchandises traditionnels. Sur le schéma de droite, certaines tournées pourraient continuer d'être assurées. Mais l'essentiel des marchandises, après avoir été déposées aux terminus du transport en commun adopteraient ce mode de transport pour être acheminées aux différents arrêts du transport public.

3.2.2 Structure

La structure du système de transport urbain mixte sur laquelle nous convergeons est alors la suivante :

- en amont, un équipement logistique adapté réceptionne les marchandises en provenance des sites de production des fournisseurs ou des entrepôts de consolidation/déconsolidation externes à la ville. Cet équipement logistique est connecté à une ligne de transport en commun afin de charger les marchandises sur les vecteurs de transport circulants sur la ligne, en fonction de leur capacité résiduelle. Une hypothèse forte du système est que la qualité du service assurée aux passagers utilisant les transports en commun reste inchangée même s'ils partagent les trajets avec des marchandises. Le système de distribution fonctionne sur une base quotidienne. Les marchandises, destinées à être livrées le jour J arrivent à l'équipement logistique en amont au plus tard le jour J-1 et sont ensuite dispatchées. Nous supposons connue la demande de marchandises des clients et le calendrier de distribution doit être déterminé avant que le premier vecteur de transport en commun quitte l'équipement logistique qui réceptionne les marchandises ;

- la périodicité des transports en commun permet d'approvisionner régulièrement les marchandises sur un ensemble d'arrêts où ont lieu, simultanément, les opérations de déchargement des marchandises et de montée/descente des passagers ;

– une fois déposées aux arrêts, les marchandises doivent pouvoir être distribuées au client final. Les modalités d'acheminement des marchandises aux clients finaux peuvent être multiples et, en fonction de celles-ci, les arrêts de la ligne de transport en commun se voient attribuées des fonctionnalités différentes.

La Figure 3-3 illustre les fonctions que le système assure à cet effet.

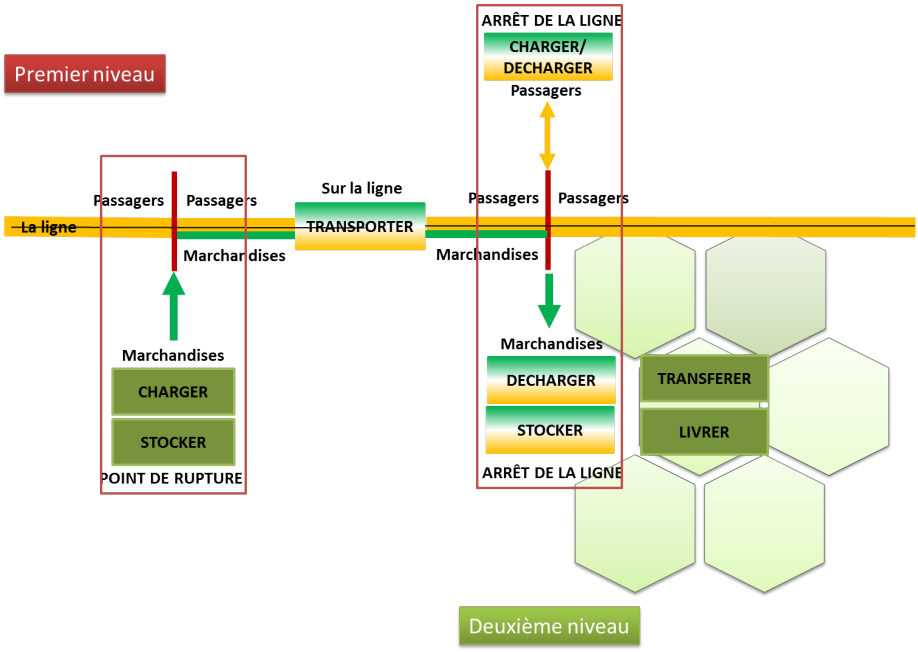


Figure 3-3 : les fonctions du système de transport urbain mixte

Nous listons de suite les cas de figure qui peuvent être envisagés :

1. *La distribution capillaire est effectuée sans rupture de charge et sans stockage aux arrêts.* Cette situation correspond aux livreurs qui, accompagnés d'un petit chariot roulant chargé de marchandises, empruntent les transports en commun pour se rapprocher de leurs lieux de distribution, et ensuite poursuivent à pied pour les derniers mètres (à ce sujet nous rappelons l'exemple d'ALUD ou de la Poste à Marseille § 2.2.3.4). Cette configuration évite d'introduire des ruptures de charge aux arrêts car le livreur peut être embarqué dans les moyens de transport en commun. La Figure 3-4 illustre le système avec cette configuration.

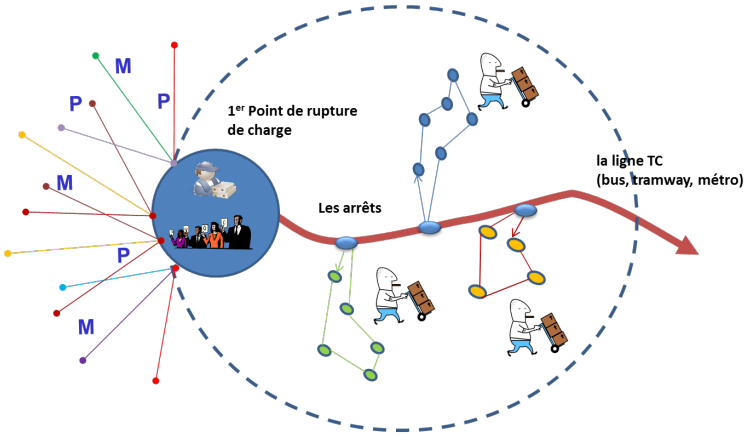


Figure 3-4 : la livraison finale est effectuée par un facteur qu'emprunte la ligne TC

Cette configuration est simple et efficace mais nécessite évidemment un nombre élevé de personnels dédiés à ce service.

2. *La distribution capillaire est effectuée avec rupture de charge aux arrêts mais sans stockage (transfert synchrone)*. Cette configuration a lieu quand la marchandise est embarquée sur les moyens de transport en commun et ensuite prise en charge par des véhicules de livraison capillaire, de préférence à impact environnemental faible ou absent. L'absence de stockage impose que les transports en commun et les véhicules de livraison capillaire convergent aux mêmes arrêts en même temps. Une configuration de ce type nécessite une grande précision dans la coordination de la circulation des véhicules, mais en même temps, elle limite l'utilisation des espaces publics à allouer pour stocker la marchandise aux arrêts. La Figure 3-5 illustre le système avec cette configuration.

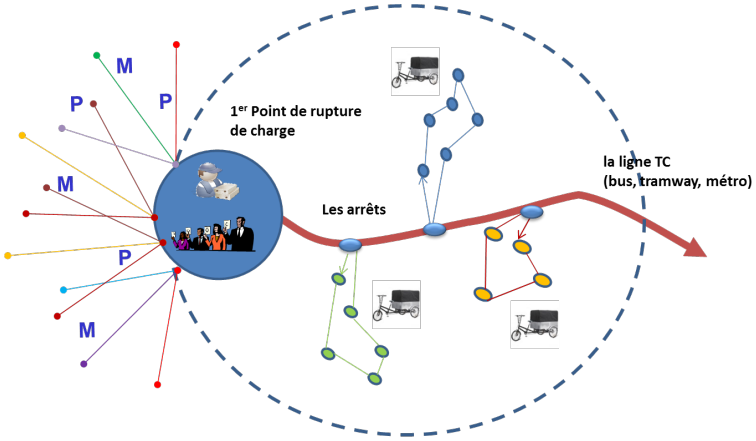


Figure 3-5 : la livraison finale est effectuée par un transfert synchrone sur des véhicules à faible impact

Cette configuration nécessite moins de personnels mais elle impose une très grande rigueur de gestion et des perturbations en cas d'alea.

3. *La distribution capillaire est effectuée avec rupture de charge et stockage aux arrêts (transfert asynchrone avec stockage).* Dans cette configuration, les marchandises, embarquées sur les transports en commun, sont déchargées aux arrêts et stockées sur des surfaces au sol dédiées à proximité des arrêts. L'acheminement aux clients finaux est assuré par des véhicules capillaires qui atteignent l'arrêt et extraient les marchandises des stocks pour les livrer. La Figure 3-6 illustre le système avec cette configuration.

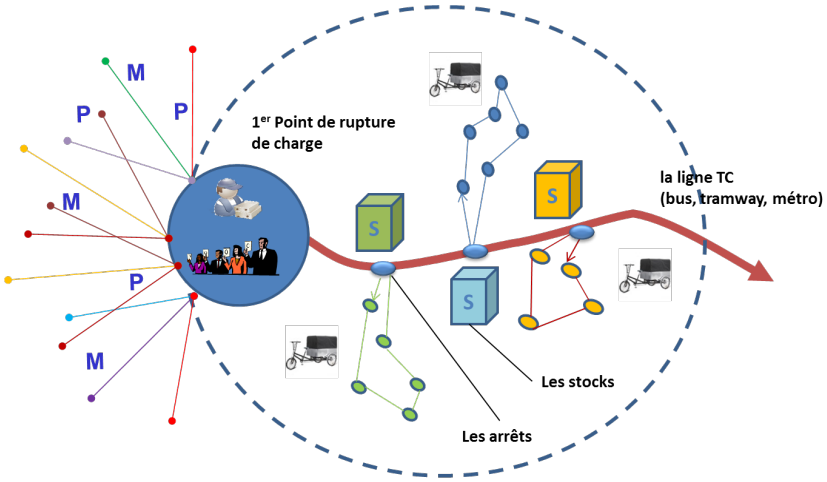


Figure 3-6 : la livraison finale est effectuée par un transfert asynchrone avec stockage aux arrêts

Le problème de cette configuration est évidemment celui de trouver des espaces de stockage protèges à proximité immédiate des arrêts.

4. *Les marchandises sont stockées aux arrêts et ensuite récupérées par les clients finaux* : dans cette configuration, une fois déchargées des transports en commun, les marchandises sont introduites dans des consignes automatiques, dûment équipées de systèmes électroniques spéciaux pour en assurer la sécurité. Les clients finaux reçoivent une communication de la présence de la livraison aux arrêts et ils s'occupent de la retirer. La Figure 3-7 illustre le système avec cette configuration.

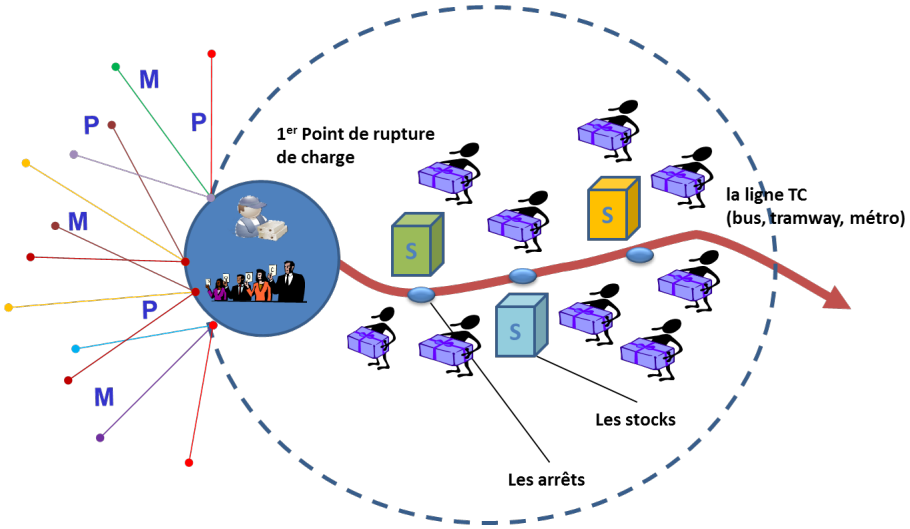


Figure 3-7 : les marchandises sont stockées aux arrêts et ensuite récupérées par les clients finaux

Cette configuration nécessite, comme la précédente la présence d'aires de stockage et un système particulier de gestion de l'information.

Dans les quatre configurations présentées, les arrêts de la ligne de transport en commun jouent un rôle central, parce qu'ils assurent aux marchandises le passage entre les deux niveaux du système.

Les arrêts d'une ligne de transport en commun, aujourd'hui, doivent répondre exclusivement aux besoins des passagers, être ainsi suffisamment équipés pour les accueillir le temps nécessaire à l'attente des moyens de transports et assurer l'information des horaires de desserte de la ligne. L'introduction du transit des marchandises aux arrêts imposerait la création d'infrastructures adaptées et un changement de l'environnement urbain. La présence des véhicules capillaires qui doivent se rapprocher des arrêts pour charger leurs livraisons impose un aménagement urbain des arrêts différent de celui de l'état actuel.

La possibilité de disposer d'un stock tampon aux arrêts implique d'assumer les coûts fonciers dans des zones urbaines souvent prisées où le prix moyen du mètre carré est élevé. Le choix d'acheminer les marchandises aux clients finaux par transport capillaire asynchrone comporte des coûts de stockage, et cela est aussi le cas si on décidait de placer des consignes automatiques aux arrêts.

Chacune de ces solutions présentent évidemment des avantages et inconvénients en termes de faisabilité, de coûts et d'organisation. Par ailleurs, comme nous l'avons dit, ils ne sont pas complétement disjoints : un stockage aux arrêts permettant par exemple aux clients de prendre leurs marchandises eux-mêmes. Nous étudierons plus particulièrement les configurations synchrones et asynchrones.

Le transport en mode piéton est une solution particulièrement simplificatrice déjà adoptée, par exemple par La Poste dans la ville de Marseille. Le nœud d'interface entre le transport longue distance

et la distribution courte distance aura ainsi les fonctions de massification des flux et de surface de stockage, tant pour les passagers que pour les marchandises (Figure 3-8).

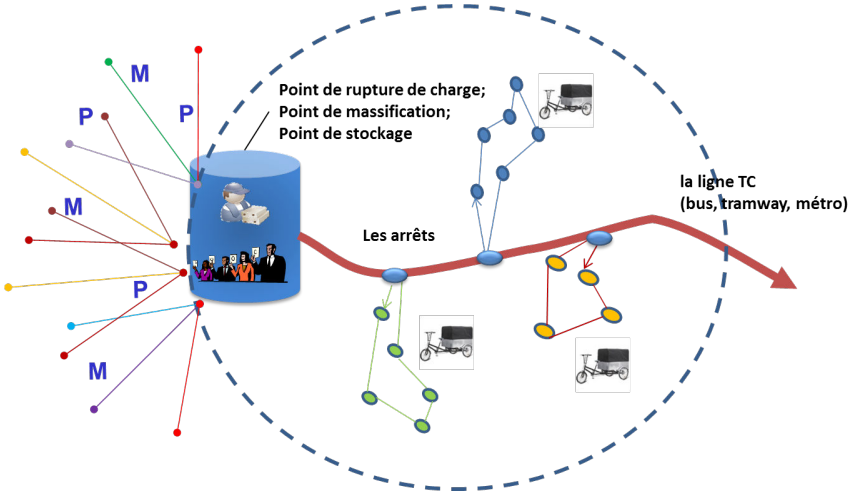


Figure 3-8 : exemple du système mixte avec transport capillaire synchrone et un nœud d'interface

Le système est celui qui nous avons étudié et détaillé. Il va de soi que selon les configurations de la ville et de la ligne, des configurations mixtes pourraient être envisagées. Nous nous sommes restreints ici à une configuration unique pour en étudier plus profondément la faisabilité et ses exigences organisationnelles et économiques.

3.2.3 Ressources mobilisées par le modèle

3.2.3.1 ***Equipement l`gistique en am`nt***

Il s'agit d'un équipement logistique d'interface multimodal, entre les flux interurbains et les flux urbains, assurant l'accessibilité aux transports en commun et respectueux du milieu urbain.

La partie dédiée aux marchandises sera inchangée par rapport à un centre de distribution urbaine classique : la réception des camions venant des fournisseurs, le stockage des marchandises avec éventuellement du cross - docking, la préparation des marchandises qui doivent être affectées aux transports en commun. Par contre, la partie dédiée aux passagers a besoin d'être entièrement conçue : il faudra prévoir le chargement des marchandises sur les vecteurs de transport en commun sans gêner le mouvement des passagers.

Nous nous inspirons du modèle de plateforme urbaine Arenc, développé par Sogaris à Marseille. En plein cœur de la ville sur le site ferroviaire d'Arenc, Sogaris a développé en partenariat avec la SNCF une plateforme de 9 hectares dédiée aux activités de logistique urbaine. Située en bordure des infrastructures portuaires sur un terrain embranché fer, elle est raccordée directement au réseau autoroutier et est accessible par les transports en commun (métro, tramway et bus).

Le site, grâce à son positionnement central, permet, pour des activités de distribution en centre urbain, de réduire les parcours de livraison et donc les effets externes négatifs sur l'environnement. Il favorise l'utilisation de véhicules moins polluants et à faible autonomie comme, par exemple, les véhicules électriques, les vélos - cargos et la desserte par les bus, le métro et le tramway.

Il s'agit de la première plateforme urbaine avec une toiture à étanchéité photovoltaïque sur plus de 5000 m². La production d'énergie électrique est estimée à 320 MWh/an, soit l'équivalent de la consommation en électricité de 130 foyers. Cet équipement permettrait de produire le courant nécessaire au fonctionnement des véhicules électriques utilisés pour les livraisons (Ripert, 2012).

Il va de soi que dans le cas général nous ne bénéficierons pas d'une telle infrastructure. Ce qu'il faut retenir, c'est la nécessité de disposer, d'aménager ou de concevoir un tel CDU dont les caractéristiques sont les suivantes :

- une arrivée des camions qui ne doit pas perturber la circulation urbaine, c'est à dire une localisation de ce CDU sur un site externe au centre-ville et d'accès facile aux passagers ;
- un espace de stockage isolé des passagers avec un dispositif d'acheminement des marchandises préparées directement transportable dans le transport en commun ;
- la priorité étant donnée aux passagers, l'arrêt de ce terminus doit être quasi identique à celui de n'importe quel terminus.

Une grande attention doit être apportée à l'organisation de cette infrastructure et à son aménagement initial.

Dans la suite de cette recherche, n`us appeller`ns l'équipement l`gistique en am`nt, simplement CDU.

Une remarque importante s'impose ici. Une ligne de bus compte en général deux terminus au début et à la fin. Dans notre cas, cette possibilité de deux terminus ne peut que simplifier notre système. Soit le second terminus ne peut être utilisé, alors on est ramené au cas précédent, soit celui-ci peut constituer un nouveau CDU à part entière, alors il suffit d'affecter la demande des zones à l'un ou à l'autre des CDU en fonction de la proximité zone/CDU. Le problème pouvant se complexifier si les produits destinés à un client donc à une zone donnée n'étaient disponibles que dans un seul CDU. Dans ce cas il faut prévoir que chaque CDU peut livrer l'ensemble des zones.

L'existence de deux CDU ne change pas intrinsèquement la nature du problème du transport mixte, il peut même le simplifier mais en toute logique, le modèle de distribution de l'un ou de l'autre CDU ne change pas, seules les données de la demande vont être modifiées.

3.2.3.2 ***C`nditi`nnement des marchandises***

Les marchandises destinées à être chargées sur les transports en commun sont regroupées dans des conteneurs. La composition des conteneurs a lieu au sein de l'équipement logistique en amont.

Nous concevons les conteneurs comme des dispositifs roulants : leur forme peut ressembler à un roll, c'est à dire un conteneur mobile auquel on fait appel pour les expéditions, manutentions, transport de produits volumineux...

La Figure 3-9 nous oriente sur les caractéristiques de ces équipements, le premier roll à gauche est un roll pour le transport de produits volumineux ou en vrac, celui du milieu est un charriot grillagé pour protéger des produits sensibles, le troisième est un roll pour le transport de produits volumineux ou en vrac à condamnation totale.

Figure 3-9 : les traits d'un possible conteneur pour les livraisons

Si on envisage d'équiper les conteneurs d'assistance électrique, nous pouvons alors faire appel à la solution pour la livraison et l'enlèvement des colis proposée par Chronopost International, le transporteur de fret express. Il s'agit de Chronocity, un outil de manutention à assistance électrique, constitué d'une plateforme automotrice (Figure 3-10).

Figure 3-10 : Chronocity

Pour les produits frais, périssables, ou surgelés, on pourrait envisager le recours à des conteneurs isothermes, disponibles déjà dans le secteur de la restauration professionnelle, sous plusieurs configurations, illustrées dans la Figure 3-11 : le conteneur bleu est destiné aux liquides, le rouge est un conteneur à couvercle et le gris un conteneur à ouverture frontale.

Figure 3-11 : possibles conteneurs isothermes

Dans tous les cas, il faut prévoir que les marchandises destinées à un client soient regroupées dans un module spécifique directement livrable au client lors de la tournée capillaire.

3.2.3.3 ***Véhicules capillaires***

Pour la livraison capillaire à partir des arrêts de la ligne, nous faisons appel à des triporteurs pour le fret, autrement dit des cargos tricycles, qui assurent la récupération des conteneurs de marchandises aux arrêts et la réalisation des tournées de livraison.

Nous faisons l'hypothèse que dans tous les cas de figure le triporteur prend le conteneur chargé de marchandises relatives à une tournée préétablie au moment où ce conteneur a été chargé.

L'essieu à deux roues qui porte la charge pourra être soit à l'avant soit à l'arrière, selon le volume dont on veut disposer et ils seront équipés d'une assistance électrique. Leurs homologues dans le transport de passagers sont les vélos-taxis.

De nombreux exemples de ces véhicules à assistance électrique (VAE) sont disponibles sur le marché aujourd'hui et dans nos villes, plusieurs d'entre eux sont cités dans le paragraphe (§1.2.2.2).En majorité - mais pas tous - les VAE commercialisés en France respectent la norme française NF-R30-020 ou européenne EN-14764 (cf. AFNOR).

Les normes précisent que :

- la puissance du moteur est limitée à 250 watts, sous une tension maximum de 50 volts.
- l'assistance n'est activée que si le cycliste pédale, c'est le "démarrage à la pédale". Elle doit s'interrompre dès l'arrêt du pédalage ou lorsque le cycliste freine. Il s'agit donc bien d'une assistance au pédalage du vélo et non d'une propulsion comme dans le cas des cyclomoteurs.

- par ailleurs le VAE doit respecter les caractéristiques de tous les cycles concernant les freins, l'éclairage, l'avertisseur sonore, les catadioptres etc.

D'autres textes sont applicables aux vélos à assistance électrique :

- la Directive Européenne 2002/24/CE;
- l'Arrêté du 2 mai 2003 relatif à la réception et à la réglementation technique des véhicules à moteur à deux ou trois roues et des quadricycles à moteur et de leurs systèmes et équipements.

Au sujet du respect des exigences de sécurité, le Décret n° 95-937 du 24 août 1995 relatif à la prévention des risques résultant de l'usage des bicyclettes précise que (extraits) : " Le respect des exigences de sécurité est attesté par la mention " Conforme aux exigences de sécurité ", qui doit être apposée par le fabricant ou le vendeur, sur le cadre de la bicyclette.

Cette mention certifie que le VAE a été fabriqué conformément aux normes de sécurité et est conforme à un modèle bénéficiant d'une attestation de conformité aux exigences de sécurité délivrée à la suite d'un examen de type par un organisme habilité.

En conséquence, pour chaque achat d'un vélo à assistance électrique, le vendeur doit obligatoirement fournir le certificat d'homologation. Ce document est important car il peut être réclamé par les forces de l'ordre, pour prouver qu'il s'agit bien d'un vélo (un VAE) et non pas d'un cyclomoteur, ou par un assureur afin de souscrire une assurance vol.

Comme pour tous les cycles, le VAE peut (ou doit) emprunter les bandes et pistes cyclables. Il n'impose ni le port du casque, ni le marquage de contrôle des cyclomoteurs, ni assurance spécifique. En annexe III nous détaillons les caractéristiques techniques de ces véhicules.

Dans notre système, on suppose que les véhicules électriques peuvent emporter *exactement un conteneur*, pour une exigence de rapidité dans les opérations de chargement/déchargement et dans les mouvements des cargos tricycles en ville.

3.2.3.4 ***Transp`rts en c`mmun adaptés***

Le système de transport urbain mixte que nous considérons intègre les flux de marchandises dans un réseau de transport en commun, à travers l'exploitation de la capacité résiduelle des unités de transport en commun (vecteurs).

Les vecteurs circulants sur la ligne doivent ainsi être adaptés pour pouvoir :

- accueillir simultanément des passagers et des marchandises, dans les créneaux horaires où la place disponible n'est pas saturée.
- mettre à disposition toute leur capacité pour assurer le transport de passagers, dans les créneaux horaires de haute fréquentation de la ligne.

On peut concilier les deux contraintes de la façon suivante en faisant appel au concept de strapontins, sièges d'appoint qui peuvent se lever et s'abaisser. Ainsi, les conteneurs pleins ou vidés peuvent être introduites dans une zone réservée si le vecteur n'est pas saturé sans gêner les voyageurs (N strapontins + N sièges = nombre actuel de places du vecteur). La figure suivante illustre ce concept.

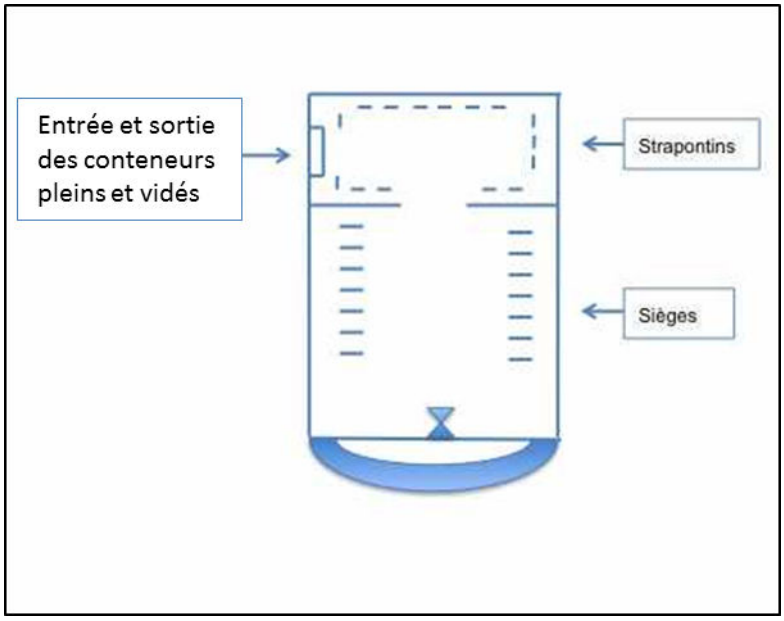


Figure 3-12 : proposition d'aménagement d'intérieur d'un vecteur de transport en commun

Une application de ce concept est " FreightBus ", le nouvel autobus conçu pour le transport urbain mixte à Londres. La municipalité de Londres en 2008 a organisé un concours intitulé " Un nouveau bus pour Londres ". Le but était d'imaginer le bus du futur pour la capitale britannique, propre et pratique. Hugh Frost, un designer industriel anglais, s'est attaqué à ce challenge et a proposé le Freight*Bus. De l'actuel bus londonien, il reprend l'idée d'un bus à deux ponts et la couleur. Le Freight*Bus peut, outre des usagers, convoyer des cartons, des marchandises… afin de limiter les déplacements des camionnettes de livraison dans Londres.

Le Freight*Bus a été prévu pour cela dans sa conception en amont (des rangées de sièges descendent du plafond en cas de forte influence). Concernant le caractère écologique de l'engin, son concepteur propose un système hybride GPL/électrique. L'idée du Freight*Bus est séduisante. En effet, ce véhicule peut accueillir 130 passagers et, grâce à ses sièges pliants, il devient un porte-marchandises capable de transporter jusqu'à 35 palettes. Equipées d'une motorisation hydrogène ou électrique, ses

roues sont capables de passer en mode "crabe" pour le ranger facilement le long des arrêts de bus (cfr. www.onroutebus.co.uk).

3.2.3.5 ***Pers`nnel dédié***

Dans nos premières réflexions, nous avons considéré de disposer de deux équipes, l'une dédiée à la préparation des marchandises dans les conteneurs et au chargement des conteneurs sur les transports en commun, l'autre dédiée à la livraison capillaire, en effectuant les opérations de déchargement des conteneurs des transports en commun et leur prise en charge sur les cargo tricycles, le chargement des conteneurs vidés dans les transport en commun et l'accomplissement des tournées de livraison aux destinataires finaux.

Cependant, nous avons aussi pris en compte les nombreuses questions qui peuvent découler sur le plan technique, socio – économique et règlementaire, du choix d'accompagner les conteneurs embarqués dans les unités de transport en commun.

Nous avons ainsi opté pour introduire dans un premier temps du personnel destiné à accompagner les conteneurs à bord des vecteurs de transport en commun, aujourd'hui déterminant pour assurer la qualité du service. Nous sommes conscients que cette condition est sensée disparaître dans le temps. L'exemple des ascenseurs qui, datant de 1853, étaient conduits à leurs débuts par une personne qui assurait la sécurité et était chargée des manipulations des équipements, et qui, progressivement, n'a plus eu aucun rôle peut être une préfiguration de cette évolution. Nous considérons le régime permanent dans lequel ces accompagnateurs de conteneurs ne font plus partie du système. Mais il va de soi que des aspects complémentaires devraient alors être pris en compte, ne serait-ce que des aspects sécuritaires.

3.2.3.6 ***L`gistique inverse des c`nteneurs vidés***

Nous disposons d'un certain nombre d'unités de transport en commun (vecteurs) qui chaque jour parcourent le même itinéraire et desservent les mêmes arrêts.

Nous pouvons en déduire (cf. modèle présenté ultérieurement) le nombre de conteneurs qui peuvent être embarqués sur ces vecteurs pour la distribution de marchandises de la façon suivante :

- sur la base de l'analyse des comportements des personnes qui voyagent sur la ligne, nous sommes capables d'évaluer pour chaque unité de transport au départ du CDU, quel sera son taux de fréquentation maximal sur la journée.
- ainsi nous pouvons fixer une valeur de capacité résiduelle minimale à affecter au transport de marchandises, qui se traduira en places occupées par les conteneurs.

- une fois les conteneurs chargés sur chaque unité de transport en commun, leur place à bord est assurée pour toute la durée de l'itinéraire du vecteur, car elle est calculée à partir de la fréquentation faite en début de journée.

Dans le cas du système synchrone, le retour des conteneurs vidés au CDU se déroulera de la façon suivante. Au moment de l'arrivée du conteneur plein à l'arrêt, son déchargement aura lieu seulement si un cargo tricycle est présent, parce que nous imposons l'absence de surfaces de stockage aux arrêts.

Si le cargo tricycle n'est pas présent, le conteneur restera sur le vecteur de transport en commun jusqu'à la fin de sa course.

En revanche, si le cargo tricycle est présent à l'arrêt, deux situations peuvent avoir lieu:

- le cargo tricycle est vide (on a précisé dans le §3.2.3.3 qu'il y a un seul conteneur par véhicule capillaire) ;
- le cargo tricycle porte à l'arrière un conteneur vidé, conséquence de sa précédente tournée ;

Si la première situation a lieu, le cargo tricycle ne fera que charger le conteneur plein et démarrer a sa nouvelle tournée, autrement, le cargo tricycle récupèrera le conteneur plein et déposera en même temps le conteneur vidé sur le vecteur de transport en commun. Le conteneur vidé restera ainsi à bord du vecteur jusqu'à la fin de son itinéraire qui correspond à son retour au CDU.

Si la capacité résiduelle est calculée sur l'aller simple, alors il faut supposer qu'une planification des conteneurs vides doit être mise en place.

Enfin, nous pourrions aussi avoir recours à la solution technologique des conteneurs pliables : cette solution permettrait de minimiser l'encombrement des derniers. Une fois pliés, ces conteneurs pourront être chargés sans contraintes particulières sur les transports en commun pour les acheminer au CDU. On fait déjà appel à la solution des conteneurs pliables dans des chantiers temporaires, en tant qu'unités de stockage pratiques et peu encombrantes.

En pratique, cette problématique des conteneurs vidés est assez complexe et nécessiterait une modélisation annexe au modèle que nous présenterons. En effet, dans ce modèle, nous avons choisi d'assurer une livraison synchrone à partir des déposes de conteneurs aux différents arrêts.

Nous verrons que la conception des tournées repose sur une modélisation mathématique s'appuyant sur une optimisation. Celle-ci, dans un souci de minimisation des distances n'interdit pas à un tricycle vide de revenir à un autre arrêt que son arrêt d'origine et de ce fait, un conteneur déposé à un arrêt i, peut très bien être retourné à un arrêt j.

On comprend alors qu'en toute rigueur, on devrait prendre en compte dans le modèle de planification des changements au CDU, l'ordonnancement des retours de conteneurs vidés dans n'importe quel arrêt de façon à assurer l'équilibre charge – capacité des transports en commun.

En fait, cette prise en compte des retours des conteneurs vidés ne pose pas un problème de modélisation très compliqué mais il ne ferait que complexifier notre modèle de base. En effet, nous sommes dans un environnement déterministe de sorte que, dès le début de la journée, on connait les charges à transporter, les passagers à déposer et par la connaissance de la capacité résiduelle, on peut connaître heure par heure et vecteur par vecteur, le nombre de conteneurs à transporter.

On peut simuler ce modèle en début de journée en introduisant les tournées capillaires donc les conteneurs de retour à chaque arrêt. Ces conteneurs de retour occuperont un certain volume qui réduira la capacité résiduelle.

Soit cette capacité résiduelle tenant compte des retours de conteneurs est suffisante, alors on peut appliquer le modèle sans problème, soit elle ne l'est pas et on va être amené à conduire des nouvelles simulations en réduisant les charges à transporte sur une ou plusieurs périodes en amont de cette période d'incompatibilité charge –capacité.

Le processus ne peut que converger car, comme nous le verrons par la suite, on admettra la possibilité de faire partir un moyen de transport à vide de passager avant le début du trafic passagers sur la ligne.

3.2.3.7 ***Aménagements aux arrêts de la ligne***

Evidemment, les arrêts de la ligne de transport en commun nécessitent d'être aménagés pour permettre au personnel dédié d'accomplir les tâches prévues : le déchargement des conteneurs roulants, l'approche des véhicules capillaires aux arrêts pour effectuer le chargement des conteneurs et la récupération des conteneurs vides qui retournent au CDU.

Il faudra ainsi que la hauteur de la bordure de quai soit adaptée pour assurer l'accès de plain-pied aux véhicules de transport public ; cet effort d'adaptation est cependant déjà prévu dans plusieurs agglomérations, pour répondre aux prescriptions techniques de loi n° 2005-102 du 11 février 2005, pour " l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées ", qui prévoit des itinéraires entièrement accessibles à compter de 2015.

En ce qui concerne la gêne occasionnée par les véhicules capillaires qui, aux arrêts des transports en commun, effectuent les opérations de chargement/déchargement des conteneurs, nous considérons cet aspect plutôt acceptable, en prenant en compte l'encombrement relativement réduit des cargos tricycles.

La Figure 3-13 montre un cargo tricycle garé dans un couloir de bus, il nous donne une idée de l'encombrement relativement réduit de ce type des moyens de transport.

In est évident que dans le cas du système asynchrone, il faut prévoir un plus des dispositifs précédents une zone de stockage de n conteneurs (vides + pleins) à proximité immédiate de l'arrêt. Plusieurs solutions seraient possibles : utilisation d'une partie de l'arrêt passagers pour le stockage, stockage en sous-sol avec ascenseurs pour descendre les conteneurs pleins et remonter les vidés, utilisation de places de parking connexes aux arrêts affectes aux conteneurs,…

Aucune solution n'est simple mais les règlementations sur le stationnement des voitures particulières ou les aménagements récents de consignes automatiques ouvrent d'intéressantes perspectives.

Figure 3-13 : couloir de bus et cargo tricycles (Photo : Darchambeau, 2012)

Enfin, nous soulignons que l'intérêt d'adopter un système de transport urbain mixte est de pouvoir répondre de manière durable aux besoins d'approvisionnement en marchandises des villes moyennes.

Cette demande de marchandises se caractérise par des colis de petite taille, destinés à un grand nombre de clients dans une zone géographique restreinte.

Aujourd'hui elle est satisfaite par des véhicules utilitaires disposant de grands volumes et souvent sous-exploités.

Ainsi, si le système de transport urbain mixte qu'on souhaite proposer devait faire appel à de nombreux cargo tricycles par arrêt, cela serait en contradiction avec le constat précédent et nous mènerait à déduire qu'il n'est pas pertinent pour satisfaire de manière efficace la demande.

3.2.4 Problème du dimensionnement des ressources

Le dimensionnement du nombre de ressources nécessaires au fonctionnement du système de transport urbain mixte proposé est un problème central. A partir d'un réseau de transport urbain existant, nous devons connaître quel sera le besoin de ressources additionnelles pour satisfaire le

service de distribution urbaine de marchandises, en termes de capacité de transport à allouer, de véhicules capillaires destinés à la livraison finale et de ressources humaines employées.

Caractériser cette activité, anticiper et évaluer les adaptations qu'il est possible de faire dans le cadre du nouveau système vont nous amener à des analogies avec des modèles de gestion de production.

Nous souhaitons faire appel aux concepts d'atelier de production, de planification et de pilotage, ainsi qu'à ceux attachés à la gestion des flux qui nous permettent de dépasser les limites d'une approche centrée sur le seul effet des interventions techniques et d'élaborer une production du service de transport urbain mixte.

Pour ce faire, nous devons établir des analogies entre l'organisation du processus de transport urbain mixte et l'organisation d'un processus de fabrication industriel.

Giard (1988) définit la production comme étant une transformation de ressources appartenant à un système productif et conduisant à la création de biens et de services. Les ressources peuvent être de quatre types : des équipements (machines,...), des hommes (opérateurs,...), des matières (matières premières et composants), des informations techniques ou procédurales (gammes, nomenclatures, fiches opératoires,...). La production d'un bien s'effectue par une succession d'opérations consommant des ressources et transformant les caractéristiques morphologiques ou spatiales de " matières ".

Nous imaginons le système de transport urbain mixte comme une production par produit prioritaire où le produit prioritaire est la personne transportée et nous nous intéressons au processus de production du service non prioritaire, celui de la distribution des marchandises.

3.3 Pilotage du système : la référence aux approches de gestion de production

3.3.1 Décomposition en unités autonomes de production

Nous introduisons la notion *d'unité autonome de production (UAP).* Dans l'industrie, cette notion est usuelle et correspond à une partie d'un processus de fabrication d'un produit pour lequel on connait les ressources nécessaires, les spécificités du produit à fabriquer et les délais de production visés. En ce sens, cette notion nous paraît aussi pertinente pour notre système de transport urbain mixte. En effet, une structuration d'entreprise en unités autonomes de production correspond à un mode d'organisation permettant de coordonner et de mettre en œuvre les activités diversifiées nécessaires à l'élaboration d'un produit (Pautet, 2005) (Crama, 2002) (Dallery, 2000) (Courtois et al, 1989).

Une telle structuration revient à décomposer le système de production en sous-systèmes (les UAP) qui ont entre eux des interactions faibles et sont donc quasi indépendants au quotidien, alors qu'à long terme le comportement de chacun des composants n'est affecté par les comportements des autres que de façon agrégée (Roy, 2000). Cette notion permet de réduire la complexité des systèmes de production en opérant une agrégation autour des produits, ce qui réduit le nombre de variables et de contraintes à prendre en compte (Fontan et al, 1997).

Dans le système étudié, la ligne de transport en commun est une ressource qui véhicule les produits (marchandises) qui sont destinés à satisfaire les besoins des zones urbaines desservies par des arrêts. Les zones sont alors des UAP et la production est entendue dans le sens où des services sont produits à partir des produits approvisionnés.

C'est bien par de meilleurs services que la ville attire de nouveaux consommateurs. Ce concept d'agrégation des activités, raisonné en fonction des biens ou des services à produire, nous semble alors particulièrement adapté pour représenter l'organisation d'un système urbain. Le nombre et la nature de ces découpages dépendront largement des contraintes portant sur les moyens de production, nous reviendrons sur ces aspects dans le § 3.5.3.2.

Dans un premier temps, nous répartissons l'espace par des rectangles à partir des arrêts, l'arrêt étant le centre du rectangle. Cette hypothèse est évidemment simpliste. On pourrait de façon plus réaliste définir l'affectation marchandises à livrer/arrêt, en fonction de la densité de marchandises (en prévision des futures tournées de capillaire). Cela ne change pas beaucoup le problème dès lors qu'en début de journée, cette affectation arrêt/zone est connue et constante dans la journée. La demande en marchandises est ainsi regroupée par zones de distribution (Figure 3-14).

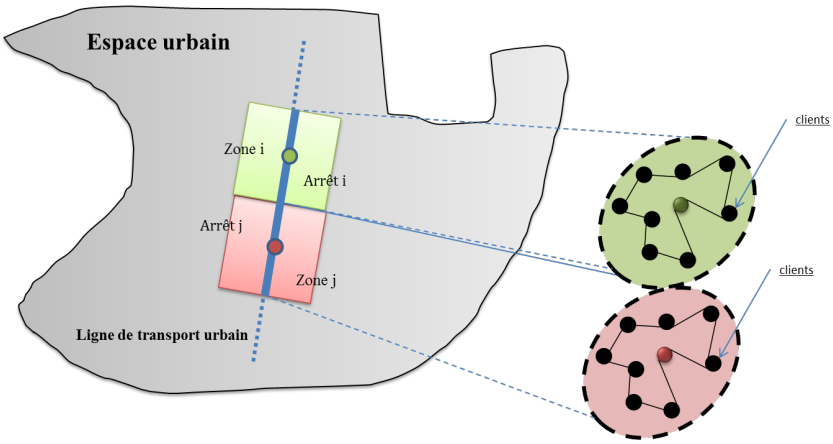


Figure 3-14 : décomposition de l'espace urbain traversé par la ligne de transport en commun

Nous considérons l'affectation arrêt/zone constante dans la journée et la demande connue. Il est d'ailleurs peu probable qu'elle varie à court terme sauf en cas de variation importante de la demande : vacances, implémentation de nouveaux commerces,…

Chaque client exprime sa demande en volume/tranche horaire. Chaque client étant défini géographiquement, on connaît pour chaque arrêt quelle sera la demande par tranche horaire à assurer pour la zone associée à l'arrêt.

Pour chaque zone et pour chaque tranche horaire, le système de transport mixte considéré doit satisfaire la demande des clients en acheminant un certain nombre de conteneurs roulants plein de marchandises aux arrêts de la ligne et en les vidant ensuite progressivement à travers les tournées capillaires.

Une telle représentation permet de faire le lien entre les ressources productives et les processus de production définis comme l'ensemble d'interventions mises en œuvre sur les zones.

On peut ainsi distinguer les questions qui touchent à la planification, au pilotage ou à la conduite des UAP. La configuration du système technique relève de la gestion stratégique lorsqu'il s'agit de définir les UAP qui le constituent, mais aussi d'acquérir des ressources de production ou de fixer des objectifs de modification des zones. Les questions relevant de la planification de l'espace urbain concernent le dimensionnement des UAP. Cette planification porte sur l'affectation des zones à différentes productions, mais aussi sur la définition des règles qui permettront de modifier ces allocations.

D'autres questions concernant le pilotage de la production sont relatives à la coordination des UAP, ou bien à la modification à long terme de l'affectation des zones à une UAP. La conduite d'une UAP concerne l'activité d'ordonnancement, c'est-à-dire l'ordre des interventions pour gagner du temps lors d'un processus de production mais aussi les modalités d'intervention ; on considère ici les différentes composantes du transport capillaire. Il est évident à ce niveau que, selon que le système est synchrone ou asynchrone, les contraintes d'ordonnancement vont être complètement différentes.

Nous allons voir que les analogies que nous avons esquissées avec la gestion de production sont fécondes. Dans un premier temps, nous allons rapidement préciser les principales notions de production que nous emprunterons ensuite pour notre modélisation.

3.3.2 Données techniques et autres définitions

Ressources. Il s'agit de l'ensemble des moyens nécessaires pour réaliser la transformation des matières premières et composants en produits finis. Suivant le type d'entreprise, les ressources comprennent de la main d'œuvre, des équipements, des outillages, des informations, des bâtiments, etc. Dans le cadre du transport mixte, la main d'œuvre correspond aux conducteurs des véhicules, les équipements correspondent aux véhicules de transport.

Capacité. En production, la capacité d'une ressource correspond à la quantité maximale d'unités d'œuvre pouvant être raisonnablement (ou théoriquement) atteinte dans une période donnée et dans le cadre de certaines hypothèses de travail. Dans le cadre du transport urbain mixte, la capacité est le nombre maximal de services que l'on peut fabriquer dans une unité de temps donnée, c'est-à-dire le nombre de personnes et de marchandises que l'on peut transporter.

Charge. En production, la charge d'une ressource correspond à une demande planifiée sur une période donnée et exprimée avec la même unité que la capacité. Pour une ressource donnée, la charge doit bien sûr être inférieure ou égale à la capacité. Dans le cadre du transport urbain mixte, la charge correspond au nombre de passagers et de marchandises qui peuvent être simultanément transportés.
Dans chaque zone a lieu la production d'un certain nombre de conteneurs vidés. Il apparaît ainsi logique, dans la poursuite de l'analogie entre production industrielle et transport mixte, de considérer chaque conteneur roulant vidé comme un *produit fini (PF).*

En production, pour pouvoir fabriquer un produit, il est nécessaire de connaître la liste des articles directement constitutifs de l'article final considéré (norme AFNOR NF X50-310). Il est donc nécessaire, pour établir leurs programmes d'approvisionnement ou de mise en fabrication, de s'appuyer sur des documents techniques qui décrivent cette composition et ces cycles d'assemblage : on parle ainsi de *nomenclature* d'un produit. La nomenclature est associée à chaque article et permet de déterminer les quantités théoriques nécessaires à sa fabrication. La nomenclature est une représentation hiérarchique des besoins en composants et sous-composants nécessaires à la fabrication d'un produit. Elle est dite à tiroirs ou arborescente lorsque seuls les composants immédiats d'un ensemble ou d'un produit sont indiqués. Dans la plupart des entreprises, les nomenclatures sont arborescentes, un ensemble étant réalisé à partir de sous-ensembles, eux-mêmes réalisés à partir de produits intermédiaires jusqu'à parvenir au niveau des matières premières ou des articles achetés. Aux besoins, sont associés les délais d'obtention des différents éléments par l'intermédiaire des gammes de production dont nous reparlerons.

Cette forme de nomenclature est la plus répandue car elle est visuelle et se prête bien à une représentation sous forme de graphe compréhensible par tous et sur lequel le paramètre temps peut figurer. Le diagramme arborescent à droite dans la Figure 3-15 présente une nomenclature arborescente d'un bureau (produit fini – PF), le trait qui relie le produit fini à chacun de ses composants s'appelle un lien. Les chiffres entre parenthèses précisent les quantités nécessaires de chaque composant et matière première pour fabriquer le produit fini.

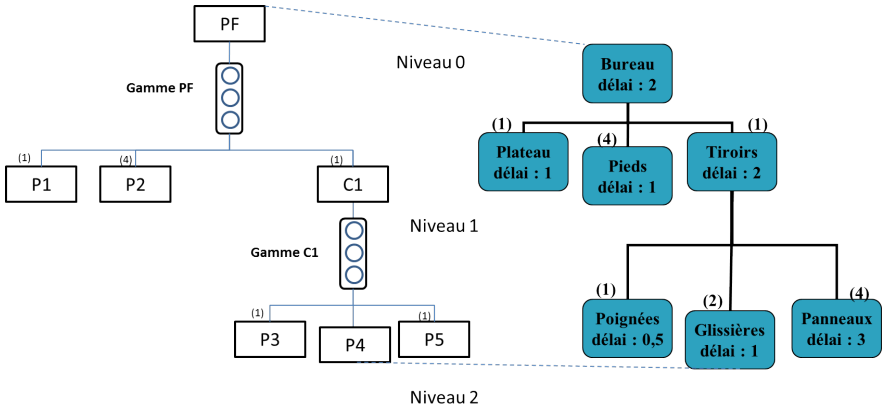


Figure 3-15 : nomenclature (diagramme à droite) et gamme (diagramme à gauche) d'un bureau

Dans le cas du transport urbain mixte *la production consiste à fabriquer des conteneurs vidés.* La nomenclature d'un conteneur vidé peut être alors définie par les marchandises qu'il doit contenir, en fonction de la demande des clients à livrer (Figure 3-16, diagramme arborescent à droite).

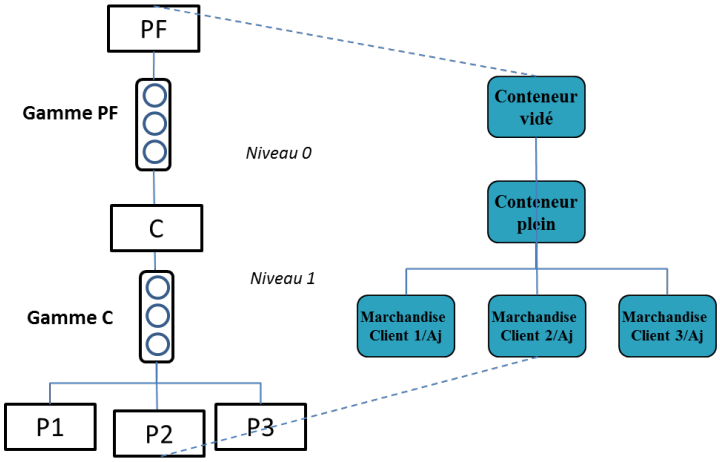


Figure 3-16 : nomenclature (diagramme à droite) et gamme (diagramme à gauche) d'un conteneur roulant

Pour fabriquer un conteneur vidé, il sera nécessaire d'effectuer les opérations suivantes :

- la préparation du conteneur au sein du CDU, où les colis sont groupés avec d'autres clients ;
- le chargement du conteneur plein sur les transports en commun et son acheminement jusqu'à l'arrêt où il sera déchargé ;
- le stockage ou non selon le système synchrone ou asynchrone ;
- la prise en charge du conteneur plein par le cargo tricycle qui effectuera la desserte de la zone et reviendra à un arrêt avec le conteneur vidé.

La nomenclature précédente est représentée dans la Figure 3-17, où intervient le paramètre temps : la légende détaille les délais nécessaires pour effectuer la fabrication des conteneurs vidés *i* (*dm i* est le délai de montage du conteneur, c'est-à-dire le temps nécessaire pour remplir le conteneur des

marchandises, au sein du CDU, *da i* est le délai d'approvisionnement du conteneur i à l'arrêt j auquel il est destiné, *dd i* est le délai de désassemblage du conteneur *i* qui devient progressivement vidé et est ensuite ramené vidé à l'arrêt associé.

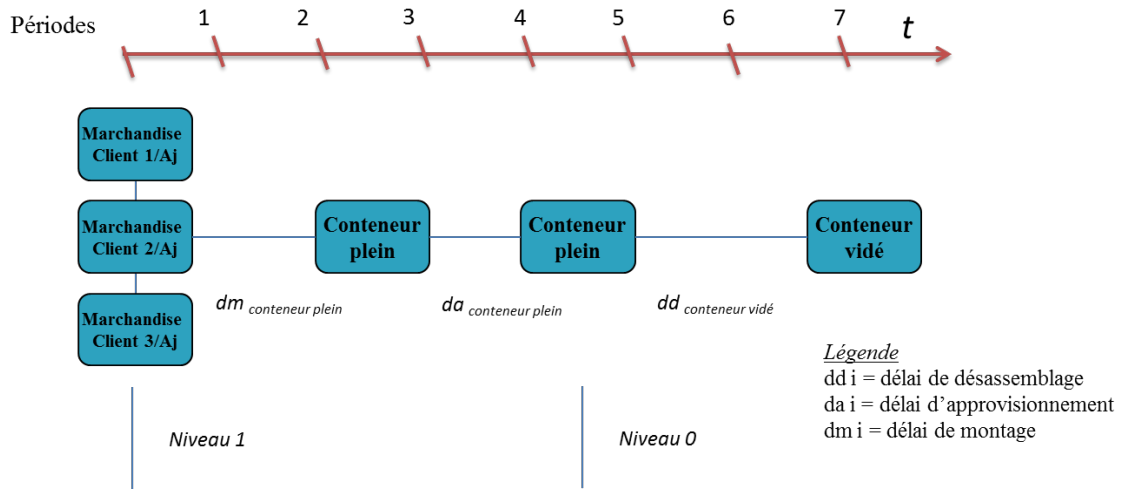


Figure 3-17 : exemple de nomenclature arborescente faisant intervenir le paramètre temps (t) dans le cas synchrone

Dans le cas asynchrone, il faudra bien évidemment rajouter le temps de stockage. Une fois que les besoins du produit en matières et composants ont été spécifiés, il reste à déterminer comment le produit va être élaboré à partir de ces matières premières.

Les gammes de fabrication décrivent la succession des opérations à réaliser pour passer d'une matière au composant, du composant au sous-ensemble, du sous-ensemble au produit fini. Il s'agit d'un document qui indique les composants à utiliser et le mode opératoire à suivre pour fabriquer un produit (temps machine, temps homme, quantité économique de stockage et de lancement de fabrication). Le diagramme arborescent à gauche dans la Figure 3-15 indique les gammes opératoires qui interviennent pour fabriquer un bureau. Dans le cas du transport urbain mixte, le diagramme arborescent à gauche dans la Figure 3-16 indique les gammes opératoires qui interviennent dans la fabrication d'un conteneur vidé.

Une remarque importante est à mentionner : dans les nomenclatures industrielles, les composants sont parfaitement définis en nature et quantité. Ici la nomenclature du conteneur à vider dépend de la demande des clients. Notre analogie a cependant un sens ; en effet, à zone donnée et à tournée préétablie, le type de composants (marchandises) ne va pas beaucoup varier d'une tournée à l'autre.

La Figure 3-17 et la Figure 3-18 détaillent les opérations contenues dans chaque gamme et les temps associés qui déterminent la durée de la distribution des marchandises depuis le CDU jusqu'aux clients finaux.

La première gamme, nommée *" gamme C ",* comporte le remplissage du conteneur plein et l'approvisionnement de ce dernier à un arrêt. Il s'agit d'une gamme que l'on peut, en première approximation, considérer à durée constante, déterminée par la somme de la durée de la préparation du colis au sein du CDU et de la durée de l'acheminement depuis le CDU jusqu'à l'arrêt considéré, en toute rigueur, la durée de montage du conteneur plein dépend des marchandises embarquées.

La deuxième gamme, *nommée " gamme PF ",* concerne les opérations de chargement du conteneur dans les véhicules de transport capillaire et de livraison des marchandises aux clients par tournée capillaire. On obtient ainsi le désassemblage du conteneur plein et la réalisation du produit fini, c'est-à-dire le conteneur vidé. La *" gamme PF "* est la gamme de la tournée qui dessert les clients inclus dans la zone, qui nécessite des temps réguliers. Dans le cas du système synchrone, cette gamme doit être complétée par les opérations de stockage et déstockage. Nous avons considéré également le temps gamme de la tournée des tricycles (systèmes synchrones ou asynchrones) comme constant. C'est là encore une hypothèse car en toute rigueur, l'opération " tournée " de la gamme dépend des clients servis. Mais on peut considérer que cette durée de tournée tricycle est courte par rapport aux autres temps et justifie le fait de la considérer comme constante.

Pour un ensemble de clients donnés et de marchandises à livrer, le modèle de tournée déterminera un temps (le temps de gamme de la tournée capillaire) qui est constant en fonction de différents paramètres : vitesse des véhicules, charges, clients à livrer, …

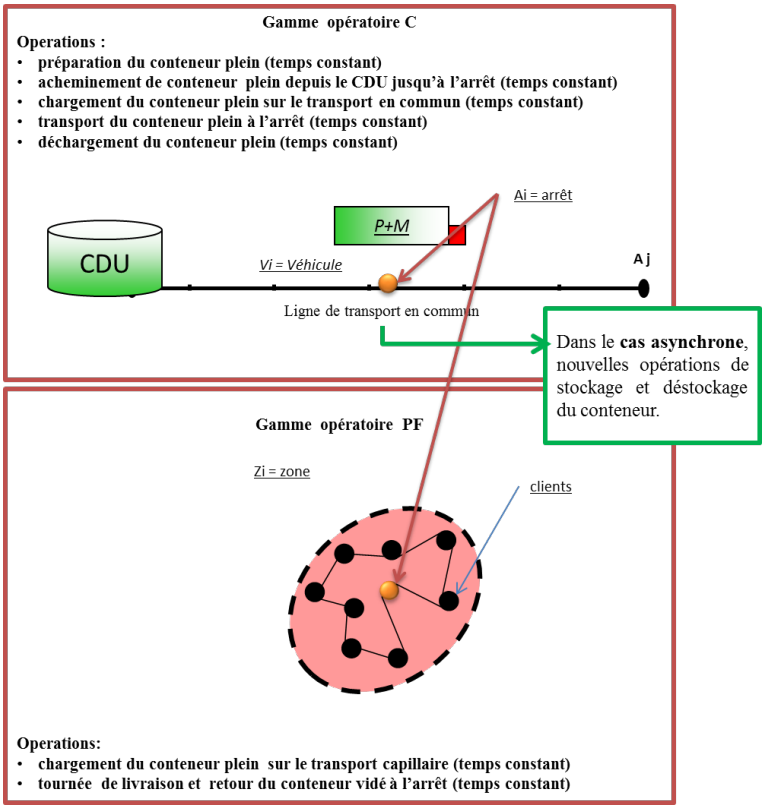


Figure 3-18 : représentation des gammes opératoires qui déterminent la durée de la distribution des marchandises

3.3.3 Analogies avec le pilotage du système industriel

Les niveaux hiérarchiques de décision stratégique, tactique et opérationnelle décrivent la conduite des systèmes de production et correspondent respectivement à des décisions à long (stratégique), moyen (tactique), court et très court terme (opérationnel).

La frontière entre les différents niveaux de décision n'est pas définie a priori et dépend, entre autre, de la portée de la décision dans le temps et de l'étendue de la chaîne logistique. Cette décomposition hiérarchique des décisions nécessite une cohérence des modèles utilisés dans les différents niveaux. En particulier, un modèle de niveau inférieur doit intégrer les contraintes résultantes des décisions prises au niveau supérieur.

Nous procédons avec la transposition du concept de niveaux de décision au domaine du transport urbain mixte : pour hiérarchiser la conduite d'un système de transport urbain mixte, nous proposons quatre horizons de décision.

Le premier niveau est uniquement lié à l'organisation à très long terme de l'intégration passagers/marchandises sur l'ensemble de la zone concernée. Il prend en compte les évolutions envisagées des flux dans les deux domaines des passagers et des marchandises, sur un horizon de douze mois et conduit à modifier/adapter les principes et l'organisation du fonctionnement, les liens entre les deux domaines, la définition globale des ressources, etc.

Au deuxième niveau, à moyen terme, se situent des décisions plus opérationnelles dont l'objectif est de faire un " Plan Directeur de Distribution " (PDD) prenant en compte les prévisions de livraison (statistiques, contrats de livraison ou importantes commandes prévisionnelles) et les relations avec le transport de passagers, dont les données sont prises comme des contraintes (fréquences et horaires, taux d'occupation).

Il est donc nécessaire à ce niveau d'impliquer les acteurs principaux en terme de flux pour connaître leurs prévisions. Une analyse charges/capacités permet d'estimer les besoins et les coûts sur un horizon de trois mois et en particulier de prédéterminer les charges qui seront transportées par les utilitaires de celles acheminées par les transports en commun. Dans cette analyse, les zones de distribution sont prises comme des données.

Sur un horizon d'une semaine, à court terme, les décisions journalières ont pour objectif d'établir un " plan de livraisons " ou " plan de charges " pour toutes les zones.

Le dernier niveau, à très court terme, concerne la réalisation de la distribution et le pilotage temps réel des différentes activités et concerne principalement la distribution par les moyens de transport en commun (ordonnancement). Les décisions ont pour objet d'adapter le plan de distribution aux

imprévus ou changements de dernière minute intervenant soit au niveau des CDU, soit au niveau des tournées ou des transports par moyens de transport en commun. Au niveau du CDU, il est possible de modifier l'affectation des chargements dans les moyens de transport en commun (contenus des envois, destinations, décalage du départ,..).

Dans tous les cas, ces modifications doivent être transmises aux personnes chargées de la livraison pour qu'elles anticipent les modifications à apporter à leur activité. Au niveau de la livraison, il est possible de modifier les tournées en fonction de l'état de la circulation, des modifications d'arrivée des produits…

Bien évidemment, à ce niveau, il faut distinguer les contraintes bien supérieures induites par le système synchrone. A ce niveau tout décalage en temps réel perturbe l'ensemble du système et peut même rendre sa réalisation impossible si des sécurités de fondamental ne sont pas prévues (comme par exemple la possibilité de faire stationner un ou plusieurs tricycles aux arrêts). Dans le système asynchrone, on retrouve le rôle du stock de conteneurs aux arrêts comme "tampon" destiné à pallier les aléas.

Nous nous intéressons à la planification du système à moyen et court terme. Nous faisons appel à des outils classiques du domaine industriel tels que la méthode MRP (Manufacturing ressources planning/Management des Ressources de production).

3.4 Adaptation de la méthode MRP au transport urbain mixte

3.4.1 Rappels de la logique de la planification MRP

Toute entreprise appelée à fournir des biens et services est amenée à gérer la double contrainte : respect des délais clients, adéquation de la charge aux capacités de production. Ces contraintes dites de "Planification et d'ordonnancement de la production" ont donné lieu à de nombreux travaux et à l'élaboration de méthodes très diverses. Parmi celles-ci, la méthode MRP tient une place de choix. Elle est implantée de fait dans la très grande majorité des entreprises industrielles (Benton et Shin, 1998) (Chen, 2000).

La méthode MRP est apparue dans les années 60. La version initiale Material Requirement Planning (dite aussi MRP I) correspond à la planification des besoins en composants. Elle repose sur la distinction entre besoins indépendants (ceux qui dépendent de la demande externe, ce sont généralement les produits finis) et besoins dépendants (ceux qui dépendent d'une demande interne ; ce sont les composants).

Dans les années 70, on est passé au Manufacturing Resources Planning (MRP II, Management des Ressources de Production). On ajoute alors au calcul des besoins, la recherche de l'adéquation entre charges et capacités. L'objectif est alors de fabriquer ce que l'on a prévu, dans les délais prévus.

A partir des prévisions de vente et en connaissant les délais de réalisation des différentes opérations d'approvisionnement, de fabrication et d'assemblage, il est possible de calculer un programme de production respectant ces contraintes.

Naturellement, dans la pratique, le fait que l'on évolue en univers incertain rend les choses beaucoup plus complexes et on utilisera des outils comme les stocks de sécurité pour pallier les aléas.

La contrainte du respect des délais nécessite d'ajuster le lancement des ordres d'approvisionnement et des ordres de fabrication en tenant compte des délais d'approvisionnement et des délais de fabrication et des disponibilités des équipements et de la main d'œuvre.

Pour répondre à ces objectifs, plusieurs bases de données sont nécessaires :

– tout d'abord le *Plan Directeur de Production* (PDP) qui définit les besoins en produits finis (quand et combien de produits doivent être fabriqués dans une période donnée).

– la nomenclature produits qui définit les relations entre le produit fini et ses composants (fabriqués et achetés).

– les ressources de production qui permettent de transformer les composants en composés jusqu'à l'élaboration du produit fini.

– les gammes de fabrication qui permettent de connaître pour chaque article dont le produit fini, les ressources de production qui devront être mobilisées pour le fabriquer et les durées de production.

– les stocks à tous les niveaux qui permettent de passer des besoins calculés à partir du PDP aux besoins réels ou besoins nets (achat ou fabrication) en tenant compte des stocks déjà disponibles.

A partir de ces bases de données, il est nécessaire de définir un algorithme de calcul des besoins : on utilise une planification au plus tard en partant du besoin final et en remontant étape par étape (les niveaux de la nomenclature) pour établir les besoins pour chacun des composants.

La Figure 3-19 montre un exemple de cet algorithme : le besoin en A est de 100 unités attendues en périodes 10, B est un article acheté avec un délai approvisionnement de 3 périodes, C est un article composant, avec une gamme de production de 3 périodes, D est un article acheté, avec un délai approvisionnement de 1 période.

période	4	5	6	7	8	9	10
A							100
B		200 OA			2 x 100		
C					1 x 100		
D	100 OA	100					

Figure 3-19 : exemple de planification au plus tard en partant du besoin final

On obtient ainsi les besoins bruts desquels on enlève les stocks (disponibles à chaque période) pour obtenir les besoins nets. Dans la logique complète, ces besoins nets vont engendrer une charge nette, ressource par ressource et période par période qu'il conviendra de comparer à la capacité de chaque ressource pour savoir si le plan est réalisable.

3.4.2 Comment le PDP devient le PDD

Dans le processus de transport urbain mixte, le CDU est une entité composée de stocks de différents produits (provenant de distributeurs variés). Le réseau irrigué par le CDU est composé de points de demande clients géographiquement dispersés : une demande se caractérise par une date exigée et une quantité à distribuer.

Le délai de distribution dépend directement des " gammes opératoires " (ici durées du transport et celles des tournées capillaires), mais il dépend également des ressources du système, par exemple la taille des moyens de transport.

La logique de distribution peut être assimilée à une planification au plus tard, cela permet, tout au long de la chaine logistique, de limiter les stocks.

On trouve également une problématique de charges/capacités qui peut se traduire, comme dans la planification industrielle, par un besoin de ressources supplémentaires ou par une dégradation du service en termes de retard.

On dispose également au niveau du CDU d'un Plan Directeur de Distribution (PDD) composé de la demande, produit par produit et période par période, des différents besoins du réseau.

Le choix de l'horizon de planification et de la taille de la période du Plan Directeur de Distribution (PDD) dépend évidemment du système envisagé. Dans le cas de la distribution urbaine, il est raisonnable de définir une période journalière, voire une tranche horaire. Sur un horizon défini, par

exemple la semaine, on va remonter période par période les besoins de chaque point du réseau à distribuer.

Le PDD se calcule selon trois étapes qui sont détaillées de suite :

Première étape : rattachement clients – zone.

Pour chaque client C_i ses coordonnées permettent de l'affecter à un arrêt k. Un arrêt regroupe ainsi tous les clients qui lui ont été affectés. On appelle $C_{i,k}$ le client i affecté à la zone k, c'est à dire lié à l'arrêt k. On regroupe tous les clients affectés à la zone k et servis par l'arrêt k.

Deuxième étape : pour un client $C_{i,k}$, on connait sa demande par tranche horaire. Nous verrons par la suite comment affiner cette notion de tranche horaire. Pour le moment, considérons qu'il s'agit d'un découpage et de la journée (heure par heure par exemple).

Pour $C_{i,k}$ =>$D_{i,j,k}$ *avec i client, k zone, j tranche horaire*
j varie de l'heure de départ du premier transport en commun mixte à la dernière heure de départ de la journée.

On pourrait avancer toutes les demandes d'une tranche horaire (sauf la première) pour tenir compte du délai de distribution capillaire. Ceci n'enlève rien à la généralité du problème.

Pour une zone k, on a ainsi, par addition, les demandes, tranche horaire par tranche horaire (que nous appellerons aussi période).

	Tranche 1	**Tranche 2**	**j**		**m**
Zone k			Σ toutes les demandes des $C_{i,k}$ clients pour la tranche horaire j de la zone k $D_{i,k,j}$		

Tableau 3-1 : visualisation de la deuxième étape

Troisième étape : on établit alors le *Plan Directeur de Distribution.*

	Tranche 1	**Tranche 2**	**j**		**m**
Zone 1					
…					
Zone k			$\Sigma D_{i,k,j}$ i = 1 à tous les clients de k		
Zone n					
Demandes totales par tranche horaire			$\Sigma D_{i,k,j} = D_j$		

Tableau 3-2 : visualisation de la troisième étape

A ce niveau et pour prolonger les analogies, on pourrait introduire la notion de PIC (Plan Industriel et Commercial). Il s'agirait de définir toutes les variables et les évènements à moyen et long terme susceptibles de venir modifier le PDD: introduction d'une nouvelle ligne en correspondance, nouveaux parkings, nouveaux équipements,…

3.5 Dimensionnement des ressources : simulation charges/capacités dans les deux systèmes synchrone et asynchrone

3.5.1 Dimensionnement des unités de transport en commun

Les simulations charges/capacités peuvent intervenir à deux niveaux :

(1) *Une macro simulation au niveau du PDD*.

Globalement, il s'agit d'évaluer la flotte d'unités de transport en commun nécessaires sur l'horizon de planification. On ne peut raisonner que sur des grandeurs macro. Une façon de faire serait la suivante : on définit une notion de *charges moyennes par tournée*, c'est-à-dire le nombre de conteneurs qui peuvent être transportés dans chaque tournée. On passe par une correspondance entre un colis donné et un équivalent- conteneur de ce colis. Ainsi, on calcule :

$$N = \text{de } 1 \text{ à } n \text{ periodes de } 1 \text{ à tous les clientsequivalents conteneurs sur l'horizon } \Delta \text{ de } n \text{ periodes}$$

N est la charge totale à transporter sur l'horizon Δ par exemple la semaine.
N/charges moyennes en conteneurs par tournée = Nombre de tournées sur l'horizon.

Ñ = Nombre de tournées sur horizon/nombre de périodes/nombre de tournées par unité de transport en commun et par période. *Ñ est une estimation de la flotte nécessaire en moyenne par période***.**

Le calcul précédent est un calcul en moyenne qui est pleinement justifié s'il n'y a pas trop de disparité de charge de transport d'une période à l'autre.

Le calcul des ressources nécessaires période par période est évidemment : besoins en conteneurs sur 1 période/charges moyenne en conteneurs par tournée/nombre de tournées par ressource de transport et par période.

On arrondit à l'entier supérieur. Ce calcul donne période par période, le calcul des besoins en ressources, ceci permet en prévisionnel de définir une politique d'utilisation des ressources.

Ce calcul, répétons-le, est une estimation moyenne des besoins en transport mixte. Il doit être mis en parallèle avec un calcul similaire sur la capacité moyenne sur l'horizon considéré, à savoir la capacité résiduelle permettant le transport des marchandises. Si l'on connait sur l'horizon, le nombre de ressources de transport et la charge en passagers, on peut en déduire la capacité résiduelle moyenne à comparer avec les besoins moyens sur l'horizon. Ceci ne correspond qu'à une macro-simulation sur une période similaire à celle menée sur un PDP. Si le test des charges moyennes résulte mineur des capacités moyennes, la condition nécessaire (et non suffisante) de faisabilité est assurée.

(2) *Une simulation sur chaque période.*

Pour une tranche horaire, on connait les horaires de départ des moyens de transport et le nombre de passagers maximum.

Pour chaque moyen de transport, il va donc y avoir une capacité résiduelle de :

- 0 si le moyen de transport est complet avec des passagers sur l'un des tronçons (tronçon entre deux arrêts)[10]
- V_r = capacité résiduelle maximale (volume disponible du transport public – l'occupation max des passagers sur un tronçon).

On peut à ce niveau établir un volume maximum réservé aux conteneurs pleins et vidés même si la capacité résiduelle est plus élevée que ce volume réservé.

Dans un premier temps, nous ne prendrons pas en compte le retour des conteneurs vidés.

On calcule sur une tranche horaire j :

$$Cr_j = \textit{capacités residuelles}$$

Pour tous les moyens de transport en commun partant dans cette tranche j.

Si Cr_j est suffisant pour transporter D_j (Tableau 3-2) alors le transport mixte est possible et sans retard[11].

Sinon, on calcule $D_j - Cr_j$ et on essaie d'assurer ce transport dans la tranche horaire précédente (j – 1) en priorité. On remonte ainsi le calcul de la dernière tranche horaire m à la première.

[10] Rappelons que les passagers sont prioritaires.

[11] Ceci est naturellement une approximation car on raisonne sur un tranche et non par véhicule de transport en commun.

Les simulations charges-capacités, soit à moyen terme (semaine), soit à court terme (jour), peuvent faire apparaître un déficit important en termes de moyens de transport. Nous avons déjà évoqué une solution : l'envoi d'un tram marchandises en début de période.

Si cette solution s'avère impossible ou si la demande en marchandises est sensiblement et systématiquement trop importante pour le système mixte, c'est vers un système combiné : trams mixtes-moyens complémentaires qu'il faudra se tourner.

Dans ce cas, une nouvelle problématique apparaîtra : quelles livraisons devront être assurées par quels moyens ? Mais nous n'aborderons pas ce facteur de complexité. Pour la suite de la modélisation, on est amené à distinguer les deux systèmes de distribution synchrone et asynchrone en ce qui concerne la prise en compte des conteneurs vidés et le dimensionnement des ressources capillaires.

3.5.2 Le système asynchrone

Rappelons que dans ce cas, la gestion est découplée : la ressource mixte décharge le ou les conteneurs qui sont stockés, transportés par tournées et retournés dans l'unité de stockage pour être remis dans la ressource de transport mixte.

3.5.2.1 ***Prise en c`mpte des c`nteneurs vidés***

Comme nous sommes dans un univers déterministe, la prise en compte de ces conteneurs vidés ne pose pas un problème très complexe. Plusieurs règles peuvent être définies. Prenons un exemple :

- à la période 1, on fait le calcul classique de la charge résiduelle, pour définir le nombre de conteneurs emportés ;
- ensuite, pour toute autre période j > 1, on va faire l'hypothèse que les conteneurs emportés en période k sont vidés pendant la période k et doivent être retournés dans les ressources de transport mixtes en k+1.
- pour chaque période j > 1, il va falloir tenir compte dans le calcul de la capacité résiduelle de ces conteneurs vidés. La formule devient :

$$Crj = Vol.\ transport\,j - occ.\ max\ des\ passagers\,j - vol.occupé\ par\ les\ conteneurs\ vides\ \ j-1,\ j-2,\ \ldots,\ 1$$

C_{rj} est la capacité résiduelle pour les moyens de transport mixtes de la tranche j.

On peut avoir un effet de bord, à savoir une tournée de distribution capillaire qui n'interviendrait pas dans la période ou les conteneurs seraient déchargés en retard (période k+1 au lieu de k) à la suite d'un alea ou d'un manque de moyen capillaire. C'est la raison pour laquelle au moment où nous définissions les disponibilités, nous avons imaginé la possibilité de laisser des espaces résiduels ou des coefficients de disponibilité pour adsorber ces situations.

Autre point : si en fin de journée, les conteneurs vidés ne sont pas tous retournés, on imagine une ressource de transport uniquement affectée à leur retour ou l'application de la formule précédente à partir de la tranche j=1.

Le fait que l'algorithme de création des tournées capillaires n'impose pas forcement le retour des conteneurs vidés dans la même zone que celle de leur départ ne change pas le problème car dans le cas asynchrone, nous raisonnons tranche horaire par tranche horaire et le retour du conteneur vidé dans une autre zone sera connu à son départ (dépôt du conteneur zone i tranche j => retour du conteneur vidé zone l tranche j+1).

En fait, cette problématique du retour des conteneurs vidés est un problème dual de celui des conteneurs pleins mais qui intervient au niveau du PDD pour respecter la contrainte de saturation du volume global de la ressource de transport mixte.

3.5.2.2 ***La distributi`n capillaire***

Le système asynchrone est déconnecté du transport mixte (sauf au niveau des conteneurs vidés), de sorte que le seul problème qui se pose est celui de la taille du volume du parking. Là encore plusieurs options sont envisageables : on considère que l'on peut stocker le nombre de conteneurs pleins + vidés sans limite et l'on n'est ramené à un problème très classique de tournées : n tournées à assurer dans une tranche horaires en limitant le nombre de ressources capillaires.

Soit on limite la capacité de parking et dans ce cas, on est ramené à une problématique proche de la précédente, à savoir il va falloir tenir compte de cette limite au niveau de la capacité résiduelle des ressources de transport mixtes. Si pour un arrêt donné, le nombre de conteneurs pleins + vidés sature l'espace, il faut retarder pour celle tranche horaire le départ d'un nouveau conteneur prévu. Il faut prendre cette nouvelle variable en compte (Figure 3-20).

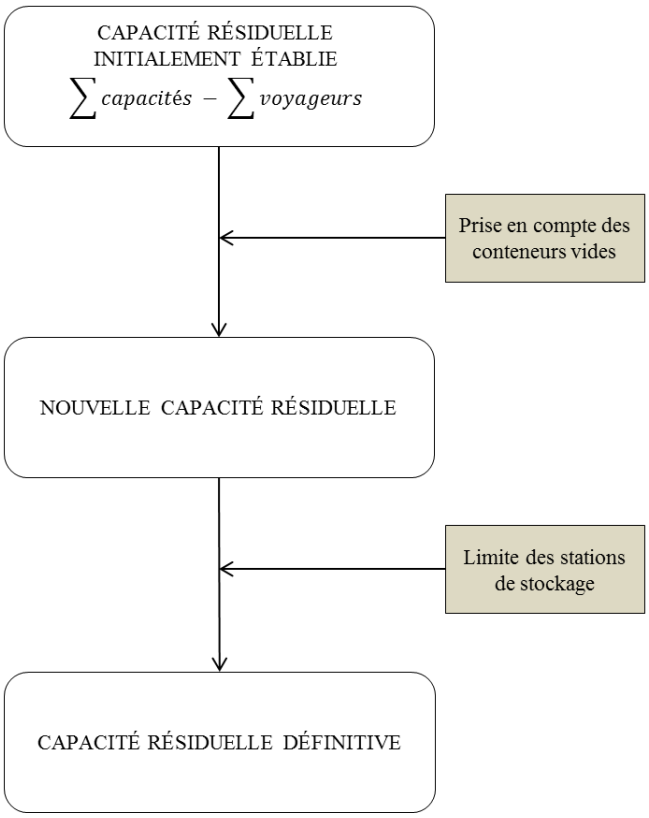


Figure 3-20 : exemple de planification au plus tard en partant du besoin final

3.5.3 Le système synchrone

Le système synchrone pourrait apparaître a priori plus réaliste puis qu'il n'implique pas la nécessité d'infrastructure de stockage au niveau des arrêts ; cependant l'étude approfondie de ce système va faire apparaitre des problèmes d'une autre nature que nous allons décrire par la suite. On comprend aisément qu'un système synchrone impose une parfaite coordination entre les moyens. Généralement les stocks constituent un moyen de pallier les aléas mais dans notre configuration nous n'acceptons pas les stocks (tricycles et/ou conteneurs) ; une rigueur parfaite de gestion s'impose.

Nous allons nous intéresser successivement au dimensionnement des véhicules de livraison capillaire puis à son optimisation. Rappelons une nouvelle fois le principe : les ressources de transport mixte déchargent le ou les conteneurs aux arrêts où un ou plusieurs tricycles attendent.

3.5.3.1 ***Dimensi`nnement des véhicules de livrais`n capillaire***

Au niveau de chaque arrêt, on a une arrivée d'un nombre de conteneurs à chaque passage d'unités de transport en commun, (nombre compris entre 0 et celui équivalent à la demande des clients dans la tranche horaire considérée).

Dès lors, on se retrouve avec une seconde phase consistant à assurer les tournées par tranches horaires des marchandises dans la zone associée en fonction des besoins que l'on connaît.

Nous supposons aussi que :

- à chaque arrêt de la ligne de transport en commun correspond une seule zone (§. 3.3.1).
- les véhicules capillaires peuvent transporter un seul conteneur à la fois (§3.2.3.3).
- il n'y ait pas de stockage en arrêt (§3.2.2) : cela impose d'asservir les arrivées d'unités de transport en commun aux horaires et à la charge de marchandises transportées par chaque unité.

Ne pas disposer de stockage aux arrêts impose d'introduire les hypothèses suivantes, dans un souci de simplification du problème.

- la durée de la période de planification est supérieure au temps maximum que mettent les tricycles à chaque point d'arrêt pour exécuter leur tournée ; elle doit tenir compte de la périodicité de passage des points d'arrêt par les bus. Cette dernière définit la maille de temps sur la base de laquelle la planification est réalisée (Figure 3-21). Nous allons être obligés, à ce niveau de modifier l'une des caractéristiques de notre modèle, à savoir la tranche horaire sur laquelle étaient basées les demandes et définir une nouvelle unité de planification des demandes tenant compte des durées de rotation des véhicules capillaires.

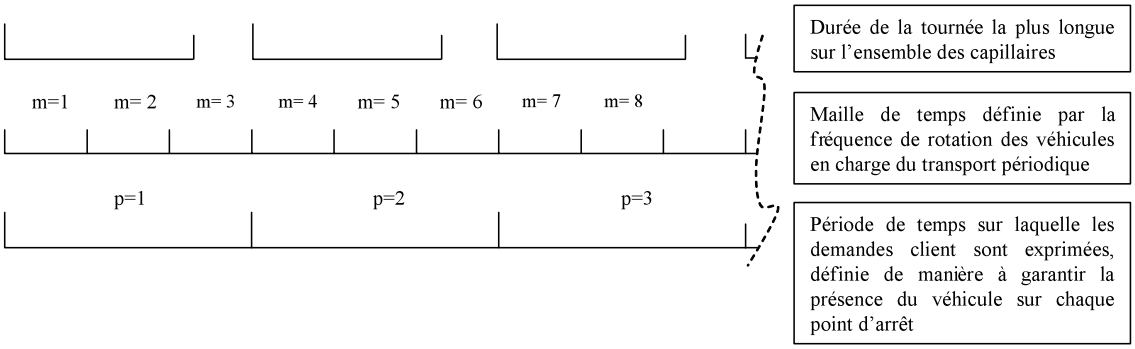


Figure 3-21 : définition de la période et de la maille de temps (Deschamps, 2011)

- les livraisons réalisées par le transport périodique doivent se faire en début de chaque période p; ainsi les véhicules de transport capillaire sont considérés comme présents au point d'arrêt et peuvent être alors assimilés à un stock de capacité limitée. Les demandes initialement exprimées à

l'échelle des périodes p sont alors reportées sur la première des mailles de temps t constituant chaque période p.

Il s'agit d'un *problème de planification de charge sur transport périodique* dont on propose l'interprétation par l'exemple suivant.

Prenons une ligne comportant 4 points d'arrêt. La Figure 3-22 représente la ligne de transport périodique en précisant les temps nécessaires pour aller d'un point d'arrêt au suivant.

Nous partons dans un premier temps de l'hypothèse que ces temps sont multiples de la période de rotation des véhicules capillaires (qui est de 5 minutes).

La longueur de la maille de temps utilisée pour réaliser la planification est définie par cette période de rotation.

Dans notre exemple, le temps nécessaire pour réaliser la tournée la plus longue, tout capillaire confondu est de 12 minutes, c'est pourquoi nous retenons la valeur de trois mailles de temps, soit 15 minutes, pour définir la longueur de la période sur laquelle s'expriment les demandes clients.

Les temps nécessaires à chaque véhicule pour atteindre les arrêts A1, A2 et A3 sont respectivement de 5 (1 période), 20 (4 périodes) et 30 minutes (6 périodes).

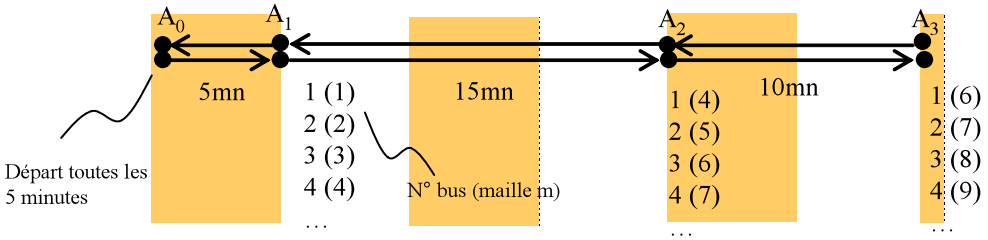


Figure 3-22 : représentation du temps nécessaire au bus pour atteindre les arrêts (Deschamps, 2011)

La première étape (Figure 3-23) consiste à projeter la demande client exprimée par période à l'échelle de la maille de temps. Nous considérons alors que toute demande exprimée sur une période doit être honorée pour la première maille de temps constituant celle-ci, afin que l'ensemble des besoins puissent être servis de manière synchrone.

La deuxième étape consiste à prendre en considération les temps de trajet pour définir la maille de temps, et donc implicitement le véhicule qui transportera la charge. Dans la Figure 3-23, la durée de 13 unités prévue en arrêt 3 correspond à une durée d'acheminement de 5+15+10=30, 30/5=6, d'où un départ à la tranche 10 – 6= 4.

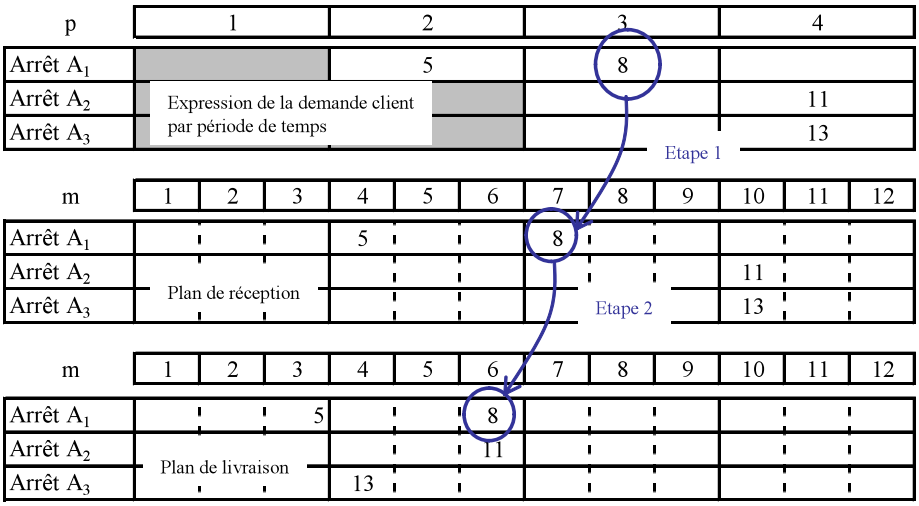


Figure 3-23 : prise en compte de la maille de temps et des délais (Deschamps, 2011)

Pour dimensionner le nombre de véhicules capillaires avec lesquels équiper les arrêts de la ligne, nous faisons appel au Plan Directeur de Distribution. Nous exprimons la demande par zone et par tranche en nombre de conteneurs.

Le calcul de la tournée du véhicule susceptible de réaliser le transport capillaire est un problème classique de voyageur de commerce auquel est associée pour chaque client une fenêtre de temps caractérisant les horaires de rendez-vous. Cependant cette modalité de dimensionnement n'est pas optimisée, parce que nous risquons d'équiper certains arrêts avec un nombre trop grand de véhicules.

Dans le prochain paragraphe, nous cherchons des pistes d'optimisation du dimensionnement de la flotte de ces véhicules.

3.5.3.2 ***Optimisati`n du dimensi`nnement des véhicules capillaires***

Unités aut`n`mes de pr`ducti`n (UAP)

Nous avons anticipé, dans le §3.3.1 que le choix de répartir l'espace par des rectangles de même surface à partir des arrêts, l'arrêt étant le centre du rectangle, est simpliste. Cela parce que la disparité dans la demande de marchandises qui peut être associée à chaque zone n'est pas prise en compte.

Cette disparité entre zones découle des faits suivants : les points à livrer dans chaque zone peuvent avoir des besoins d'approvisionnement caractérisés par des fréquences et des volumes différents, ou plutôt les zones à desservir, tout en ayant une surface similaire, peuvent présenter une densité des points à livrer beaucoup plus importante les unes par rapport aux autres (Figure 3-24).

Ainsi, les véhicules capillaires, affectés à chaque arrêt, doivent assurer une activité qui n'est pas comparable.

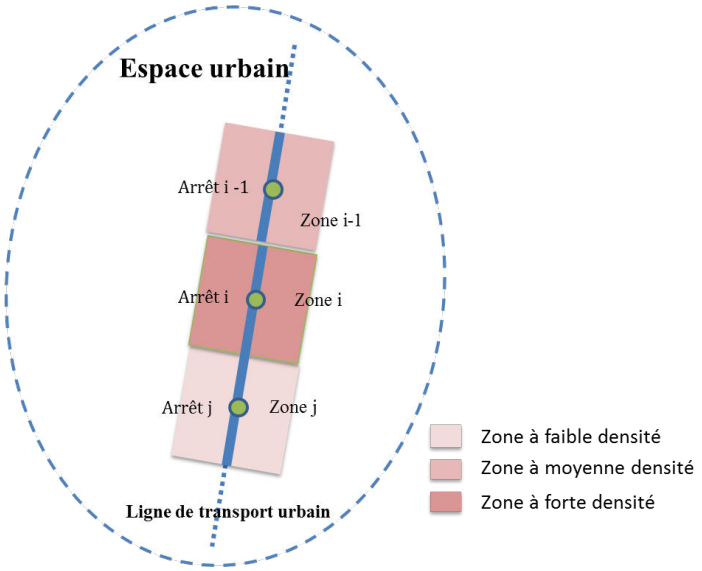


Figure 3-24 : découpage de l'espace urbain en zones rectangulaires avec des densités différentes

Pour pouvoir rendre les zones comparables en termes de travail à fournir par les véhicules capillaires, une piste d'optimisation pourrait être de définir un maillage plus pertinent de l'espace urbain (Figure 3-25).

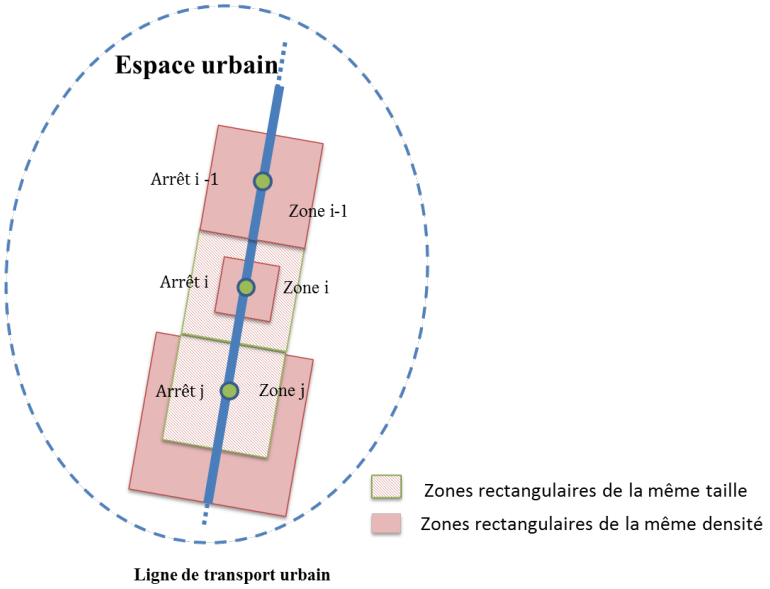


Figure 3-25 : sur-position de deux découpages même surface/ même densité

Pour un découpage plus fin de l'espace urbain, nous pouvons faire appel au modèle hexagonal adopté dans la transmission des communications pour l'organisation cellulaire d'un réseau de radiotéléphonie par exemple, où ce motif permet un pavage exhaustif et autorise les calculs sur des bases géométriques fiables.

Le modèle hexagonal se fonde sur une homothétie de cellules : pour servir un trafic plus important sans demander plus de spectre, on peut choisir des cellules plus petites. Le trafic maximum par cellule est inchangé mais le trafic servi par km^2 est accru (Figure 3-26).

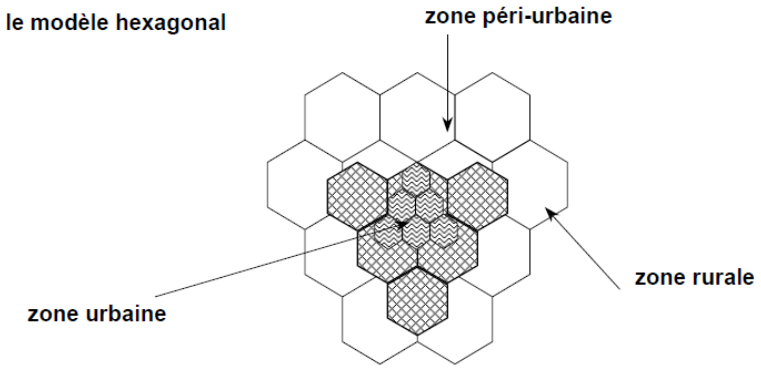


Figure 3-26 : exemple théorique de couverture cellulaire (Lagrange et al, 1997)

Cette modification de surface de zone ne remet pas en cause le modèle où nous n'avons considéré dans le PDD que le demande/zone. Si celle-ci est modifiée, seule la répartition des demandes sera affectée.

Affectati`n des véhicules de livrais`n à plusieurs arrêts

Une autre piste d'optimisation sur laquelle nous avons réfléchi concerne la modalité d'affectation de la flotte de véhicules capillaires.

Nous considérons que, d'une tournée de livraison sur l'autre, un véhicule de livraison peut aller chercher des marchandises à plusieurs arrêts. Les véhicules capillaires partent du CDU le matin et y reviennent le soir.

L'activité de ces véhicules consiste tout au long de la journée à charger les conteneurs aux arrêts, à les livrer à un certain nombre de commerces et à revenir à un arrêt.

Cette approche offre l'avantage d'ajuster à chaque instant le nombre de véhicules disponibles aux arrêts et assure une meilleure efficacité logistique grâce à la réduction du nombre de véhicules nécessaires. Cette piste d'affectation mobile des véhicules aux arrêts, si elle permet une réduction des véhicules, pose cependant d'autres problèmes notamment en ce qui concerne la durée des rotations et par voie de conséquence un arbitrage entre une durée plus longue qui économiserait un véhicule mais qui pourrait remettre en cause la notion de tranche de demandes.

Par ailleurs, cette approche implique une gestion plus complexe des plannings des conducteurs et un partage d'informations entre les différents arrêts, donc un système d'information plus performant.
Cette approche nous impose un pilotage par le bas et non plus par le haut, comme c'était le cas jusqu'à maintenant. En d'autres termes, le système détermine les tournées capillaires optimales au jour j-1, sur la base des données prévisionnelles de la demande, disponibles à partir du Plan Directeur de distribution et transfère cette information au CDU qui conditionne les conteneurs et les envoie sur la ligne de transport en commun.

Nous avons ainsi à résoudre un problème d'optimisation du transport capillaire, qui a comme objectif de minimiser le nombre de véhicules capillaires, puis de minimiser la distance parcourue pour le transport capillaire, en respectant les contraintes de synchronisation aux points de transbordement et les fenêtres de temps.

Ce problème d'optimisation peut être vu comme un cas simplifié du problème de tournées de véhicules à deux échelons avec transbordement (Gonzales – Feliu, 2011). Les simplifications concernent l'itinéraire imposé au premier niveau (ligne de transport en commun) et la capacité unitaire en nombre de conteneurs au deuxième niveau.

Pour résoudre ce problème d'optimisation, nous faisons appel à une méthode qui modélise le problème dans son ensemble comme un cas particulier de problème avec collectes et livraisons (PDP) où chaque bien à livrer doit obligatoirement être acheminé jusqu'à un point de transbordement.

Cette variante du PDP avec transfert (PDPT) (Cortes et al, 2010) est résolue avec un algorithme de type Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS) (Masson et al, 2012a,b,c) (Trentini et al. 2012). Les détails sur l'algorithme sont fournis en ANNEXE II.

Notons également que nous n'avons pas traité la question des conteneurs vides. Deux remarques à ce sujet. Le problème est évidemment plus complexe puisque les conteneurs vides ne sont pas systématiquement renvoyés à l'arrêt d'origine. Fort heureusement, nous sommes toujours dans un environnement déterministe et en théorie, on pourrait greffer cette question du retour des conteneurs vidés au niveau du PDD en calculant la perte de disponibilité capacitaire que cette question entraine.

3.6 Conclusion

Les développements précédents ont deux objectifs : d'une part, concevoir un système de transport urbain capable d'exploiter ses ressources pour déplacer conjointement des passagers et des marchandises, d'autre part de tracer des ponts entre des méthodologies différentes reliant modèles de production et de logistique pour esquisser un modèle élémentaire de pilotage du système de transport urbain mixte.

La mise en œuvre d'un tel système de transport donne lieu à l'introduction en milieu urbain d'un schéma logistique à deux niveaux et avec plusieurs points de rupture de charge, l'un au sein du centre de distribution urbaine (CDU) et les autres, aux arrêts de la ligne de transport en commun.

Les activités de consolidation ont lieu au sein du CDU. Les véhicules de transport industriels viennent au quai du CDU pour décharger leurs cargaisons. Les chargements sont ensuite triés, consolidés dans des conteneurs pour la distribution urbaine et chargés sur les vecteurs de transport en commun qui

permettent de rapprocher les conteneurs de leur destination finale. Les conteneurs sont ainsi déchargés aux arrêts de la ligne les plus proches de leur zone de distribution et des véhicules capillaires les récupèrent et les livrent aux clients par des tournées.

Nous avons envisagé de synchroniser l'arrivée des vecteurs de transport en commun et l'arrivée des véhicules destinés à la desserte capillaire, pour éviter le problème du stockage aux arrêts de la ligne. La possibilité de stocker simplifierait considérablement le problème traité.

Ce type de schéma logistique n'est pas encore adopté, comme nous avons pu le constater à travers les analyses du chapitre II.

La plupart des villes qui souhaitent intervenir dans la rationalisation des flux urbains adoptent des approches qui s'adressent à des passagers et des marchandises de manière séparée, avec l'introduction d'équipements logistiques destinés à chacun des deux flux, sans envisager des synergies possibles entre les ressources. Pour confirmer cela, nous pouvons revenir sur l'exemple du programme de logistique urbaine lancé à Paris par SNCF Geodis[12] en juin 2011.

Le dispositif Distripolis comprend :

a) un acheminement massif jusqu'à la plateforme située dans la ville (à Paris, la plateforme de Bercy),

b) la mutualisation des flux des différents réseaux (Geodis Calberson, France Express et Geodis Ciblex) qui fait de Distripolis une solution unique sur le marché,

c) des Bases Logistiques Urbaines Ecologiques (BLUE) réparties dans la ville (8 à Paris), approvisionnées plusieurs fois par jour par des véhicules (PTAC > 12T) aux normes Euro 5 et à terme aux normes Euro 6 ou hybrides. Les bases BLUE utilisent des surfaces en centre-ville proches des principales zones de commerce,

d) des livraisons soit à partir des bases BLUE pour la livraison de colis et palettes de moins de 200 kg avec des véhicules écologiques adaptés à la livraison du dernier km : véhicules utilitaires légers électriques et triporteurs à assistance électrique, soit à partir de la plate-forme pour les envois supérieurs à 200 kg, avec des véhicules aux normes Euro 5 et, à terme, des véhicules aux normes Euro 6 ou hybrides.

[12] Opérateur global de la chaîne logistique et filiale à part entière du groupe SNCF, Geodis est un prestataire européen à vocation mondiale (4ème prestataire logistique en Europe).

Il s'agit d'une démarche de rationalisation des flux des marchandises qui ne prend pas en compte la possibilité de les intégrer au transport urbain de personnes. L'introduction du transport mixte permettrait à travers l'exploitation de la capacité résiduelle des lignes :

a) de créer des synergies dans les déplacements des deux flux de nature différente : personnes et marchandises,

b) de réduire les consommations énergétiques et les impacts négatifs de la mobilité urbaine sur son environnement.

Bien sûr, nous défendons notre thèse avec la contrainte suivante: l'introduction du transport mixte sur une ligne de transport en commun ne doit pas dénaturer les concepts autour desquels ce type de lignes fonctionne, c'est à dire le niveau de service et la qualité du service.

Cependant, pour assurer cela, aujourd'hui nous disposons de nouvelles technologies qui peuvent intervenir au niveau opérationnel, tactique et stratégique pour réduire les risques de dégradation du système.

Dans le prochain chapitre, nous cherchons à évaluer les performances du système, sous les aspects environnementaux, économiques et sociétaux. Pour ce faire, nous nous appuyons sur un système de transport réel, la ville de La Rochelle, et nous réfléchissons ainsi sur la pertinence d'introduire la mixité dans une ligne de bus à haut niveau de service (BHNS) à partir des modélisations précédentes.

3.7 Bibliographie

A

Arab N (2004) l'activité de projet dans l'aménagement urbain : processus d'élaboration et modes de pilotage, Les cas de la ligne B du tramway strasbourgeois et d'Odysseum à Montpellier, thèse de doctorat, discipline : aménagement et urbanisme, Ecole Nationale Des Ponts Et Chaussées

B

Benton W. C, Shin H (1998) Manufacturing planning and control : the evolution of MRP and JIT integration, European Journal of Operations Research, vol. 110, pp. 411-440.

C

Chen D (2002) M.R.P.II : Manufacturing Resources Planning, notes de cours Iut OGP, Agen.

Cortés C.E, Matamala M, Contardo C (2010) The pickup and delivery problem with transfers: formulation and a Branch-and-Cut Solution Method, European Journal of Operational Research, 200 (3), 711–724.

Courtois A, Pillet M, Martin C (1989) Gestion de Production, Les Editions d'Organisation, Paris

Crama Y (2002) Eléments de gestion de la production, Ecole d'Administration des affaires Université de Liège, Notes de cours, année académique 2002-2003

D

Dallery Y (2000) Notes de cours de logistique industrielle, Ecole Centrale Paris, année académique 1999-2000

Darchambeau M (2012) L'activité de The Green Link , notes d'entretien.

Deschamps J.-C (2011) Planification de charge sur transport périodique, éléments de réflexions par rapport au problème de pilotage du système de transport périodique et capillaire, notes de travail, mars.

E

Eglier P (2002) Le service et sa servuction, universite de droit, d'economie et des sciences d'aix marseille institut d'administration des entreprises centre d'etudes et de recherche sur les organisations et la gestion.

F

Fontan G, Mercé C, Lasserre J.-B (1997) Structures décisionnelles multiniveaux, in Hennet, J.-C. (Ed.), Concepts et outils pour les systèmes de production, Toulouse, Cépadues, 13-21.

G

Gagnepain P (1998) Structures productives de l'industrie du transport urbain et effets des schémas réglementaires. In : Économie & prévision. Numéro 135, 1998-4. pp. 95-107.

Giard V (1988) Gestion de la Production, Editions Economica, 1988, 2ème édition

González-Feliu J (2011) Two-echelon freight transport optimisation: unifying concepts via a systematic review, Working Papers on Operations Management, 2(1), 18-30.

L

Lagrange X, Godlewski P, Tabbane S (1997) Réseaux GSM-DCS Ed.Hermes

M

Masson R, Trentini A, Lehuédé F, Malhéné N, Péton O, Tlahig H (2012a) Optimisation d'un système de transport urbain mixte passagers/marchandises, Roadef13e congrès annuel de la Société française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision, Angers, France.

Masson R, Trentini A, Lehuédé F, Peton O, Tlahig H, Malhéné N (2012b) Optimization of a shared passengers & goods urban transportation network, ODYSSEUS 2012, 5th International Workshop on Freight Transportation and Logistics, Mykonos.

Masson R, Lehuédé F, Péton O (2012c) An Adaptive Large Neighborhood Search for the Pickup and Delivery Problem with Transfers. Transportation Science, in press

Mazzarino M (2007) La pianificazione territoriale della logistica : alcuni sviluppi verso un nuovo modello concettuale, Rassegna Economica, 2007 , disponible sur www.sietitalia.org

P

Pautet B (2005) Développement d'un logiciel de réalisation des gammes méthodes et de calcul de prix de revient des pièces produites dans l'UAP Fabrication, Mémoire professionnel , Insa Strasbourg.

R

Rioland S (2012) Le fret urbain vu par les collectivités locales, actes de la semaine Athens , Ecole des Mines de Paris, 19 – 23 mars.

Ripert C (2012) Le foncier et l'immobilier logistique en milieu urbain, actes de la semaine Athens, Ecole des Mines de Paris, 19 – 23 mars.

Roy B (2000) L'aide à la décision aujourd'hui : que devrait-on en attendre ?, in David, A., Hatchuel, A., Laufer, R. (Eds), Les Nouvelles Fondations des sciences de gestion, Paris, Vuibert, 141-174.

T

Touzi W, Alix T, Vallespir B (2009) Etude de l'innovation et de la spatialisation des services en vue de leur caractérisation, 8eme Congrès International de Génie Industriel, Bagnères de Bigorre, France, 10 -12 juin.

Trentini A, Masson R, Lehuédé F, Malhéné N, Péton O, Tlahig H (2012) Assessment of a shared "passengers & goods" city logistics system, ILS 2012, Laval University, Quebec, August

4 APPLICATION A LA ROCHELLE

4.1 Introduction

En septembre 2012, une expérimentation s'est déroulée à La Rochelle et a permis de valider différents concepts développés dans le cadre de nos travaux. Nous présentons dans un premier temps le périmètre de l'étude et les ressources mobilisées dans cette étude.

Ces ressources sont naturellement dimensionnées par rapport au besoin de marchandises exprimé par la zone objet de l'étude: cela nous impose d'analyser les capacités de transport résiduelles et les besoins en approvisionnement.

En conclusion de cette étape, nous présentons une analyse approfondie pour évaluer les performances du système de transport urbain mixte. L'élément de comparaison dans l'étape d'évaluation est le schéma logistique qui couple un centre de distribution urbaine (CDU) avec la distribution de marchandises par des véhicules utilitaires électriques de 5,5 t.

Par des simulations à partir du système réel, nous observons son comportement dynamique, identifions les problèmes et collectons des données pouvant servir à la validation du modèle de transport urbain mixte.

Nous proposons une méthodologie de comparaison entre ces deux schémas logistiques selon les trois facettes du développement durable : environnement, économie et sociétal, ce qui implique l'étude des coûts fixes et des coûts variables des deux solutions de transport : le transport mixte dans les bus actuels et le transport classique à partir d'un CDU.

Nous poursuivons avec une description de ce que devrait être une organisation cohérente avec les concepts de notre système de transport mixte. Nous cherchons à répondre aux questions suivantes :

a) qui est concerné par cette organisation : quels acteurs ?

b) quels scenarios de fonctionnement basés sur : qui paie quoi, comment facture-t-on, quels sont les budgets et les responsabilités entre secteurs publics et privés ?

4.2 Transposition du système de transport urbain mixte à La Rochelle

4.2.1 Périmètre d'étude

L'application du modèle développé est réalisée sur la ville de La Rochelle en Charente-Maritime. Si la ville est de taille moyenne (environ 80.000 habitants en 2012), son centre-ville est très confiné et souvent congestionné (Figure 4-1).

Depuis plusieurs années, la ville et son agglomération (18 communes, 150.000 habitants) bénéficient d'une notoriété incontestable en matière d'écologie urbaine, une réputation qui trouve ses fondements dans un ensemble d'initiatives prises, notamment, dans le domaine de la mobilité. Ces initiatives se sont concrétisées aujourd'hui à travers une offre globale en matière de déplacements : l'offre Yélo. C'est le nom du réseau de transport public de l'agglomération, accessible avec une carte unique et qui propose :

a) 23 lignes de bus parcourant toute l'agglomération, des tranches horaires plus larges, des horaires plus fréquents, des nouveaux bus ;

b) une ligne de bus à haut niveau de service qui traverse la ville sur l'axe nord/sud, nommée ILLICO avec de nouveaux pôles d'échanges (gares TER, parking-relais..) ;

c) les bateaux (Passeur et Bus de Mer) reliant le quartier des Minimes au centre-ville ;

d) les parkings repensés selon les besoins et de nouveaux parkings-relais ;

e) le nouveau libre-service vélos (possibilité longue durée), des vélos-parcs (stationnement sécurisé) , le traditionnel Vélo Jaune touristique ;

f) les voitures électriques Yélo Mobile en location ;

g) 116 points taxi Yélo à prix modique et 24h/24 ;

h) le co-voiturage.

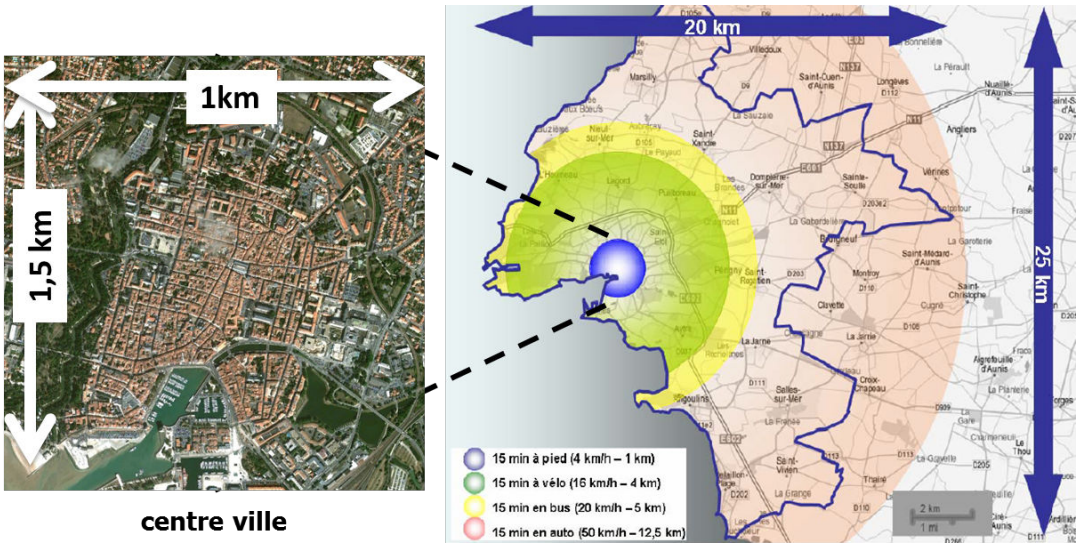


Figure 4-1 : le centre-ville et agglomération rochelais

En ce qui concerne les marchandises, la réglementation d'accès au centre-ville en vigueur se caractérise par l'interdiction aux poids lourds (supérieur à 3,5 t de Poids Total Autorisé en Charge - PTC) de livrer dans le périmètre de l'hyper-centre entre 6h00 et 7h30[13].

Cette interdiction a été introduite en synergie avec la mise en place d'un centre de distribution urbain, (CDU) fruit d'une expérimentation qui a débuté en 1998, dans le cadre du projet européen ELCIDIS (ELectric City DIstribution System).

Aujourd'hui la ville réfléchit à l'expérimentation de nouveaux équipements et infrastructures pour le développement de nouveaux services de livraison aux particuliers et de services à la personne.

4.2.2 Ressources de transport

4.2.2.1 ***Elcidis, le centre de distributi`n urbaine***

L'objectif de la plateforme urbaine Elcidis est de protéger le centre historique de La Rochelle des nuisances associées aux livraisons en canalisant les flux de marchandises. La Communauté D'Agglomération de la Rochelle (CDA) est à l'origine du projet auquel se sont associés la CCI, la Société du commerce rochelais, des transporteurs et le PREDIT. Un espace situé en périphérie immédiate du centre-ville de La Rochelle a été aménagé pour permettre la distribution des commerces du centre urbain à l'aide de véhicules électriques (Figure 4-2).

[13] Il existe des dispositions particulières pour les véhicules n'excédant pas 7,5 t PTC et desservant les marchés ou transportant des produits frais, boissons en gros, surgelés ou combustibles … (mercredi et samedi, jour de grands marchés, accès dans la zone rouge entre 5h00 et 14h00).

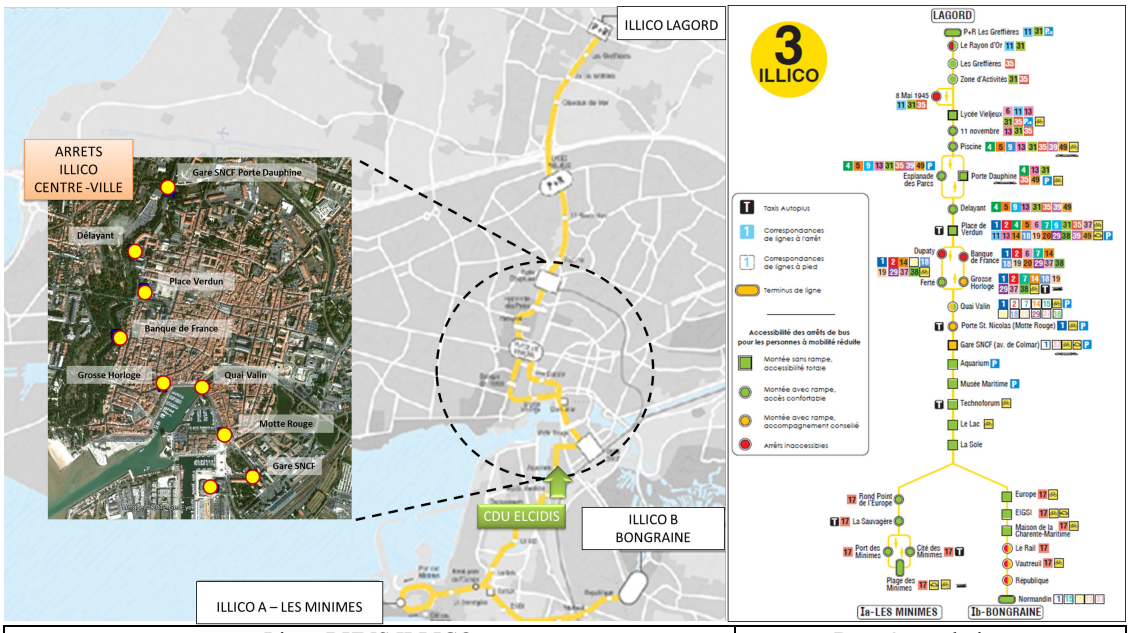
Figure 4-2 : localisation du CDU Elcidis

Bénéficiant de fonds de la Communauté Européenne, de la ville de La Rochelle, de la CDA, du Conseil Régional de Poitou Charente, de la Chambre de Commerce et d'Industrie de La Rochelle et de l'ADEME, l'initiative a été lancée en 2001. Aujourd'hui, la CDA est encore propriétaire d'une partie du parc roulant. Depuis décembre 2006, la communauté d'agglomération, sous l'appui du projet européen CIVITAS SUCCESS, a décidé de confier l'exploitation de la plateforme à PROXIWAY, du groupe VEOLIA dans le cadre d'une délégation de service public, afin de pérenniser le système et de permettre de nouveaux développements.

Le modèle de gestion mis en œuvre par PROXYWAY permet d'importantes économies d'échelle dans la mesure où elle prend également en charge, depuis 2006 et jusqu'en 2018, les voitures électriques en libre-service Yélomobile et les navettes électriques de liaison entre le parc-relais Jean Moulin et le Vieux-Port. L'opérateur peut donc utiliser les mêmes installations et le même personnel pour répartir ses coûts fixes (tels que le loyer des locaux) sur plusieurs activités.

4.2.2.2 ***Illic`, bus à haut niveau de service***

Le réseau de bus de La Rochelle s'organise autour d'un axe Nord-Sud reliant la commune de Lagord au quartier des Minimes et traversant le centre-ville de La Rochelle. La ligne de Bus à Haut Niveau de Service ILLICO est exploitée sur cet axe.



Ligne BHNS ILLICO	Données techniques
Vitesse	17 km/h
Temps de parcours Terminus Nord –Terminus Sud	25 min
Amplitude horaire (Lu –Ve)	6h – 22h
Fréquence (Lu – Ve)	10 min

Tableau 4-1 : itinéraire et données techniques sur la Ligne BHNS Illico

La ligne offre :

- un site propre sur tout le parcours avec priorité aux carrefours ;
- une régularité et une fiabilité des temps de parcours ainsi qu'un cadencement des horaires ;
- l'accessibilité intégrale à tous les arrêts ;
- un système d'information pour les voyageurs en temps réel à chaque arrêt et dans chaque bus ;
- des parkings relais payants avec un tarif combiné pour l'accès au réseau de bus qui jalonnent tout le parcours de la ligne ;
- de nombreuses correspondances avec des lignes urbaines, suburbaines, interurbaines et ferroviaires.

Considérée comme la colonne vertébrale du réseau des transports en commun rochelais, le parcours de la ligne Illico est jalonné de pôles d'échanges bus ou intermodaux[14] (Tableau 4-1). Le principe de voie dédiée, comme pour un tramway, donne priorité au bus afin de réduire les facteurs de gêne qui peuvent

[14] P+R Les Greffières, Lycée Vieljeux, halte ferroviaire de la Porte Dauphine, Place de Verdun, gare SNCF, rond-point Normandin

se présenter à son passage. La ligne assure ainsi une vitesse moyenne de 19 km/h et relie Lagord aux quartiers des Minimes et de Bongraine (environ 8 km) en 25 minutes.

Cette ligne se prête assez facilement à une application de notre modèle en conséquence de ses prestations. Nous avons donc " simulé " la façon dont cette ligne de bus particulière pourrait être utilisée comme une ligne mixte passagers-marchandises.

4.2.3 Structure du système

La structure du système de transport urbain mixte que nous souhaitons adapter au centre-ville de La Rochelle est la suivante :

- en amont, le centre de distribution urbain Elcidis, réceptionne les marchandises en provenance des sites de production des fournisseurs ou des entrepôts de consolidation/déconsolidation externes à la ville. Cet équipement logistique est connecté à la ligne de transport en commun Illico, afin de charger les marchandises sur les vecteurs de transport circulant sur la ligne, en fonction de leur capacité résiduelle. Grâce à l'actuelle localisation de la plateforme, cette connexion semble faisable.

- une fois aux arrêts, les marchandises sont prises en charge par des véhicules de livraison capillaire, à impact environnemental faible ou absent. L'absence de stockage impose que les transports en commun et les véhicules de livraison capillaire convergent aux mêmes arrêts en même temps.

Une hypothèse forte du système est que la qualité du service assurée aux passagers utilisant les transports en commun reste inchangée même s'ils partagent les trajets avec des marchandises. Le système de distribution fonctionne sur une base quotidienne.

Les marchandises destinées à être livrées au jour J, arrivent au CDU Elcidis, en amont au plus tard au jour J-1 et sont ensuite dispatchées. Nous supposons connue la demande des clients et le programme de distribution doit être déterminé avant que le premier vecteur de transport en commun quitte l'équipement logistique qui réceptionne les marchandises.

La périodicité de la ligne Illico permet d'approvisionner régulièrement les marchandises sur un *ensemble d'arrêts* localisés dans le centre-ville où ont lieu simultanément, les opérations de déchargement des marchandises et de montée/descente des passagers.

Nous souhaitons vérifier à quelles conditions ce système de transport urbain mixte se révèle adapté à la ville. Pour ce faire, nous procédons tout d'abord à une estimation de la capacité de transport

résiduelle de la ligne Illico et des besoins en approvisionnement des commerces localisés dans le centre-ville.

La Figure 4-3 illustre le système avec cette configuration.

Figure 4-3 : la structure du système de transport urbain mixte à La Rochelle

4.3 Dimensionnement des ressources

4.3.1 Estimation de la capacité de transport résiduelle d'Illico

Pour vérifier la pertinence d'introduire la mixité dans la ligne Illico, nous avons procédé à l'estimation de la capacité résiduelle, c'est-à-dire au dimensionnement de l'espace inutilisé dans les bus et qui pourrait être alloué au transport de marchandises.

Tout d'abord, il a été nécessaire d'analyser l'usage de ce mode de transport. La ligne a été lancée en novembre 2009, nous avons ainsi étudié les données de fréquentation depuis cette date jusqu'à décembre 2011.

Ces données sont sous-estimées par rapport à la réalité du fait des problèmes récurrents que le système d'aide à l'exploitation rencontre. Pour compléter ces données, nous avons cherché à estimer les charges de voyageurs par nous – mêmes. En collaboration avec la régie des transports communautaires rochelais RTCR, nous avons établi un relevé de charge sur cette ligne, qui consiste à enregistrer les montées et les descentes par arrêt et le nombre instantané de voyageurs dans le bus.

En conclusion de ce travail de terrain, nous n'avons rencontré aucune saturation sur la ligne et cela même si le nombre de voyages sur la ligne Illico en 2011 est en progression de près de 22% par rapport à 2010 (sur la période juillet – décembre) (Figure 4-4).

Cela démontre que la ligne a bien absorbé l'augmentation des besoins exprimés. Les tendances de la fréquentation de la ligne sur les années 2010 - 2011 sont les suivantes : les mois de juillet et août correspondent aux creux de fréquentation annuelle. Malgré la présence des touristes, ceux – ci ne compensent pas l'absence des scolaires sur le réseau. Le mois de septembre marque la reprise de la fréquentation après les deux mois estivaux. Le mois de septembre 2011 est marqué par une nette progression par rapport au même mois de l'an 2010.

La fréquentation se maintient en automne pour diminuer en décembre et janvier du fait des vacances scolaires. Le mois de février lui est en hausse alors que les mois qui suivent – d'avril à juin – sont marqués par une baisse liée au départ progressif des étudiants. Nous avons étudié les données d'utilisation de la ligne en fonction des jours de la semaine : la ligne est plus utilisée en semaine que le week-end. Nous avons alors retenu les mois de *septembre à juin* et les jours de la semaine *du lundi au vendredi* (que dans la suite nous appellerons jours ordinaires) pour l'évaluation de la capacité résiduelle de la ligne, car il s'agit des périodes à plus haute fréquentation.

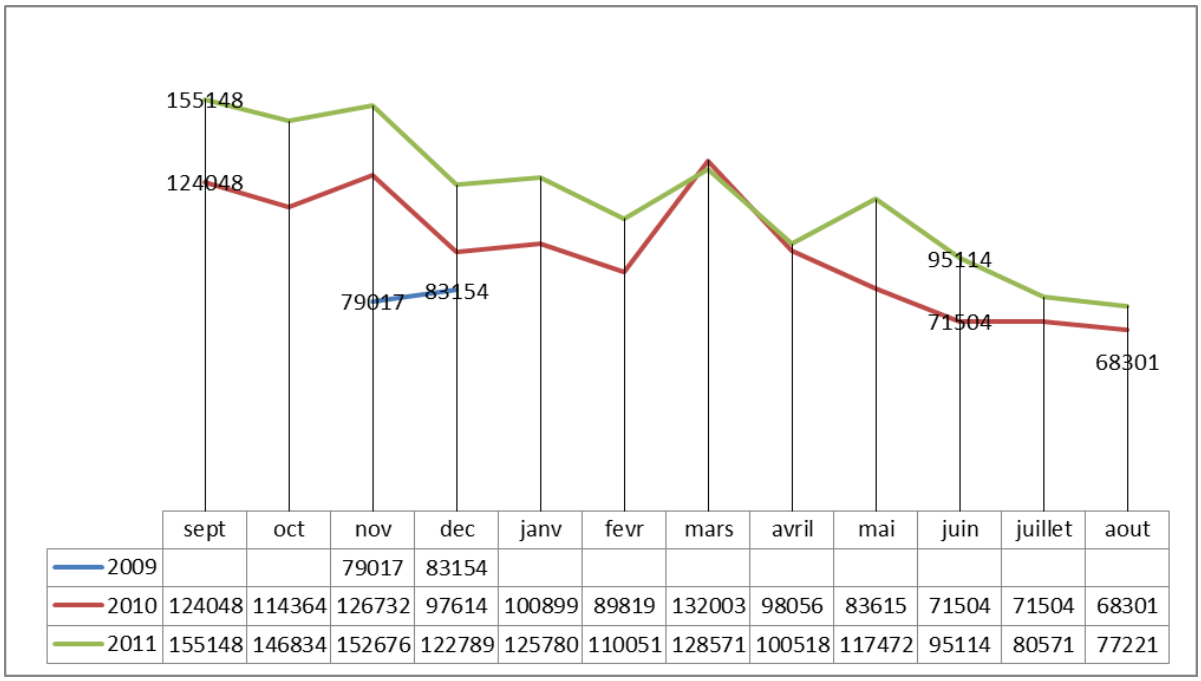


Figure 4-4 : fréquentation mensuelle de la ligne Illico sur la période 2009-2011

Nous avons retenu les valeurs maximales de fréquentation par jour et par tranche horaire, repérées sur la période, et nous avons reconstruit le taux d'occupation de la ligne.

Le Tableau 4-2 montre la distribution de la fréquentation sur une journée ordinaire : les tranches horaires les moins fréquentées sont celles entre 5h et 7h et entre 19h et 22h. La capacité résiduelle se stabilise autour de 30% entre 10h et 16h. Les pics de fréquentation se localisent entre 8h30 et 10h et entre 16h et 19h.

Taux d'occupation de la ligne (voyageurs)/tranche horaire										
5.30 7.00	**7.00 8.30**	**8.30 10.00**	**10.00 11.30**	**11.30 13.00**	**13.00 14.30**	**14.30 16.00**	**16.00 17.30**	**17.30 19.00**	**19.00 20.30**	**20.30 22.00**
51%	83%	70%	68%	73%	72%	73%	79%	82%	60%	55%

Tableau 4-2 : le taux d'occupation maximal de la ligne par tranches horaires dans un jour ordinaire

Pour pouvoir déduire la capacité résiduelle de la ligne, nous avons déterminé, pour chaque tranche horaire, le nombre de bus qui dessert les arrêts de la ligne localisés dans le centre–ville (Tableau 4-3).

Arrêts	***Nb de bus/ tranches h`raires***											
	5.30 7.00	**7.00 8.30**	**8.30 10.00**	**10.00 11.30**	**11.30 13.00**	**13.00 14.30**	**14.30 16.00**	**16.00 17.30**	**17.30 19.00**	**19.00 20.30**	**20.30 22.00**	**Nb bus**
Aquarium(CDU)	3	9	9	9	9	9	9	9	9	7	3	***85***
Gare SNCF	3	9	9	9	9	9	9	9	8	8	3	***85***
Motte Rouge	3	8	10	9	9	9	9	8	9	7	4	***85***
Quai Valin	3	8	10	9	9	9	9	8	9	7	4	***85***
Grosse Horloge	3	8	9	9	9	9	9	9	9	7	4	***85***
Banque de France	3	8	9	9	9	9	9	9	9	7	4	***85***
Place de Verdun	3	8	9	9	9	9	9	9	9	7	4	***85***
Délayant	3	8	9	9	9	9	9	9	9	7	4	***85***
Porte Dauphine	3	8	9	9	8	10	9	9	8	8	4	***85***

Tableau 4-3 : nombres de bus / tranches horaires/jour ordinaire

Nous avons enfin déterminé le nombre minimum de conteneurs transportables par tranche horaire à partir des caractéristiques des bus circulant sur la ligne (Tableau 4-4).

Capacité des bus circulant sur la ligne ILLICO (Heuliez, modèle GX 427)	**Nb. personnes**
Places totales	155
Places assises	32
Espace réservé aux personnes à mobilité réduite	7 places debout
Places debout	116
Espace/conteneur équivalent personne	***7 places debout***

Tableau 4-4 : caractéristiques des bus circulant sur la ligne Illico

Nous faisons l'hypothèse que les conteneurs roulants destinés au transport de marchandises occupent une place équivalente à sept personnes debout et peuvent avoir une charge de 100kg (cf. chapitre 3, paragraphe 3.4.2).

Nous pouvons ainsi déterminer le nombre minimum de conteneurs qu'on peut charger, par bus, par tranche horaire un jour standard (Tableau 4-5).

	Tranches horaires										
	5.30 7.00	***7.00 8.30***	***8.30 10.00***	***10.00 11.30***	***11.30 13.00***	***13.00 14.30***	***14.30 16.00***	***16.00 17.30***	***17.30 19.00***	***19.00 20.30***	***20.30 22.00***
Taux d'`ccupati`n	51%	83%	70%	68%	73%	72%	73%	79%	82%	60%	55%
Capacité résiduelle (#C`nteneurs/bus)	8	3	5	5	4	4	4	3	3	6	7

Tableau 4-5 : nombre de conteneurs pouvant être transportés/bus/tranche horaire/jour ordinaire

Chaque bus pourra ainsi être chargé d'au moins *trois conteneurs* et cela sans impacter la capacité de transport réservée aux personnes.

Connaissant le nombre de bus qui dessert chaque arrêt du centre-ville (Tableau 4-3), nous pouvons déterminer le nombre de conteneurs transportables par le système mixte par arrêt par jour ordinaire (Tableau 4-6).

Nb.t`t. bus/ Arrêt/j`ur	***Nb. C`nteneurs/bus***	***Nb. C`nteneurs/ Arrêt/j`ur***	***Nb. C`nteneurs/ Arrêt/semaine***
85	3	255	*1785*

Tableau 4-6 : nombre de conteneurs transportables par jour ordinaire et par semaine

Nous pouvons ainsi constater que 85 bus desservent les arrêts du centre–ville et peuvent transporter, chacun, au moins trois conteneurs, grâce à la capacité résiduelle de la ligne.

Cette offre de transport assure l'approvisionnement de 255 conteneurs par arrêt, par jour ordinaire, soit 25,5 tonnes de marchandise. Sur une semaine, il serait possible d'approvisionner à chaque arrêt jusqu'à 1785 conteneurs, soit 178,5 tonnes de marchandise.

Il s'agit naturellement d'un calcul en moyenne sur la journée mais qui montre l'intérêt de poursuivre l'étude compte tenu des potentialités du transport résiduel de marchandises.

Dans le prochain paragraphe, nous cherchons à estimer les besoins en approvisionnement exprimés par les activités économiques de la zone d'étude. Nous comparerons ensuite ces valeurs pour comprendre dans quelle mesure les besoins en marchandises du centre-ville pourraient être satisfaits par une offre de transport telle que le système mixte.

4.3.2 Estimation des besoins en approvisionnement

Afin d'estimer les besoins en approvisionnement du périmètre de l'étude, nous cherchons à reconstruire le plan directeur de distribution des commerces (Chapitre 3) sur un horizon d'une semaine, composée de cinq jours, du lundi au vendredi.

Le périmètre d'étude est une zone très attractive, avec 10827 habitants et plus de 2000 activités économiques. Dans le centre-ville de La Rochelle se localisent 2246 entreprises de taille très petite, des collectivités, des services d'Etat, etc. Parmi eux, 33% sont constitués de commerces et 59% de Services (Données Insee 2008 : SIRENE et IRIS).

Les principaux métiers qu'on y retrouve sont : le commerce de détail, l'hébergement et la restauration, l'activité immobilière, les activités financières et l'assurance, les activités liées à la santé et à l'action sociale et les services.

Nous avons étudié les besoins en approvisionnement de sept secteurs commerciaux dans le périmètre de l'étude :

- *bar*. Regroupe l'ensemble des débitants de boissons n'ayant pas d'activité de restauration.
- *restauration*. Regroupe la restauration traditionnelle et rapide, c'est à dire les brasseries, restaurants, les sandwicheries, fast–food, de toutes tailles qu'ils soient indépendants ou franchisés.
- *alimentation générale.* Regroupe l'ensemble des épiceries franchisées ou non.
- *enseigne publique.* Regroupe les établissements publics (office de tourisme, collectivité,..) et entreprises comme La Poste, EDF.
- *tertiaire/services.* Regroupe les agences immobilières, les assurances, les agences d'interim et les salons de coiffure, les agences de voyages, instituts de beauté,…

- *équipement de la personne.* Regroupe les magasins de vêtements, chaussures, bijoux, de toutes tailles, franchisés et indépendants.

- *divers.* Regroupe les établissements ne pouvant être classés dans les activités précédentes (laverie, cybercafé…).

Nous avons exclu les supermarchés, les hypermarchés, les commerces de gros, les commerces liés à l'industrie (avec approvisionnement en béton, poutres…), les commerces pharmaceutiques, les hôtels et les débits de boissons, parce qu'ils disposent de systèmes d'approvisionnement souvent très adaptés aux exigences particulières de leurs activités et de leurs produits et ainsi difficilement substituables.

Des analyses autour de la représentativité de cet échantillon sont présentées en ANNEXE III.

Compte tenu de la taille limitée de la surface, objet d'analyse, et de la densité des commerces qui y sont localisés, nous n'avons pas découpé la zone en unités autonomes de production, selon la méthodologie proposée dans le chapitre 3 : nous avons plutôt procédé à une analyse globale de la zone pour simplifier.

Afin de quantifier les besoins en approvisionnement, nous avons réalisé une enquête sur les habitudes de livraisons des commerçants et de leurs fournisseurs dans l'état actuel des choses.

Le diagramme de la Figure 4-5 nous illustre les trois phases poursuivies (Dufour et Patier, 1999, Finnegan et al, 2003, City Ports, 2005).

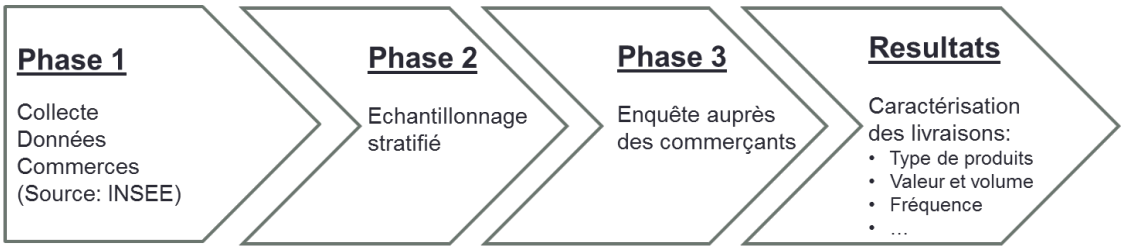


Figure 4-5 : diagramme des phases d'analyse des besoins en approvisionnement

Nous nous sommes focalisés seulement sur les livraisons, les enlèvements étant une problématique très importante dans les villes contemporaines mais nécessitant des analyses plus spécifiques allant au-delà des limites de notre recherche, mais il s'agit d'un facteur dont il faudra tenir compte.

Les résultats détaillés de l'enquête et le questionnaire soumis sont en ANNEXE III.

Plan directeur de distribution. Nous présentons ici les éléments qui nous permettent de construire un plan directeur de distribution sur un horizon d'une semaine, exprimé en nombre de conteneurs à approvisionner.

Le Tableau 4-7 décrit par chaque catégorie commerciale, le nombre de commerces, le poids moyen d'une livraison, la fréquence moyenne de livraisons sur une semaine.

A partir de ces données, nous avons calculé le poids total de livraisons par semaine, c'est le produit du nombre de commerces par le poids moyen d'une livraison et par la fréquence moyenne de livraison par semaine.

Nous avons ensuite converti cette valeur en nombre de conteneurs. Tout ceci constitue des simplifications mais nous avons privilégié une approche qui puisse donner des résultats immédiats. La mise en place d'un système réel demanderait naturellement des précautions supplémentaires.

	CATEGORIES COMMERCIALES							
	Bar	**Rest**	**Alim. Gén.**	**Ens.pub.**	**Tertiaire**	**Equip. pers.**	**Divers**	**TOT**
Nb. Commerces	26	73	137	91	225	108	60	**720**
Poids moyen d'une livraison (kg)	*15*	*25*	*36*	*60*	*46*	*25*	*41*	
Freq. moyenne de livraison /semaine	*1,5*	*7*	*8*	*3*	*2*	*7*	*2*	
Poids des livraisons/ Sem (ton)[15]	0,6	12,8	39,8	16,2	20,5	18,8	4,9	113,6
Nb. C`nteneurs (100kg/c`nteneur)	60	128	398	162	205	188	49	**1136**

Tableau 4-7 : quantification des besoins des marchandises par semaine, exprimée en tonnes et en nb. de conteneurs

Nous avons ainsi obtenu le total de 1136 conteneurs, pour l'approvisionnement de 720 commerces, sur la période d'une semaine.

Si nous comparons cette valeur avec le nombre de conteneurs transportables sur une semaine par la ligne Illico, nous constatons une capacité de conteneurs à transporter supérieure à la charge demandée (Tableau 4-8). Notons toutefois qu'il s'agit d'un calcul en moyenne sur la semaine.

	DEMANDE DE TRANSPORT	**OFFRE DE TRANSPORT**
Nb. Conteneurs/semaine	**1136 conteneurs**	**1785 conteneurs**

Tableau 4-8 : demande et offre de transport de conteneurs par semaine

Les résultats obtenus nous confortent dans l'idée que le besoin en marchandises associé à l'échantillon des commerces étudié peut être aisément satisfait par la ligne Illico, avant que cette dernière n'arrive à saturation de sa capacité de transport. Nous avons en effet près de 36% de marge supplémentaire.

[15] Nb commerces* Poids moyen d'une livraison* fréquence moyenne des livraisons

Une dernière vérification est cependant nécessaire pour assurer la correspondance entre les fenêtres de temps dans lesquelles les commerces souhaitent être livrés et la disponibilité de capacité résiduelle sur les bus de la ligne Illico.

Grâce à l'enquête menée sur le périmètre de l'étude (ANNEXE III), nous avons pu constater que le transport de marchandises a son propre rythme par rapport aux déplacements de personnes. Pour les opérations de livraisons, les clients imposent des plages horaires de livraisons et d'éventuels temps d'attente (en fonction de la disponibilité des commerçants).

L'importance des flux générés par le commerce occasionne une pointe de livraisons entre 10h et 11h du matin et entre 15h et 17h, soit hors des heures de pointe des flux de personnes. Il y a tout de même quelques pointes communes avec la circulation des personnes entre 7h et 9h et entre16h et 17h.

Sur une semaine, les marchandises sont demandées dans le centre-ville selon la distribution détaillée dans le Tableau 4-9. La distribution des conteneurs est établie suivant les différents créneaux horaires et les arrêts de bus de la ligne Illico.

	Tranches h`raires				
Arrêts	*7.00 8.30*	*10.00 11.30*	*14.30 16.00*	*16.00 17.30*	*17.30 19.00*
CDU	2	2	4	1	2
Gare SNCF	3	3	5	2	2
Motte Rouge	22	21	40	15	17
Quai Valin	15	14	27	10	12
Grosse Horloge	26	24	47	18	20
Banque de France	40	38	73	27	31
Place de Verdun	20	19	37	14	16
Delayant	5	5	9	3	4
Porte Dauphine	5	5	9	3	4
Nb.Conteneurs/semaine/tranche horaire *[(Poids livraison/semaine/tranche horaire) ÷ (poids transportable/conteneur)]*	**398**	**177**	**211**	**162**	**188**

Tableau 4-9 : tranches horaires de distribution de la demande des commerces sur une semaine

Nous pouvons constater que le créneau horaire le plus dense en terme de demande est celui entre 7h et 8h30 du matin, suivi par celui entre 14h30 et 16h00 et 17h30 et 19h et par ailleurs que les arrêts de bus les plus entourés de commerces sont ceux de Motte Rouge, Quai Valin, Grosse Horloge, Banque de France, Place de Verdun, localisés sur le plan de la Figure 4-6.

Nous avons maintenant à établir le nombre de véhicules capillaires nécessaires pour assurer la livraison aux clients finaux.

Nous partons du concept qu'un système de transport urbain mixte est particulièrement adapté pour livrer des colis de petite taille à un grand nombre de clients dans une zone géographique restreinte.

Dans le chapitre 3, nous avons adopté l'hypothèse d'associer un conteneur par tricycle : nous avons alors à surveiller l'évolution du nombre de véhicules capillaires associés au système mixte en fonction de l'augmentation de la demande, car ce paramètre peut faire rapidement changer l'efficacité du système et par voie de conséquence introduire des effets négatifs dus aux petits véhicules sur l'encombrement de la voirie.

Une analyse plus approfondie est ainsi nécessaire, afin de déterminer l'efficacité réelle du système proposé.

Figure 4-6 : arrêts de bus plus entourés de commerces (marqués par le nom en rouge)

En comparant les rythmes urbains des marchandises qui entrent dans le périmètre de l'étude et des passagers qui fréquentent la ligne Illico, un jour ordinaire, nous avons constaté que tous les déplacements actuellement effectués ne sont pas étalés uniformément au cours de la journée.

4.4 Evaluation des performances

4.4.1 Scénarios et méthodologie de comparaison

La section précédente nous a permis de constater que les besoins en marchandises de l'échantillon de commerces localisés dans le centre-ville de La Rochelle peuvent être satisfaits par la capacité résiduelle de transport de la ligne Illico.

Dans cette section, nous souhaitons comparer les performances d'un scénario de distribution urbaine de marchandises constitué par la plateforme Elcidis, la ligne BHNS Illico et des tricycles à assistance électrique avec un deuxième scénario qui prévoit l'utilisation des véhicules utilitaires électriques de gros gabarit (5,5 t, Modec) qui partent directement de la plateforme Elcidis pour desservir la même surface de la ville. (Figure 4-7).

En effet, pour évaluer la pertinence de notre projet de transport mixte, nous devons comparer un schéma traditionnel : véhicules partant de la plateforme pour satisfaire les demandes, avec notre transport mixte de lignes de bus complété par les tricycles capillaires.

Les données techniques sur les deux modèles de véhicules de livraison sont introduites en ANNEXE IV.

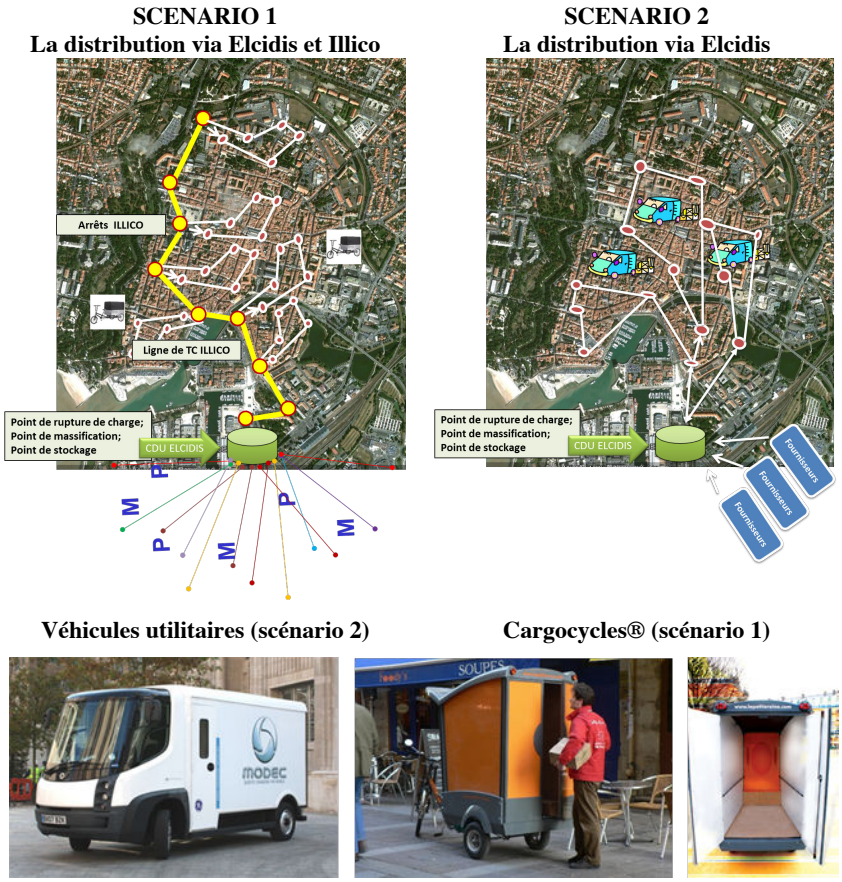


Figure 4-7 : les véhicules de livraison destinés aux tournées capillaires

L'objectif est d'évaluer quel schéma logistique génère les gains les plus importants selon les trois facettes du développement durable : environnement, économie et société.

Pour ce faire, nous avons :

- à déterminer le nombre de véhicules de livraison qu'il est nécessaire de prévoir pour satisfaire la demande des clients finaux, selon que l'on adopte l'un ou l'autre scénario. Pour dénombrer de manière optimale les flottes des véhicules, respectivement les véhicules capillaires et les camions électriques, nous faisons appel à l'algorithme de recherche heuristique ALNS détaillé en ANNEXE II.

- à mener une comparaison financière, environnementale et sociétale. Nous nous appuyons sur plusieurs études, telles que la méthodologie d'évaluation des innovations en matière de logistique urbaine proposée par le LET, Interface Transport et Gerardin Conseil (Henriot et al, 2008), le rapport d'évaluation locale réalisé dans le cadre du projet Civitas Success pour la mesure des impacts des solutions mises en œuvre dans la ville de La Rochelle (Civitas Success, 2006), l'étude sur l'évaluation de l'utilisation de véhicules électriques pour la distribution de marchandises

depuis un centre de distribution urbaine développée par Honig (2010) dans le cadre du projet de recherche CGOODS, l'audit d'expériences significatives en logistique urbaine mené par Boujemaoui et Floris, en collaboration avec Roseline Klein et Loïc Delaître (2011), le plan d'évaluation du projet européen Trailblazer [16](Breuil et Graindorge, 2011), la contribution à une méthodologie d'évaluation a priori des projets de transport urbain durable (Graindorge, 2012), le rapport sur le transport électrique des marchandises et son infrastructure urbaine (CESI, 2003). De l'information complémentaire très précieuse a été collectée à travers plusieurs interviews de professionnels disposant de connaissances ou d'expertise spécifique concernant les questions environnementales, économiques et/ou sociales dans le domaine de la logistique urbaine et du transport urbain via des cargo-tricycles en particulier, qui est encore peu exploré et dont les expérimentations sont peu évaluées (Elcidis, 2012) (Darchambeau, 2012) (Cicloville La Rochelle, 2012) (Lovelo, 2012).

Dans les prochains paragraphes nous présentons :

- les résultats des tests numériques, réalisés en collaboration avec le groupe de recherche de l'Ecole des Mines de Nantes, constitué par Renaud Masson, Olivier Peton, Fabien Lehuédé (Trentini et al, 2012) (Masson et al, 2012 a, b);
- les résultats de l'évaluation des performances sous les trois aspects : financiers, environnementaux et sociétaux.

4.4.2 Résultats des tests numériques

Nous avons généré cinq sous-ensembles de clients dans le périmètre de l'étude. Les sous-ensembles contiennent entre 105, 150, 196, 246 et 303 clients potentiels représentant toutes les catégories commerciales étudiées et détaillées dans le §4.3.2.

Nous avons associé à chaque client une fenêtre de temps de 1, 2 ou 4 heures et un *temps de service* de 5 minutes. A chaque sous-ensemble de clients, nous avons associé des niveaux croissants de demande, exprimée en pourcentage de poids d'un conteneur. La demande moyenne évolue entre 25%, 33% et 40% environ du poids d'un conteneur. Chaque simulation comporte des clients avec des demandes très variables : on retrouve donc des demandes très faibles et des demandes supérieures à 70% du poids d'un conteneur.

[16] Transport and Innovation Logistics by Local Authorities with a Zest for Efficiency and Realization

On a obtenu ainsi 15 simulations décrites dans le Tableau 4-10. La colonne 1 représente le nom de la simulation, composée du nombre de clients et des lettres a, b ou c, selon le profil croissant de la demande. Les colonnes suivantes décrivent les principales caractéristiques de la demande, exprimée en pourcentage du poids d'un conteneur : la demande minimale (colonne 2), la demande moyenne (colonne 3), la demande maximale (colonne 4) et la déviation standard (colonne 5).

Pour chaque simulation, l'algorithme a été exécuté cinq fois pendant une durée de cinq minutes, car l'algorithme a une partie stochastique.

Comme l'algorithme donne potentiellement des résultats différents à chaque exécution, il a été nécessaire de le faire tourner plusieurs fois pour arriver à des résultats moyens. Nous avons ainsi procédé à la comparaison numérique entre les deux scénarios concurrents.

	La demande des clients (*en % du p`ids d'un c`nteneur*)			
Instances	*Min*	*Moyenne*	*Max*	*DevStd*
105-a	8	25.8	77	11.2
105-b	10	33.4	72	12.6
105-c	15	42.1	100	15.3
150-a	5	24.2	61	10.0
150-b	12	34.5	89	14.4
150-c	12	41.7	91	15.1
196-a	5	26.0	80	12.1
196-b	9	35.1	88	14.7
196-c	16	42.9	91	15.0
246-a	5	26.2	80	12.5
246-b	10	33.5	88	13.1
246-c	15	42.7	100	15.8
303-a	5	25.4	74	12.7
303-b	5	33.3	78	13.0
303-c	12	41.8	100	16.1

Tableau 4-10 : description des caractéristiques de la demande des instances

4.4.2.1 ***N`mbre de véhicules et distance parc`urue***

Le Tableau 4-11 présente les résultats de la comparaison entre les deux schémas logistiques, en termes de nombre de véhicules et de la distance parcourue pour livrer les différentes simulations.

La colonne 2 fournit le nombre de camions nécessaires à la distribution via Elcidis et la colonne 3 fournit la distance parcourue par les camions (km). La colonne 4 indique le nombre de tricycles requis dans la distribution via Elcidis et Illico et la colonne 5 fournit la distance parcourue par les tricycles (km).

Le nombre de tricycles augmente assez linéairement avec la demande des clients tandis que le nombre de camions augmente peu. Quand la demande des clients augmente, la distance parcourue par les tricycles dépasse la distance parcourue par la distribution en camions.

Ces résultats peuvent s'expliquer par la charge et la capacité des véhicules. Les camions ne sont jamais utilisés à pleine capacité dans la pratique, donc ils effectuent presque toujours un itinéraire unique du CDU vers un ensemble de clients : l'augmentation de la demande a peu d'effet sur le nombre de véhicules utilisés.

En revanche, en raison de leur faible capacité, les tricycles ont à effectuer plusieurs trajets à partir d'un point de transfert vers un ensemble restreint de clients. Lorsque la demande de clients augmente, le nombre moyen de clients par trajet diminue, de telle sorte que les tricycles effectuent plus d'itinéraires et plus de trajets à vide pour revenir au point de transfert.

	Le modèle CDU+Camions électriques		**Le modèle mixte**	
Instances	*camions*	*km*	*tricycles*	*km*
105-a	2	47,5	2	41,4
105-b	2	54,7	2	48,2
105-c	2	52,1	3	51,8
150-a	3	70,5	3	56,5
150-b	3	66,1	3	70,4
150-c	3	66,8	4	76,1
196-a	3	78,9	4	74,7
196-b	3	91,2	4	87,6
196-c	3	103,0	4	104,8
246-a	3	105,7	4	97,1
246-b	3	110,9	5	106,6
246-c	3	118,4	5	130,5
303-a	4	105,9	5	118,7
303-b	4	119,6	5	143,8
303-c	4	126,4	6	162,6

Tableau 4-11 : nombre de véhicules et distance parcourue

4.4.2.2 ***Utilisati`n des véhicules***

Le Tableau 4-12 confirme les conclusions tirées précédemment. Les valeurs dans la colonne 2 et 3 expriment le nombre moyen de charges complètes transportées par chaque véhicule. Ce résultat est calculé comme le rapport entre la charge totale transportée et la capacité globale disponible. Cette dernière est déduite du nombre de camions utilisés × 2000 kg et le nombre de les tricycles utilisés × 100kg.

Le tableau montre que le principal inconvénient de la livraison en milieu urbain avec des camions est le facteur de remplissage faible de ces moyens, surtout lorsque la demande est faible.

Dans le système de transport urbain mixte, chaque tricycle transporte sa capacité maximale entre 5,4 et 9,7 fois par jour. Il est à noter que l'utilisation de véhicules augmente lorsque le nombre de clients augmente.

Nous pouvons calculer le nombre de conteneurs destinés à transporter les marchandises dans le système de transport urbain mixte. La colonne 4 indique le nombre de conteneurs qui sont nécessaires pour satisfaire les simulations et la colonne 5 montre les valeurs de la charge moyenne de ces conteneurs (exprimée en% de la pleine capacité).

En moyenne, les conteneurs roulants sont chargés à 87% de leur capacité, valeur plutôt satisfaisante. Nous soulignons que cette valeur est stable sur l'ensemble des instances.

	Le modèle CDU+Camions électriques	**Le modèle mixte**		
Instances	*utilisation de camions*	*utilisation de tricycles*	*conteneurs*	*Charge moyenne*
105-a	0,68	13,5	23	93%
105-b	0,90	18,0	31	91%
105-c	1,13	15,0	40	90%
150-a	0,63	12,7	27	82%
150-b	0,84	16,9	45	94%
150-c	1,05	15,8	55	89%
196-a	0,84	12,6	40	84%
196-b	1,12	16,8	54	87%
196-c	1,40	17,5	71	90%
246-a	1,05	13,7	47	82%
246-b	1,40	16,8	68	84%
246-c	1,75	21,0	90	88%
303-a	0,98	15,6	62	84%
303-b	1,30	18,0	81	80%
303-c	1,63	21,7	111	86%

Tableau 4-12 : utilisation des véhicules

4.4.2.3 ***Utilisati`n des arrêts de bus***

Pour chaque arrêt, y compris le CDU, on compte le nombre total de conteneurs qui y sont dechargés, dans une journée, pour être ensuite chargés sur les tricycles (Tableau 4-13). Cela nous donne une bonne vision de l'activité de chaque arrêt de bus.

Sans surprise, on constate que les arrêts déjà identifiés comme les plus proches des commerces (Tableau 4-9) concentrent l'essentiel de l'activité, alors que les autres n'enregistrent presque aucun mouvement.

Ces résultats soulèvent la question de l'emplacement optimal des points de transbordement : est-il possible de sélectionner seulement une partie des arrêts de bus pour le transbordement des conteneurs, avec un impact limité sur la qualité de service du transport public.

	CDU	*Gare SNCF*	*Motte Rouge*	*Quai Valin*	*Grosse Horloge*	*Banque de France*	*Place de Verdun*	*Délayant*	*Gare SNCF Porte Dauphine*
105-a	**1**	**1**	***2***	***12***	***8***	***1***	***7***	**0**	**0**
105-b	1	2	*3*	*16*	*11*	*3*	*8*	0	0
105-c	1	4	*3*	*20*	*12*	*4*	*8*	0	0
150-a	1	3	*4*	*14*	*10*	*5*	*9*	0	1
150-b	2	3	*5*	*23*	*15*	*6*	*10*	0	0
150-c	2	4	*5*	*26*	*19*	*7*	*12*	0	0
196-a	1	3	*4*	*20*	*13*	*4*	*15*	0	0
196-b	2	4	*5*	*31*	*16*	*7*	*14*	0	0
196-c	1	3	*6*	*43*	*21*	*6*	*17*	0	0
246-a	1	4	*6*	*26*	*15*	*8*	*15*	0	1
246-b	2	4	*7*	*37*	*21*	*8*	*17*	0	1
246-c	2	6	*9*	*53*	*24*	*10*	*21*	0	2
303-a	1	4	*8*	*34*	*18*	*7*	*16*	1	2
303-b	2	4	*9*	*46*	*22*	*13*	*20*	1	1
303-c	**1**	**6**	***11***	***61***	***33***	***10***	***26***	**1**	**1**

Tableau 4-13 : nombre moyen de conteneurs déchargés à chaque arrêt de bus sur la journée

Les graphes de la Figure 4-8 détaillent la distribution sur la journée du déchargement des conteneurs aux arrêts, pour un ensemble de 105 et 303 clients, selon les trois profils de demande (a, b, c), selon les trois fenêtres horaires : avant 10h, entre 10h et 16h et après 16h.

Nous constatons qu'entre 105 et 303 clients, il y a :

- un étalement de la demande sur les arrêts qui enregistrent les flux moins importants;

- un écart de 50 conteneurs à l'arrêt Quai Valin, d'une vingtaine pour l'arrêt Grosse Horloge et Place Verdun, d'une dizaine pour les arrêts Banque de France et Motte Rouge.
- un étalement progressif de la demande sur les trois fenêtres horaires.

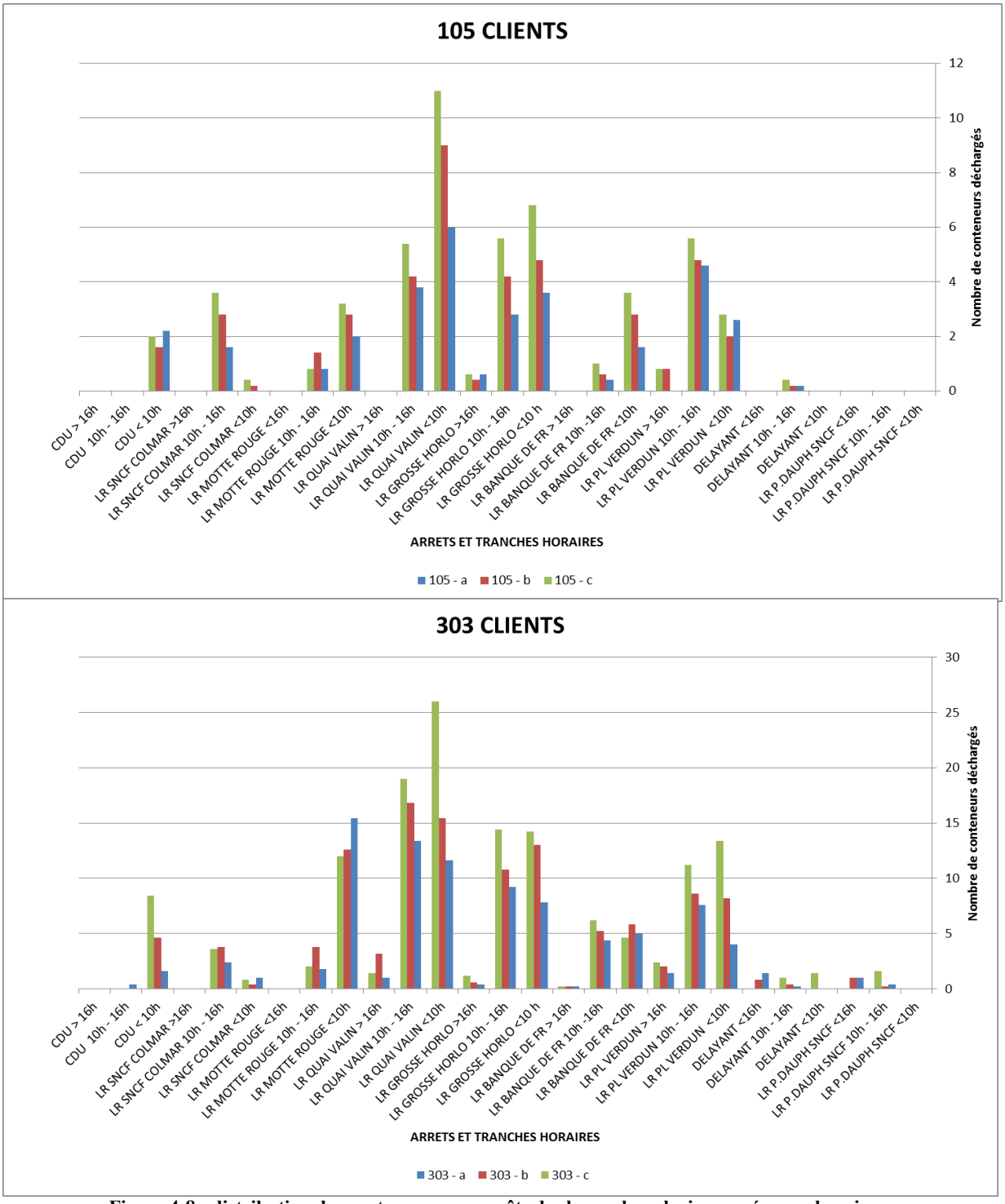


Figure 4-8 : distribution des conteneurs aux arrêts des bus, selon plusieurs créneaux horaires

4.4.2.4 ***Tests numériques après réducti`n des fenêtres de livrais`n***

Nous avons testé l'hypothèse de disposer de fenêtres horaires plus étroites pour la livraison aux clients. Nous avons ainsi associé à chaque client une fenêtre horaire de livraison d'une heure d'amplitude. Les résultats sont reportés dans le Tableau 4-14.

Les colonnes 2 et 4 expriment le nombre de camions et de tricycles requis dans chaque système de transport.

Les colonnes 3 et 5 représentent le taux d'utilisation de chaque véhicule : ces valeurs peuvent être comparées avec ceux du Tableau 4-12.

	La distribution via Elcidis		**La distribution via Elcidis et Illico**	
Instance	*camions*	*utilisation de camions*	*tricycles*	*utilisation de tricycles*
105-a	4	0,34	4	5,6
105-b	4	0,45	5	7,2
105-c	4	0,56	5	8,4
150-a	5	0,38	6	5,6
150-b	5	0,51	7	7,2
150-c	5	0,63	8	7,9
196-a	7	0,36	8	6,3
196-b	7	0,48	9	7,4
196-c	7	0,6	13	6,4
246-a	8	0,39	10	6,3
246-b	8	0,53	11	7,4
246-c	8	0,66	16	6,3
303-a	9	0,43	12	6,5
303-b	9	0,58	15	6,8
303-c	9	0,72	23	5,7

Tableau 4-14 : résultats des tests avec réduction des fenêtres horaires

La réduction de l'ampleur des fenêtres de livraison répond à une amélioration de la qualité du service de livraison, mais au prix d'une énorme augmentation du nombre de véhicules (camions ou tricycles) et une baisse importante de leur utilisation. Cela illustre la difficulté de trouver un compromis entre l'efficacité logistique, les préoccupations environnementales et la qualité du service de livraison des marchandises.

Ce qu'il faut en retenir est que la durée des fenêtres horaires a une très grande influence sur le nombre de véhicules utilisés et la distance parcourue. En effet, quand les fenêtres horaires sont trop étroites, on est obligé de livrer presque simultanément un grand nombre de clients. Lorsque les fenêtres horaires sont plus larges, il est possible de mieux organiser les parcours et on peut en effet reporter plus facilement l'expédition d'un colis.

Ce point est particulièrement important et pose la question de la pertinence de l'affectation : demande/tranche horaire. Les discussions avec les commerçants laissent penser qu'une grande

souplesse existe. Cette souplesse ouvre un champ d'étude particulièrement intéressant concernant le lien entre un respect des délais demandés et les conséquences en termes d'utilisation des moyens.

4.4.3 Comparaison financière

L'analyse financière ici développée a pour but de fournir, à partir d'informations d'origines diverses, une vision synthétique :

- *des coûts logistiques globaux*, comprenant des coûts d'exploitation et des coûts du capital, sur une base annuelle;
- *des coûts d'énergie nécessaire pour alimenter les véhicules,* selon les deux schémas logistiques, sur une base journalière;

Les coûts d'exploitation et les coûts du capital sont calculés sur l'année et incluent : la maintenance, la réparation, l'entretien, l'assurance, l'immatriculation, l'amortissement et les intérêts.

L'amortissement par an est calculé selon la formule suivante :

$$Amortissement = \frac{Prix\ d'achat - valeur\ residuelle}{Durée\ de\ service}$$

Afin de simplifier le problème, nous faisons l'hypothèse que la valeur résiduelle égale zéro après la durée de service.
Nous estimons une durée de service de 5 ans pour les camions électriques car nous avons considéré un modèle économique qui inclut l'achat des batteries, d'une durée de vie de cinq ans et dont le poids sur le prix d'achat du Modec est de 60% (Elcidis, 2012).

La durée de vie de cinq ans s'applique aussi aux cargo-tricycles (Lovelo, 2012).

Pour les camions électriques on peut considérer un montant de 20000 € du prix d'achat, subventionné par l'ADEME (Elcidis, 2012).

Pour les cargo-tricycles la subvention de l'ADEME n'est pas prévue (Lovelo, 2012).

Les intérêts sont calculés par la formule simplifiée suivante (Schierenbeck 2003, pp. 342-343) :

$$Intérêts = \frac{Prix\ d'achat}{2} * Taux\ d'intérêt\ imputé$$

Le taux d'intérêt imputé peut être déterminé en fonction des marchés financiers (Hoch 2008, p. 121).

Nous prenons 5,00 % comme taux d'intérêt correspondant à un investissement de 5 ans sur le marché financier en 2012 (Agence France Trésor, 11/06/2012).

Le coût de l'énergie nécessaire à l'alimentation des véhicules est calculé en fonction des prix fournis par EDF.

Le rechargement des batteries des camions électriques est effectué de manière lente, par connexion du véhicule au réseau électrique, comme détaillé en annexe III (Elcidis, 2012).

Les batteries sont chargées pendant 8 heures, cela implique l'immobilisation du véhicule pour la durée du chargement.

Ainsi, la recharge est faite de préférence la nuit : cela permet de profiter du prix bas de l'électricité, qui est produite dans ce créneau horaire par des centrales nucléaires et qui génèrent des émissions faibles de CO_2.

Le coût de l'énergie est déterminé en fonction du kilométrage effectué par les véhicules dans deux schémas logistiques respectifs.

Le Tableau 4-15 résume les données que nous utilisons pour nos calculs.

	Camions électriques	**Tricycles**
Prix d'énergie (€/ kWh)[17]	0,11	0,11
Assurance des véhicules (€/an)	470	150
Maintenance, Réparation, entretien (€/an)	2600	600
Taux d'intérêt imputé (%)	5	5
Prix d'achat HT (€)	75000	6500
Bonus d'ADEME sur prix d'achat (€)	20.000	Pas de bonus ADEME
Immatriculation (€)	150	Pas d'immatriculation
Durée de service (ans)	5	5
Amortissement (€/an)	11000	1300

Tableau 4-15 : constantes utilisées pour le calcul comparatif des coûts

Les coûts logistiques globaux. Le graphe de la Figure 4-9 montre les courbes des coûts globaux, qui varient en fonction de la flotte, dimensionnée sur le nombre des clients à livrer.

Si on compare les prix associés aux deux schémas logistiques respectifs, on constate que, même si le nombre de tricycles et leur distance parcourue augmentent assez linéairement avec la demande des

[17] Moyenne des prix Edf en heures creuses et heures plaines

clients, les coûts globaux subissent une variation peu importante, compte tenu des coûts d'exploitation et de capital très faibles.

Il n'en est pas de même pour les camions électriques, qui, au contraire, augmentent peu lorsque la demande des clients augmente, à cause de la sous-exploitation de leur capacité de transport ; cependant ils entrainent des coûts globaux considérables.

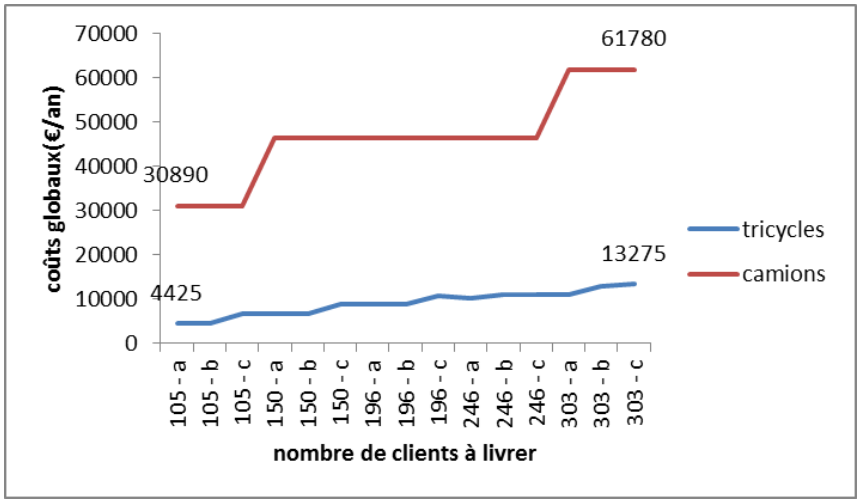


Figure 4-9 : les coûts globaux associés à l'adoption à la distribution urbaine via des tricycles et des camions

Les coûts de l'énergie. Le graphe de la Figure 4-10 montre la variation de la consommation d'énergie en fonction du nombre de clients à livrer.

Encore une fois, il est évident que les cargo-tricycles doivent assurer une consommation très réduite d'énergie par rapport aux camions électriques : les cargo-tricycles consomment 2,3 kW pour la desserte de 303 clients, en revanche les camions électriques en consomment 54,4 kW.

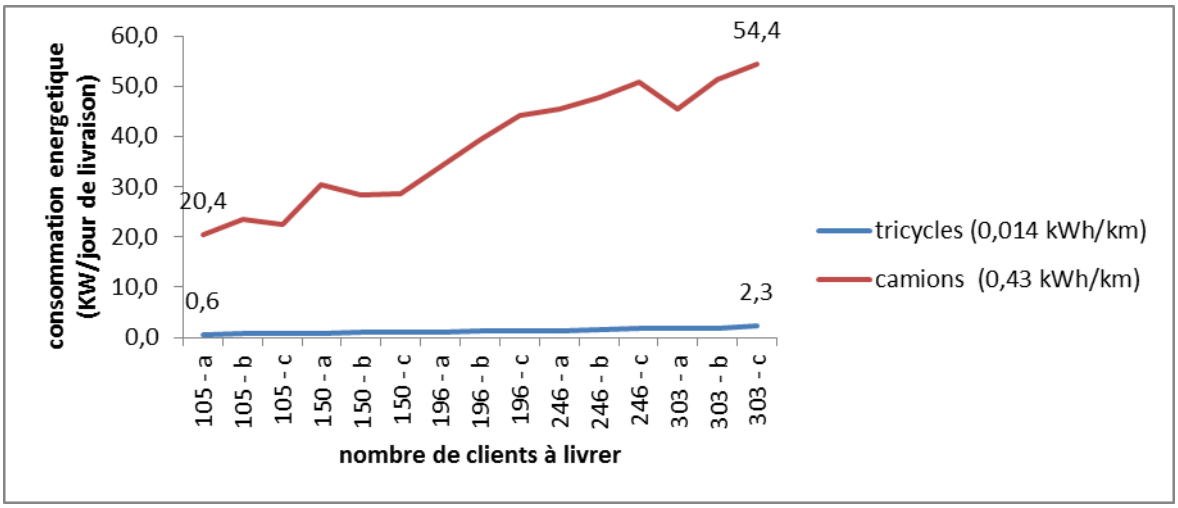
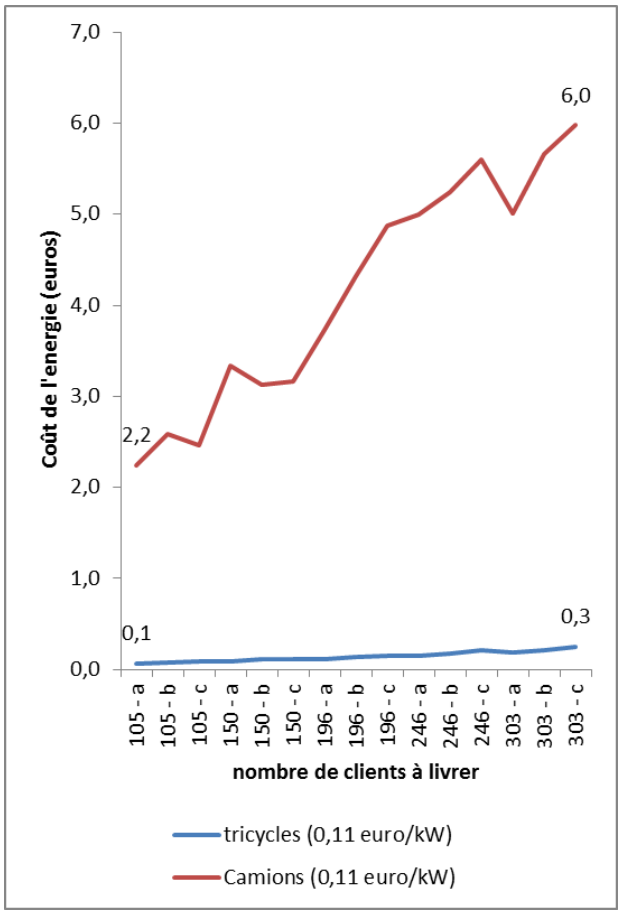


Figure 4-10 : consommation énergétique et coûts associés à la distribution via des tricycles et des camions/jour



Le graphe à gauche nous montre les deux courbes des coûts de l'énergie nécessaire pour l'alimentation des deux types de véhicules. Il est évident que les tricycles assurent un gain économique très élevé par rapport aux camions électriques.

4.4.4 Comparaison environnementale

Pour la comparaison environnementale, nous considérons les émissions de CO_2 et la congestion.

En ce qui concerne le niveau sonore, le coût externe associé aux véhicules électriques est égal à zéro (CESI, 2003), (Honig, 2010). Ce dernier qui semble à première vue un grand avantage entraîne toutefois des problèmes de sécurité parce qu'on peut ne pas entendre le véhicule lorsqu'il est en mouvement.

Émissions de CO_2. Les grands avantages qui sont associés au moteur électrique sont de ne pas rejeter d'émissions directes. Une certaine quantité de CO_2 est quand même rejetée quand l'électricité avec laquelle la batterie est chargée est produite. Donc, la quantité de CO2 dépend du mix énergétique (proportion des différentes sources dans la production d'énergie) qui est différent pour chaque pays (Breuil et Graindorge, 2011).

En France, le mix énergétique comprend une grande partie de l'énergie nucléaire et donc le rejet de CO_2 est plus faible que dans la moyenne européenne ou mondiale.

Cependant, les informations qu'on trouve sur le montant de rejet de CO_2 par kilomètre sont très différentes. Les informations données par EDF mentionnent qu'en France 15 à 20g de CO_2 sont rejetés en moyenne par kilomètre parcouru contre 90 à 100g CO_2/km en moyenne en Europe et 120g CO_2/km au niveau mondial (EDF, 02/02/2010). Renault affirme que 12g CO_2 sont rejetés par kilomètre avec le mix énergétique en France en moyenne et seulement 3 à 4g pendant la nuit (Renault, 02/02/2010).

Pour les valeurs d'émissions de CO_2 des véhicules électriques, nous nous servons des données de l'ADEME qui précisent la quantité moyenne de CO_2 rejeté par kWh électrique produit correspondant à 85g CO_2/kWh3[18] et 45 g CO_2/kWh pendant la nuit, grâce à la partie nucléaire qui se réduit pendant la journée (ADEME, 2009).

Nous utilisons la valeur du rejet de 45 g CO_2/kWh qui est valable la nuit, vu que les batteries des véhicules sont de préférence rechargées pendant la nuit.

		Unité	Camions	Tricycles
De la source au réservoir	Rejet de CO_2 par kWh produit	(g CO_2/kWh)	45	45
	Consommation d'énergie par km	(kWh/ km)	0,43	0,014
	Rejet de CO_2 par km parcouru	(g CO_2/ km)	(45*0,43) = 19,35	(45*0,014) = 0,63

Tableau 4-16 : constantes utilisées pour déterminer les rejets de CO_2 des véhicules électriques

Pour déterminer le rejet final des deux flottes de véhicules, nous multiplions le rejet de CO_2 par unité énergétique électrique (kWh) produite par la consommation d'énergie des véhicules.

L'émission de CO_2 des véhicules de livraison sera calculée avec l'aide du kilométrage et de l'émission de CO_2 par km pour le trafic urbain, qui est donnée dans les spécifications techniques du constructeur.

Avec l'aide de la consommation moyenne d'énergie des véhicules, donnée par le constructeur, nous pouvons calculer le rejet de CO_2 par kilomètre. Après avoir calculé le rejet de CO_2 par kilomètre, nous calculons avec l'aide du kilométrage par jour, le rejet de CO_2 journalier, en fonction de la variation de la demande :

$$Rejet\ de\ CO2jour = kilometragejour * Rejet\ de\ CO2kilomètre => gCO2jour = kmjour * gCO2km$$

[18] Pour comparaison : la moyenne européenne est 400g CO2/kWh

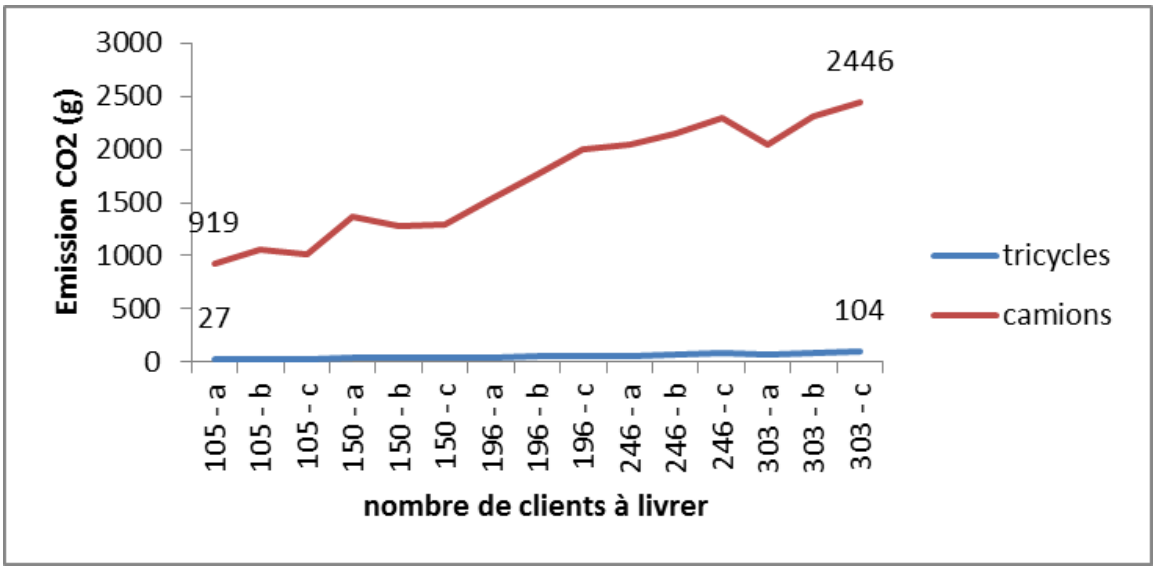


Figure 4-11 : émissions de CO_2 associées au nombre de clients à livrer (g CO_2)

Le graphe de la Figure 4-11 met en évidence l'écart qu'il y a dans l'émission de CO_2, selon que la desserte du même nombre de clients est assurée par l'utilisation de tricycles ou de camions électriques.

Congestion urbaine. Pour déterminer l'impact des véhicules électriques sur la congestion urbaine, nous nous référons à l'étude du CESI (2003) qui détermine les coûts externes engendrés par la congestion et exprimés en (€/veh*km).

Le coût de la congestion par unité de trafic (véh*km) des camions électriques est considérée comme identique à celui des camions traditionnels, parce qu'ils sont comparables en termes de gabarit et donc ont le même effet sur l'écoulement du trafic (CESI, 2003).

En revanche, le coût de la congestion associé aux cargo-tricycles correspond à un tiers des coûts externes associés aux camions électriques, compte tenu de leur petite taille, de leur souplesse dans les manœuvres en milieu urbain, de la possibilité d'emprunter les voies de bus et de se garer sur les trottoirs, à une distance de 3 – 4 m du client final, contre 50, 60 mètres nécessaires aux camions (Darchambeau, 2012).

Coûts externes de la congestion	Camions	Tricycles
(€/veh km)	2,35	0,78

Tableau 4-17 : couts externes de la congestion par unité de trafic

De cela il ressort que les tricycles sont gagnants dans l'évaluation des coûts de congestion en milieu urbain.

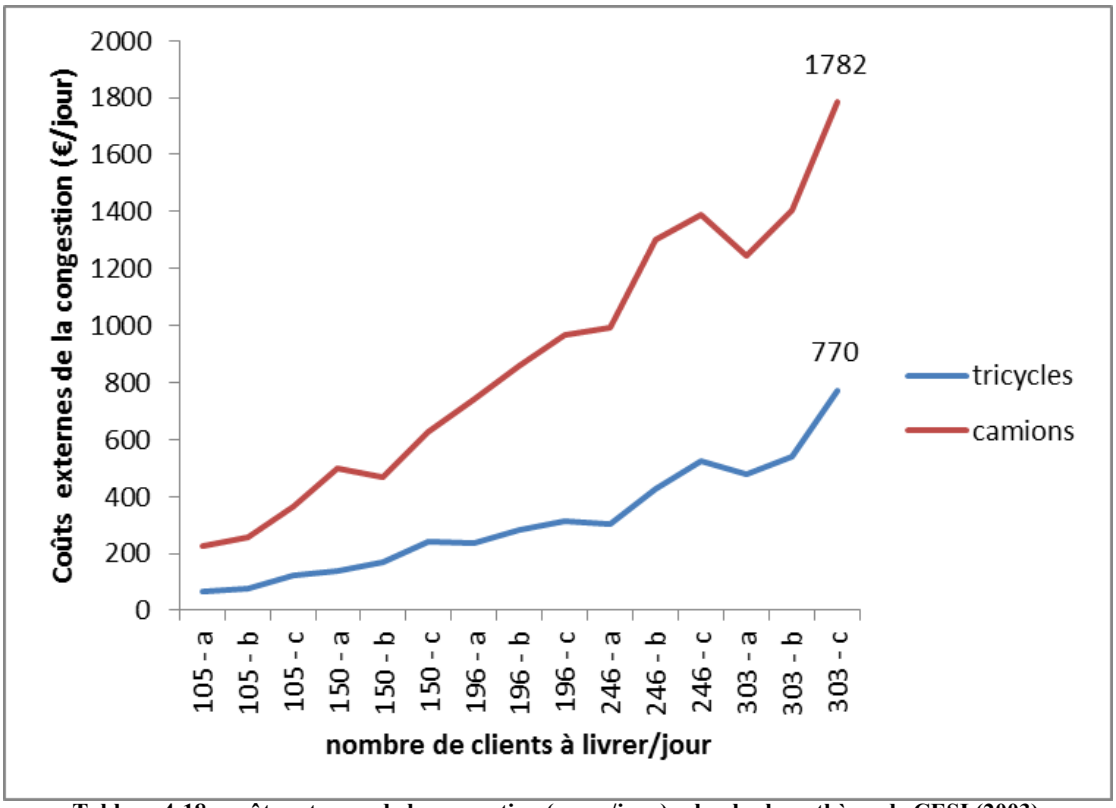


Tableau 4-18 : coûts externes de la congestion (euros/jour) selon les hypothèses de CESI (2003)

4.4.5 Comparaison sociétale

Les systèmes de transport urbain proposés déterminent l'implication de plusieurs acteurs qui doivent interagir et dialoguer de manière nouvelle, mais qui sont caractérisés par des objectifs propres à chacun, souvent difficiles à concilier.

Nous avons regroupé les acteurs en quatre groupes :

- *les autorités locales* qui représentent les institutionnels comme les élus des collectivités locales, les gestionnaires des espaces publics ou les autorités organisatrices de transport. Elles ont le rôle d'entretenir les infrastructures et les capacités des transports urbains, règlementer et contrôler, anticiper les besoins futurs, autoriser les implantations d'autres acteurs.

- *les opérateurs de transport* qui sont les sociétés qui effectuent en pratique le transport de personnes ou de biens. Ils ont le rôle d'assurer un service de transport, d'un point à un autre de la ville, avec des contraintes d'horaire, de qualité de service, de coûts, etc....

- *les organisations* qui peuvent attirer ou influencer les flux de personnes et de marchandises. Leur rôle est de "réceptionner et envoyer" personnes et/ou marchandises, avec comme contraintes le choix du transporteur et la localisation de leur établissement par rapport à la ville.

- *Les habitants et les usagers de l'agglomération* sont, quant à eux, toutes les personnes qui, aussi bien dans le cadre professionnel que dans la vie privée, sont amenées à faire appel à des dispositifs de transport (individuels ou collectifs), c'est à dire à exprimer une demande de mobilité et de qualité de vie.

Nous nous sommes intéressés à comparer les impacts sociétaux associés aux deux schémas logistique : cela signifie d'analyser les effets que les deux schémas peuvent engendrer sur les personnes concernées.

Les destinataires des livraisons subissent les mêmes impacts dans les deux schémas, ainsi on ne les prend pas en compte dans la comparaison.

Les passagers des transports publics sont impactés par le schéma mixte mais nous considérons que le système de transport public ne sera pas modifié par la présence des marchandises : les impacts sont ainsi absents.

L'impact sur les riverains est très sensible d'un point de vue politique, les riverains ayant notamment le droit de vote contrairement aux marchandises. Parmi les critères étudiés, nous avons retenu les indicateurs concernant les nuisances sonores, la contribution à la congestion de la ville et le niveau d'adéquation entre les moyens de transport utilisés et les infrastructures urbaines existantes. Il semble évident que le système de transport mixte présente des impacts moindres par rapport au schéma logistique conventionnel.

Un autre niveau de l'aspect social concerne le personnel destiné aux opérations logistiques. Les points sensibles concernent : *la création d'emplois en zone urbaine.*

Cet indicateur fait référence au nombre de salariés potentiellement employables dans les deux modèles logistiques respectifs (Tableau 4-18).

	Préparation des commandes au CDU	**Transport capillaire**
Modèle conventionnel	2 personnes	Nb chauffeurs = Nb véhicules+ 3
Modèle mixte	4 personnes	Nb chauffeurs = Nb véhicules + 3

Tableau 4-19 : employés associés aux deux modèles logistiques

Le tableau a été construit à partir des hypothèses suivantes :

- *dans la phase de préparation des commandes,* nous considérons nécessaire de disposer de plus de personnel pour le modèle mixte par rapport au modèle conventionnel, cela à cause du chargement des marchandises dans les conteneurs.

- *dans la phase de livraison capillaire,* nous associons à chaque véhicule une amplitude de travail de 9 heures/jour, ainsi nous associons un nombre de chauffeurs correspondant au nombre de véhicules +3.

Pour établir ces valeurs, nous avons fait appel à l'expertise des sociétés parisiennes de logistique urbaine par cargo tricycles, The Green Link et Vert Chez Vous et de Veolia Transport qui gère la plateforme Elcidis de La Rochelle (Elcidis, 2012).

Enfin, dans l'évaluation de la création d'emplois, nous ne prenons pas en compte la nécessité d'avoir des employés pour accompagner les conteneurs dans les bus.

Cette condition, qui a été introduite dans le §3.2.3.5, sera assurée seulement pour la durée de la phase de test, afin de valider le modèle de transport mixte au niveau expérimental.

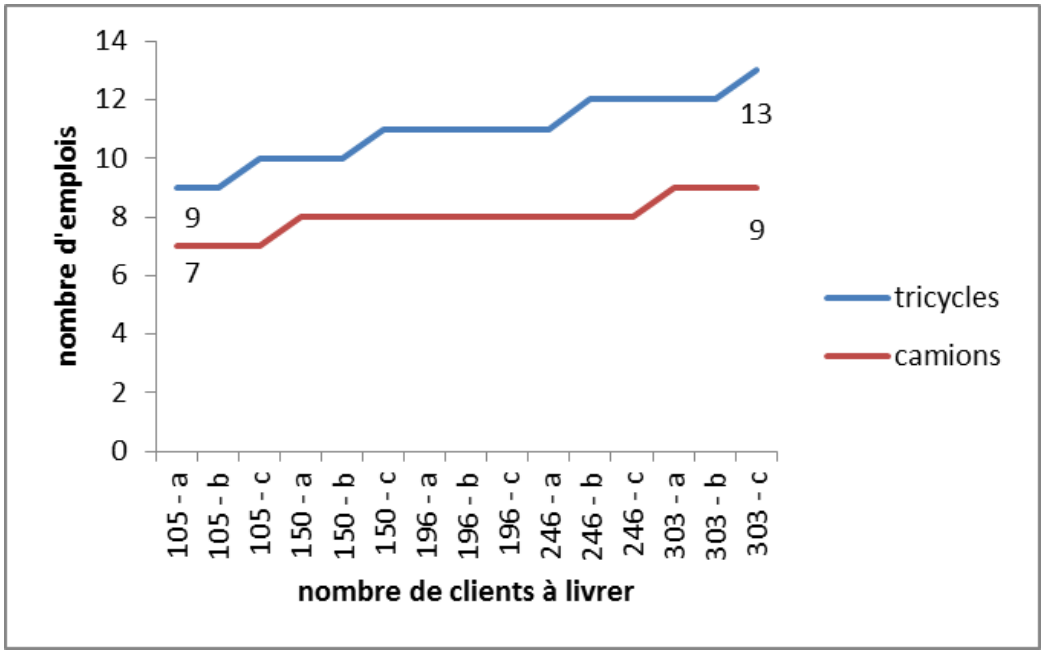


Tableau 4-20 : évolution des nombre d'employés en fonction du nombre de clients, selon les deux modèles logistiques

4.4.6 Organisation et financement du système

La mise au point du système de transport urbain mixte exige la participation de plusieurs groupes d'acteurs, que nous considérons comme incontournables : *les habitants et les usagers de l'agglomération, les organisations, les opérateurs de mobilité, les autorités locales*, représentés dans la Figure 4-12 et détaillés en ANNEXE V.

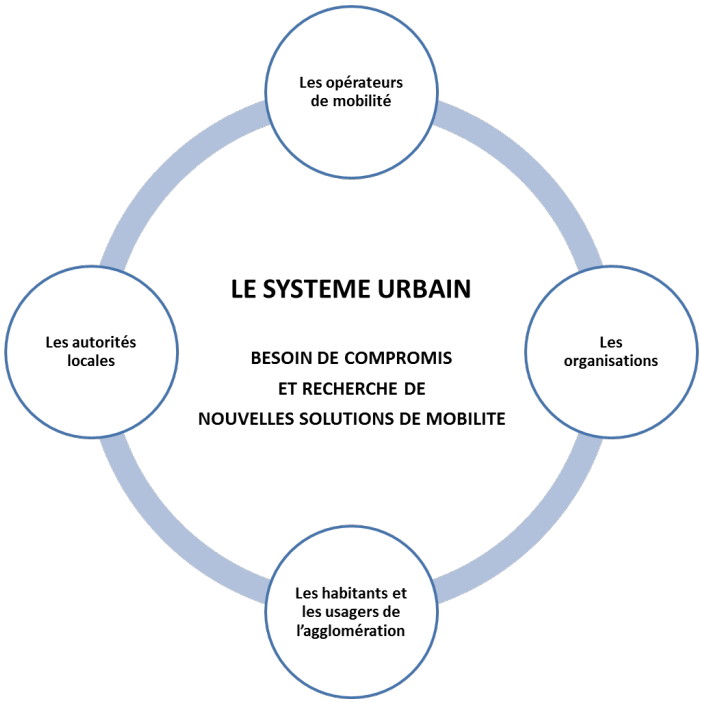


Figure 4-12 : les acteurs de la mobilité urbaine

Certains seront bénéficiaires, d'autres non, certains seront mis à contribution financièrement, d'autres non, certains bénéficieront de la qualité de la nouvelle prestation, d'autres non. Le Tableau 4-21 liste les acteurs concernés par ce nouveau transport mixte et les changements induits.

En effet, si l'on suppose que la distribution capillaire est assurée par une structure privée, le gestionnaire de cette structure sera naturellement un acteur à part entière, mais on pourrait imaginer que cette distribution soit une activité gérée en totalité par les Pouvoirs Publics d'où une organisation différente.

Nous proposons trois schémas d'organisation possibles :

- une gestion "publique" par un opérateur créé ad hoc, et dont la mise en place nécessite des fonds publics importants;

- une gestion "privée" nécessitant une mise de fond par les pouvoirs publics et assurée par un acteur assimilable à une entreprise de transport de marchandises. Cet acteur, en général une coopérative d'artisans ou de professionnels du transport et de la logistique, est alors chargé d'assurer la rentabilité économique du service en étant dispensé des charges liées à l'amortissement de ses équipements;

- le troisième schéma s'affranchit du "public / privé" mais insiste davantage sur le regroupement de services. L'opérateur en charge de l'exploitation gère plusieurs activités (transport de marchandises, transport de personnes, etc.). Ainsi, en fonction des activités, l'une peut être momentanément déficitaire à condition que les bénéfices des autres soient suffisants pour compenser les pertes et assurer l'équilibre financier global.

LES ACTEURS	POINTS NEGATIFS	POINTS POSITIFS
Les usagers	Bus occupés par des marchandises accompagnant les voyageurs Le temps perdu lors du chargement aux arrêts-dépôts (voire aux chargements en CDU)	Horaires et fréquences inchangés
Les transporteurs	Nécessité d'une grande rigueur dans l'identification des marchandises ;	Moins de déplacements en centre-ville ; Massification possible en utilisant le CDU ;
Les conducteurs des transports en commun	Des arrêts parfois légèrement plus longs	Pas de changement d'horaire.
Les commerçants	une grande rigueur dans les demandes : procédures, quantités et délais attendus	une grande précision dans les horaires de livraison.
Les pouvoirs publics : mairies,…	Complexité de gestion : définition de responsabilité et de fonctions nouvelles	Innovation urbaine pionnière impact urbain global positif : fluidité, nuisances réduites,…
Le gestionnaire du transport public	Concevoir un nouveau fonctionnement du CDU : marchandises et voyageurs et en assurer la gestion Concevoir les aménagements des trams Concevoir les infrastructures aux arrêts-dépôts	Aspect novateur Embauche de personnels dont de manutentionnaires pour le CDU
Les distributeurs capillaires	Gérer un parc de nouveaux matériels	Embauche de personnel pour cette fonction

Tableau 4-21 : les acteurs face au transport mixte et les changements induits

On peut considérer deux phases dans l'organisation : la première sera celle de l'investissement nécessaire à l'exploitation du système, la seconde sera celle de l'exploitation proprement dite.

<u>La phase du régime transit`ire.</u>

Par exemple, on peut imaginer une organisation qui prévoit :

- le CDU géré par les Pouvoirs Publics. Ses activités pendant cette phase regroupent : l'aménagement des transports en commun, l'acquisition et l'aménagement du CDU, l'aménagement des arrêts-dépôts, la conception des logiciels et systèmes d'informations en général.

- le réseau capillaire est confié à une société privée. Ses activités en régime transitoire vont consister à assurer : l'équipement en tricycles, la conception des tournées et des procédures en liaison avec les concepteurs de logiciels et avec ceux des arrêts-dépôts.

Toute la phase du régime transitoire est constituée de dépenses soit d'infrastructures physiques, soit de travail de conception.

Ces dépenses importantes ne pourraient être couvertes que par les Pouvoirs Publics, par le biais d'un impôt spécial (éventuellement amorti à l'aide d'un emprunt de la municipalité), d'une subvention de la Région en fonction du caractère novateur et éventuellement d'une demande de souscription auprès des deux principaux bénéficiaires : transporteurs et commerçants.

D'autres partenaires pourraient collaborer à cet investissement : le Pôle Emploi (réduction du nombre de chômeurs), le Ministère de l'Environnement (réduction de la pollution), des industriels fournisseurs du matériel (image de marque).

La phase de régime permanent

Conservons le même schéma que précédemment avec les Pouvoirs Publics gérant le CDU et une société gérant le capillaire. Quelles sont les dépenses nouvelles par rapport au schéma initial ?

- Les dépenses au niveau du CDU. Un ou des gestionnaires de marchandises, un gestionnaire de logiciels, un ou plusieurs agents de maintenance (vecteurs de transport en commun, emballages, structures en dépôts-arrêts,…)

- Les dépenses au niveau du capillaire. L'entretien du matériel, les conducteurs de tricycles.

Comment équilibrer ces dépenses au vu des avantages perçus par les acteurs ? Le Tableau 4-22 dessine les contributions possibles des différents acteurs.

Les acteurs	contributions possibles
⊖**Tous les habitants**	Pas d'effet induit direct. Possibilité d'introduire une taxe nouvelle liée à la qualité de la vie
⊖ **Les transporteurs**	Instaurer une contribution proportionnelle aux quantités désormais assurées par le transport mixte (et initialement assurées par eux-mêmes). Les informations concernant ces quantités sont facilement accessibles à partir du PDD.
⊛ **Les commerçants**	Instaurer une contribution proportionnelle aux quantités livrées par le nouveau système dans de meilleures conditions
④ **Les usagers**	Face à une légère dégradation des conditions, il ne faudrait pas augmenter le prix des transports, voire l'affaiblir.

Tableau 4-22 : les effets induits sur les différents acteurs du nouveau système de transport

Reprenons le Tableau 4-22 et imaginons un système simple.

Tous les habitants de la cité ⊖ sont bénéficiaires (pollution, qualité de service, quelques emplois,…). Il est donc logique que ceux-ci contribuent au financement du CDU par une nouvelle taxe remplaçant celle proposée pour assurer les investissements initiaux.

Les transporteurs ⊜ et les commerçants ⊛ sont bénéficiaires à différents titres. Ce serait naturellement à eux d'assurer le coût de fonctionnement de la société gestionnaire des tricycles. Cette société détient en effet toutes les informations concernant les livraisons en temps réel, ce qui permet de connaître l'économie de camions en centre-ville et l'amélioration de la qualité de service.

Pour un partage des responsabilités clairement défini, nous introduisons la notion d*'incoterm,* contraction de *INternational COmmercial TERMS* en tant que piste à explorer pour une transposition du formalisme du transport international à celui urbain.

Les Incoterms déterminent les obligations réciproques du vendeur et de l'acheteur dans le cadre d'un contrat d'achat/vente international, ils précisent les responsabilités respectives et fixent le partage des coûts et la division des risques.

Rédigés par les experts de la Chambre de Commerce Internationale, ils indiquent la part respective que le vendeur et l'acheteur prennent dans l'acheminement de la marchandise entre le départ usine du vendeur et le lieu de livraison de l'acheteur.

Les Incoterms font partie intégrante du contrat de vente. Ils précisent les obligations à la fois du vendeur et de l'acheteur en ce qui concerne :

- la mise à disposition des marchandises,
- le mode de transport utilisé (pré transport, transport principal, post transport),
- la manutention (frais de chargement, de déchargement),
- la douane export et import (dédouanement à l'import et à l'export),
- la livraison des marchandises. Le pré transport correspond à l'acheminement jusqu'au port ou à l'aéroport d'embarquement. Le post transport correspond à l'acheminement entre le port ou l'aéroport de débarquement et le lieu de destination.

Pour chacun des Incoterms sont précisés : le transfert des frais, le transfert de risques en tenant compte d'une localisation géographique précise, le transfert des risques correspond au moment et au lieu à partir duquel l'acheteur assume tous les risques encourus par les marchandises.

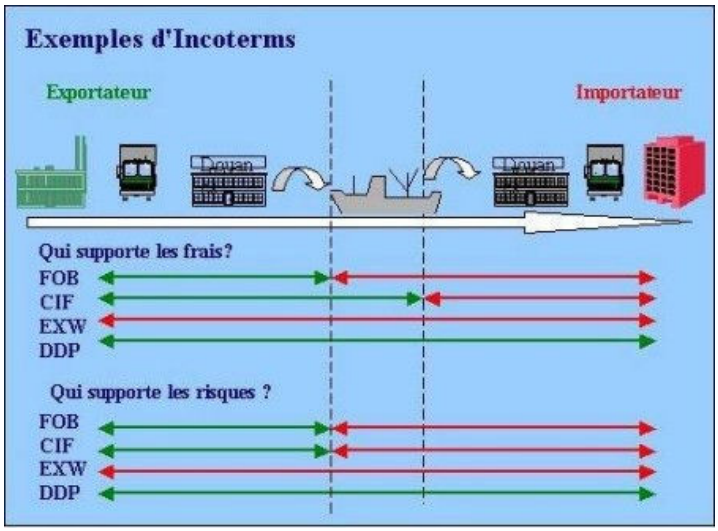


Figure 4-13 : les incoterms et la répartition des frais et des risques (source : http://mds-logistics.com)

La transposition des incoterms dans le milieu urbain permettrait d'établir clairement la responsabilité de chaque acteur qui intervient dans le transfert du bien de son origine jusqu'à sa destination finale.

Une expérimentation sur un périmètre restreint a été menée du 11 au 21 septembre 2012, pendant les "10 jours de la mobilité", grand moment de promotion des transports publics et de débats, proposé par la Communauté d'Agglomération de La Rochelle et mobilisant également la Ville, les transports publics, les associations, les entreprises, les partenaires.

4.5 Expérimentation terrain

4.5.1 Contexte, objectif et scénario

L'objectif de l'expérimentation est double:

- Il s'agit d'une part de démontrer la faisabilité technique de la mise en œuvre d'un service de transport mixte passagers / marchandises permettant de rationaliser l'utilisation des infrastructures d'un transport en commun. Cet objectif sera considéré comme atteint si cette prestation supplémentaire peut être assurée par l'exploitant du service (RTCR à La Rochelle) sans pour autant détériorer le niveau de service proposé aux usagers.

- Il s'agit également de valider le modèle conceptuel développé dans le cadre du projet CGOODS, avec une instanciation adaptée à la configuration de la ville dont la taille ne justifie pas un système capillaire élaboré.

D'un point de vue définition, nous devons préciser qu'une livraison acheminée par un bus à un instant donné regroupe les commandes de plusieurs commerces et doit donc être répartie sur plusieurs arrêts. Chaque livraison est préparée sur le site ELCIDIS et chargé sur une petite remorque tirée par un livreur. Le livreur rejoint l'arrêt Aquarium de la ligne ILLICO et embarque avec sa remorque dans le bus. Il débarque ensuite sur l'un des arrêts concerné par sa livraison et associé à la localisation des commerces destinataires pour assurer la logistique du dernier "mètre". Une fois sa tournée capillaire terminée, le livreur prend le bus en sens inverse pour retourner à ELCIDIS et préparer une nouvelle livraison.

L'analyse des flux de marchandises en ville présentée dans le paragraphe 4.3, nous a amenés à considérer les libraires rochelais comme population cible pour notre expérimentation. La Figure 4-14 localise les cinq libraires partenaires de l'expérimentation.

Figure 4-14 : les librairies partenaires, les arrêts de la ligne Illico et la plateforme Elcidis

4.5.2 Les libraires et la logistique du livre

Les réseaux des librairies en France est très dense. On estime ainsi à plus de 3.000 le nombre des points de vente actifs de livres. Les grandes surfaces spécialisées (GSS) dans la culture et les

loisirs, les grandes surfaces alimentaires (GSA), les librairies, le e-commerce et les clubs de lecture (France Loisirs) constituent les 5 principaux circuits de distribution. Ces derniers ont connu des évolutions contrastées sur moyenne période, les librairies et les clubs perdant régulièrement du terrain face aux GSS, aux GSA et aux web-librairies. Les grandes surfaces culturelles constituent le principal canal de vente du livre, avec 21,6% de parts de marché, devançant de peu les grandes surfaces non spécialisées (hyper, supermarchés) qui s'adjugent 19,9% du marché. La librairie spécialisée est le troisième canal de distribution avec 17, 4% de parts de marché, juste devant la vente par correspondance et les clubs des livres (15, 6%). Viennent ensuite Internet (9,6%), le commerce du livre dans les kiosques, auprès des comités d'entreprise et dans les lieux de transport (aéroports, gares, etc. : 6,9%) les maisons de presses et les librairies papeteries (6,7%).

La logistique des librairies est aujourd'hui principalement assurée par PRISME une plateforme interprofessionnelle du livre dont le rôle est de gérer physiquement et informatiquement les flux de livres entre les éditeurs/distributeurs et les libraires. Elle permet de massifier les envois aller et retour, de réduire les frais de transport et participe à une démarche environnementale. À ce jour, près de 650 éditeurs-distributeurs et 3000 libraires utilisent PRISME quotidiennement. La plateforme traite 5 millions de colis par an, 50 000 tonnes par an (Figure 4-15).

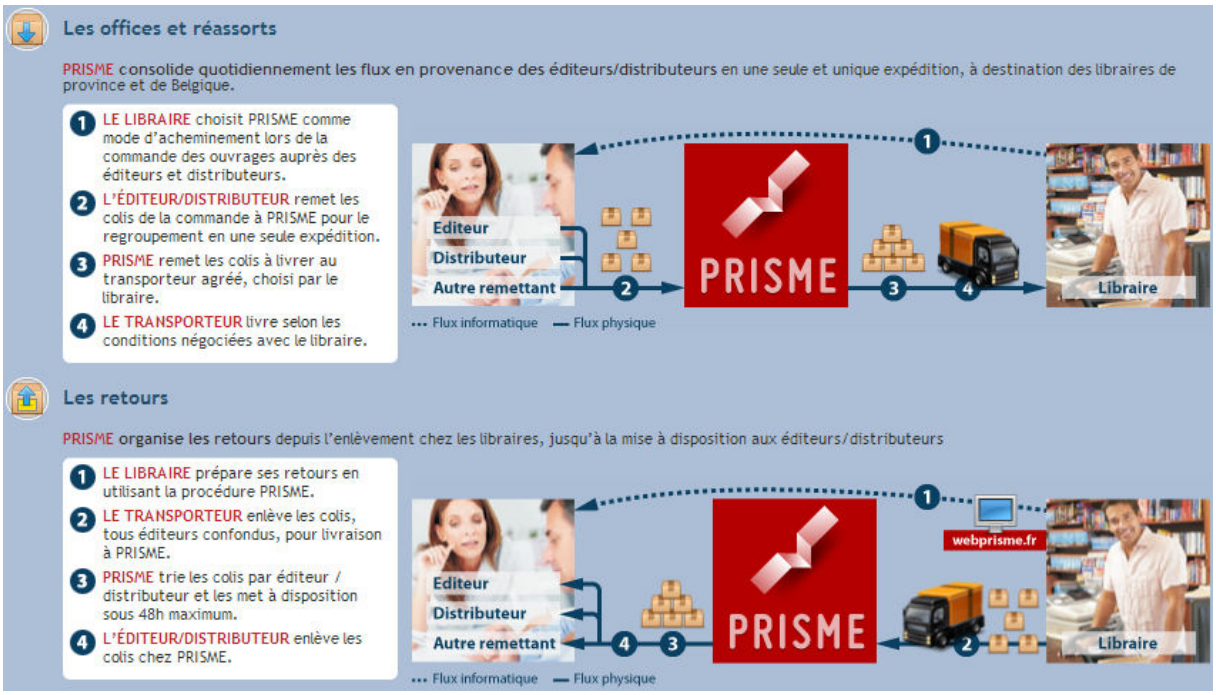


Figure 4-15 : Services PRISME (www.prisme.fr)

A La Rochelle, la maison d'édition Hachette s'appuie sur la plateforme de distribution urbaine ELCIDIS pour approvisionner ses clients sur le "dernier kilomètre" d'une partie de ces flux. Parmi les

clients qui reçoivent les livraisons Hachette via la plateforme ELCIDIS, nous avons retenu les cinq librairies les plus significatives en termes de volume de commandes sur La Rochelle qui ont accepté de se faire livrer via les transports en commun, en remplaçant le service habituellement assuré par la plateforme (leur localisation est fournie par le plan de la Figure 4-14). En annexe VI nous proposons une synthèse des interviews faites à ces cinq libraires afin de mieux connaître leurs modalités d'approvisionnement.

4.5.3 Mise en œuvre de l'expérimentation

4.5.3.1 ***C`ntraintes règlementaires, `rganisati`nnelles et techniques***

Aspects réglementaires. La loi impose une séparation entre les personnes et les marchandises dans le cadre d'un transport mutualisé. Cependant dans le cadre de cette expérimentation, la quantité de marchandises emportée à chaque tournée était suffisamment faible et sous surveillance pour éviter de délimiter une zone spéciale. La mise en œuvre de cette modalité de transport de marchandises via le bus a comporté un encombrement équivalent à une personne empruntant le transport en commun avec une poussette d'enfant. En fonction de la quantité de marchandises pouvant être transportée dans une éventuelle phase ultérieure, une autorisation devra donc être demandée auprès de la préfecture.

Au niveau des livraisons. Les délais de livraison doivent être respectés par les livreurs. En cas d'impondérables, aucune sanction ne pourra être retenue contre le livreur. La nature des produits ne doit pas changer pendant le transport. Si des produits sont abimés durant le transport de l'expérimentation, le livreur prendra à sa charge les dégâts occasionnés. Cependant, si les dégâts ont été faits avant la prise en charge par le livreur, aucune sanction ne pourra être retenue contre le livreur.

Au niveau des arrêts. Il ne peut pas y avoir des marchandises au niveau des quais du bus. Aussi bien par mesure de sécurité que par respect pour les usagers du bus, l'expérimentation n'intègre en aucune façon une dépose des colis sur le quai sans surveillance.

Au niveau de la ligne de bus et de la RTCR. L'expérimentation ne doit pas gêner le fonctionnement habituel de la ligne. Compte tenu de la capacité de livraison, le service de transport ne devrait pas subir de modifications notables. La mise en place de cette expérimentation ne doit pas forcer la RTCR à modifier la structure interne du bus, ou à aménager une zone particulière pour les livraisons.

4.5.3.2 ***Engagement des acteurs***

Cette expérimentation a fait intervenir différents acteurs :

- Proxiway, société exploitante la plateforme logistique urbaine Elcidis,
- la régie des Transports Communautaires Rochelais (RTCR),
- les 5 libraires du centre- ville,
- l'Eigsi, Ecole d'Ingénieurs à La Rochelle,
- la Communauté d'Agglomération de La Rochelle (CDA).

La CDA a apporté son soutien à cette expérimentation, non au sens économique du terme mais en favorisant la communication entre les parties prenante. Les livreurs ont été amenés à circuler sur le réseau en commun à titre gracieux. L'accord de la CDA a permis à la RTCR de relayer cette gratuité (Annexe VII).

Proxiway a mis à disposition une zone de préparation des commandes au sein de la plateforme Elcidis, suite à la réception des marchandises des transporteurs.

L'Eigsi a veillé à l'intégrité des produits et a mis à disposition deux préparateurs/livreurs. La quantité de marchandises mouvementée pendant l'expérimentation a été assez faible pour réduire au maximum l'impact potentiel sur le taux de service passagers et suffisamment important pour analyser les conséquences de ce nouveau systeme sur ce niveau de service. Les ressources mises en œuvre pour l'expérimentation ont été deux diables (Figure 4-16), d'un poids d'environ 14 Kg et d'une charge maximale de 250 kg.

Figure 4-16 : type de remorque pour le transport capillaire

4.5.4 Deroulement de l'expérimentation

L'expérimentation s'est déroulée du 11 au 21 septembre 2012. L'activité de préparation des commandes démarrait vers 9h30 à ELCIDIS et était exécutée par deux préparateurs/livreurs. Cette activité durait environ 10 minutes. Les livreurs rejoignaient l'arrêt de la ligne Illico Aquarium, adjacent à la plateforme ELCIDIS pour monter dans le bus et rejoindre l'arrêt(s) associé(s) au(x) libraire(s) concernée(s) par la tournée préparée. L'annexe VIII propose un reportage photographique de l'exécution des opérations de livraisons pour chaque jour de l'expérimentation, avec indication des temps nécessaires au déroulement des opérations. De manière globale, une fois rejoint l'arrêt le plus proche au commerce à livrer, le temps nécessaire pour effectuer la livraison et revenir à l'arrêt a été d'environ 10 minutes. Les temps d'attente à l'arrêt n'ont jamais dépassé 13 minutes environ, car la fréquence de passage des bus aux arrêts de la zone concernée par l'expérimentation était de 10 minutes, auxquels peut s'ajoute quelques minutes additionnelles de retard.

4.5.5 Bilan de l'expérimentation

4.5.5.1 ***Bilan quantitatif***

Le tableau 4-23 synthétise le déroulement de l'expérimentation et présente les quantités livrées durant les huit journées de l'expérimentation (les libraires sont fermés le lundi et ELCIDIS le samedi). Soixante-six colis ont été livrés pour un poids d'environ 800 kg, soit l'équivalent du chargement d'un porteur de 3,5 tonnes. Ce flux ne représente qu'une partie des livraisons de l'éditeur Hachette à destination des 5 libraires rochelais. En fait, ce flux représente entre 5 et 10% des livraisons réalisées auprès des libraires. Le bilan de l'expérimentation est positif dans la mesure où les taches prévues pour la réalisation des livraisons via les transports en commun se sont déroulées de manière fluide.

DATE	CLIENT	COLIS (n)	POIDS (kg)	CLIENT	COLIS (n)	POIDS (kg)	CLIENT	COLIS (n)	POIDS (kg)	CLIENT	COLIS (n)	POIDS (kg)		
11/09/2012 Mardi	Calligrammes	9	144	Les saisons	1	6	Mille Sabords	5	87	/	/	/		
12/09/2012 Mercedi	/	/	/	Les saisons	1	9	/	/	/	/	/	/		
13/09/2012 Jeudi	Calligrammes	3	48	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
14/09/2012 Vendredi	Calligrammes	4	67	Les saisons	1	12	Mille Sabords	2	32	/	/	/		
18/09/2012 Mardi	Calligrammes	9	113	/	/	/	Mille Sabords	5	67	Maison de la Presse	1	13		
20/09/2012 Jeudi	Calligrammes	4	59	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
21/09/2012 Vendredi	Calligrammes	4	53	/	/	/	Mille Sabords	3	41	Maison de la Presse	2	22		
	Tot Parti els	33	484		3	27		15	227		3	35		
													COLIS tot (n)	66
													POIDS tot (kg)	773

Tableau 4-23 : grille résumant des livraisons effectuées dans la période d'expérimentation (client/n colis/poids)

4.5.5.2 ***Bilan qualitatif***

Le bilan de cette expérimentation doit être établi au regard des objectifs qui avaient été fixés. En ce qui concerne le second objectif, la validation du modèle conceptuel développé dans CGOODS, nous pouvons affirmer qu'il a été atteint dans un contexte certes très restreint. L'étude a consisté à instancier une forme particulière et limitée du modèle. Néanmoins si le modèle capillaire est proposé dans une forme simplifiée, cette forme est adaptée au contexte rochelais et s'inscrit parfaitement dans les schémas logistiques proposés par le modèle conceptuel.

En ce qui concerne le premier objectif, à savoir, de démontrer la faisabilité technique de la mise en œuvre d'un service de transport mixte passagers / marchandises permettant de rationaliser l'utilisation des infrastructures d'un transport en commun, il est difficile d'affirmer s'il est atteint sans analyser les retours des différentes parties prenantes.

- Les passagers de la ligne Illico. Le point de vue des passagers du bus sur l'expérimentation est partagé entre curiosité et indifférence. La plupart d'entre eux n'a pas du tout été dérangée par la présence des diables, des livreurs et des colis. En revanche, une réflexion émergeait très souvent : les bus circulant sur la ligne etant très souvent vides, était-il vraiment nécessaire de déployer des moyens de transport disposant d'une telle capacité pour assurer le service ? Nombreux parmi eux ont observé que cette activité de livreur pourrait représenter une opportunité d'emploi pour ceux qui ne disposent pas de permis de conduire.

- Les commerçants. Classiquement, le point de vue des commerçants est assez mitigé sur l'utilité de cette expérimentation et plus généralement sur l'utilité d'intervenir sur la logistique du dernier kilomètre. Selon eux, il s'agit d'une partie de la chaine qui est peu significative et qui est déjà assurée de manière très efficace, ainsi toute modification pourrait difficilement apporter une valeur ajoutée. Les libraires ont très peu conscience de l'impact environnemental que leurs livraisons génèrent. Néanmoins, il s'agit là d'un véritable frein au changement dans la mesure où toutes les livraisons ont été assurées dans les temps et qu'aucune dégradation du service n'a été notée.

- L'operateur de la plateforme Elcidis. Le point de vue de PROXIWAY est plutôt positif sur cette modalité de livraison et met l'accent sur le constat que les livraisons urbaines sont en pleine évolution. Traditionnellement, la plateforme reçoit des colis assez volumineux et assez lourds et en palettes entières mais depuis un certain temps, PROXIWAY a noté une évolution dans son activité et une augmentation des réceptions associées aux achats via Internet et à la messagerie express. Ce type de livraisons est associé à des contraintes et des exigences différentes. Pour rester concurrentiel, PROXIWAY est conscient de devoir adopter de nouveaux schémas logistiques.

Diriger une partie des flux vers les transports en commun offre une alternative intéressante par rapport aux tournées classiques assurées par des véhicules légers. D'autres scénarii comme les cargo-vélos pourraient être étudiés.

- Les chauffeurs de bus. Les chauffeurs se sont montrés plutôt méfiants. Cette attitude démontre combien il est important de bien communiquer sur les objectifs et conditions de ce type d'expérimentation qui interfèrent directement sur leur métier. Pour autant, après les premiers jours, ils se sont montrés pour la plupart collaboratifs.

- Les préparateurs/livreurs. Le point de vue de ceux qui ont assuré le travail de préparateurs/livreurs est surement très enthousiaste; ils ont évidemment apprécié la relation avec le client dans ce type d'activité et l'importance du dialogue avec tous les autres parties impliquées dans la chaine du transport du dernier kilomètre.

Compte tenu de ces témoignages, dont certains ont été recueillis objectivement par un journaliste (vidéo réalisé le 18 septembre 2012 par Monsieur Samuel Grasset de CELATV et disponible sur le site www.cela.tv, TNT canal 20, rubrique grille), nous pouvons raisonnablement affirmer que le premier objectif a été atteint: toutes les livraisons ont été assurées via la RTCR sans pour autant détériorer le service apporté aux usagers.

4.5.5.3 ***Limites de l'expérimentation***

Afin de pouvoir convaincre l'ensemble des parties prenantes au déploiement de l'expérimentation, nous avons dû émettre un certain nombre d'hypothèses simplificatrices par rapport à la conceptualisation proposée dans le chapitre précédent. Le succès de l'expérimentation résulte peut-être de ces simplifications (pas de stock aux arrêts, pas de vélo cargo aux arrêts, etc.). Dès lors il est difficile de généraliser d'une manière trop basique les résultats obtenus pour estimer les gains potentiels que représentent les solutions mixtes.

Pour autant cette étude constitue un premier pas. Dans le futur de nouvelles expérimentations sur la mixité dans le transport seront conduites à travers des instanciations de plus en plus complexes du modèle conceptuel.

L'avenir de la mixité dans le transport urbain se dessinera peut-être dans une nouvelle offre de transport urbain low-cost, comme c'est déjà le cas pour le transport aérien, en conséquence du co-voiturage de passagers et de marchandises.

Toutefois, en tant que dernière phase d'acheminement des marchandises, la livraison urbaine constitue une étape clé de la réflexion sur l'optimisation de la chaîne logistique. Soumise à une législation importante (Grenelle de l'environnement, loi SRU, Laure,...), la problématique du dernier kilomètre amène petites et grandes entreprises à pousser l'innovation toujours plus loin pour conjuguer réponse aux obligations règlementaires et efficacité du service. Dans ce contexte très ouvert, il est plus que jamais primordial, pour les villes, d'expérimenter la mixité dans le transport urbain afin d'apporter des débuts de réponses à ces questions et d'être ainsi partie prenante dans le développement de ce nouveau mode.

4.6 Conclusion

Notre système de transport urbain mixte assure des activités de transport et de logistique plus performantes, une circulation et un traitement de l'information qui favorisent le développement de la co - modalité, et par conséquent une meilleure maîtrise de l'énergie dans le domaine des transports, une réduction des temps de parcours-manutention-stockage et enfin une traçabilité des marchandises facilitée. Il constitue logiquement, de notre point de vue, une réponse prometteuse. Les impacts de ce système au détriment du véhicule utilitaire motorisé sont très positifs.

Quels sont les apports de notre système sur l'économie, la société et l'environnement ?

Faible coût et réduction des nuisances. Il s'agit des impacts immédiats de ce système, qui doivent encore être mieux connus et appréciés par la collectivité. Le coût privé, qui comprend l'achat des véhicules, leur entretien-réparation, l'énergie d'alimentation, l'assurance..., est considérablement réduit pour les cargo-tricycles en comparaison avec les véhicules utilitaires motorisés (§4.4.3).

Si l'on tient compte de la valeur du temps, il faut s'intéresser aussi aux vitesses de porte à porte des différents modes : 13 km/h en bus, 14km/h en cargo-tricycle, contre la vitesse de15 à 35 km/h en véhicule utilitaire motorisé. En zone urbaine dense, les performances des modes mécanisés sont finalement très proches; de plus en complémentarité avec les transports collectifs, le cargo-tricycle est presque toujours plus rapide que le véhicule utilitaire motorisé. En estimant grossièrement que, pour un usage utilitaire, la valeur du temps est identique pour chaque mode, le cargo-tricycle demeure environ trois fois moins coûteux. Enfin, le recours à notre système contribue à réduire le budget consacré au transport urbain.

Les cargo-tricycles ont une très faible consommation d'énergie au km parcouru. Ils ne produisent pas non plus de bruit, de quoi contribuer à réduire le stress. Enfin, il n'y a pas que peu de pollution. Certes, les déplacements de ces usagers ne concernent que des petits trajets, mais ce sont justement ceux-ci

qui sont les plus polluants (Morcheoine et Orfeuil, 1998). De plus, le livreur qui conduit un cargo-cycle inhale environ deux fois moins de gaz nocifs qu'un automobiliste, car ce dernier est plus proche des polluants qui stagnent au niveau du sol surtout s'il reste bloqué dans son habitacle en cas d'embouteillage.

Une solution peu accidentogène. Grâce à leur faible inertie, les cargo-tricycles réduisent le risque d'insécurité routière, car l'énergie cinétique de ces moyens de transport est loin d'être le facteur principal d'accident. Les écarts sont gigantesques : d'un facteur 10 pour un cargo-tricycle roulant à 14km/h, à plus de 500 pour un véhicule utilitaire motorisé ne roulant pourtant qu'à 30km/h (Heran, 2000).

De plus, quand les usagers non motorisés sont nombreux, ils deviennent plus visibles pour les automobilistes et entrent dans un rapport de force favorable qui contribue à accroître fortement leur sécurité et finalement celle de tous les usagers en modérant la vitesse de l'ensemble du trafic.

On a ainsi montré que dans le pays où les cyclistes sont nombreux, le risque de se déplacer à cargo-tricycle est beaucoup plus réduit que dans ceux dans lesquels ils sont rares : par exemple, un risque quatre fois moindre aux Pays-Bas qu'en Grande Bretagne pour une pratique vingt fois supérieure (Risser, 1999).Ainsi, les modes non motorisés méritent d'être encouragés puisque leur développement contribue à leur propre sécurité et même à celle des autres.

Une ville plus fluide. La consommation d'espace pour le stationnement est de 1,5m^2 par cargo-tricycle, cet espace est augmenté de 50% si l'on tient compte de l'espace de dégagement. Il est de 8m^2 par personne en véhicule utilitaire pour une place le long du trottoir et de 22m^2 pour une place en parking ou en ouvrage, soit 10 à 20 fois plus que pour le cargo-tricycle.

Concernant la consommation d'espace pour la circulation, les écarts sont moindres, car il faut tenir compte de la largeur pour se déplacer et des distances entre personnes ou véhicules : de deux pour un cargo-tricycle sur voies réservées à six pour un véhicule utilitaire motorisé.

On peut additionner ces deux consommations d'espace en les mesurant en m^2/h. Pour un trajet moyen de livraison et retour, on obtient alors des écarts considérables : de 12 en cargo-tricycle jusqu'à 90 pour le véhicule utilitaire motorisé.

Le système proposé est ainsi économique en espace et son développement réduit la congestion et favorise finalement les déplacements de ceux qui demeurent contraints d'utiliser une voiture. Certaines entreprises en ville découvrent l'intérêt d'inciter leurs salariés, dans le cadre d'un plan de déplacements d'entreprise (PDE), à effectuer les trajets domicile - travail avec des modes moins

gourmands de places de parking. Elles peuvent ainsi construire des nouveaux bâtiments sur l'espace libéré et même éviter un déménagement (voir le cas de ST Microelectronics à Grenoble[19]).

Vers des modes autogènes. En se déplaçant grâce à sa force musculaire, assisté par une batterie électrique, le livreur en cargo-tricycle dépend de manière mineure du moteur. Le cargo-tricycle dispose d'une mécanique simple et très fiable qu'il faut certainement entretenir, mais qui procure une grande autonomie.

L'amélioration de l'accessibilité. Par rapport aux autres modes, les cargo-tricycles sont assez rapides en zone urbaine dense et se révèlent être les plus pertinents pour assurer l'accessibilité rapprochée. Or la principale justification de l'usage des véhicules utilitaires motorisés est la portée des déplacements qu'ils autorisent. Ces véhicules empruntent les voies rapides et les artères très frequentées, qui favorisent en fait l'accessibilité éloignée. Les véhicules utilitaires motorisés se déplacent vite et loin, mais ils souffrent de devoir traverser les boulevards ou de passer d'un quartier à l'autre. Circuler avec ces véhicules se fait au détriment de l'accessibilité rapprochée, à cause des effets de coupure que la structure de la ville dense provoque (Heran, 2000).

Un intérêt socio-économique. Les impacts à plus long terme sont beaucoup moins connus et pourtant très substantiels. La réduction du budget consacré au transport urbain, de la part des transporteurs, pourrait être compensée par une contribution de ces acteurs au financement des transports collectifs. Cette contribution pourrait avoir comme effet une réduction du coût du billet des transports collectifs pour les usagers. Une politique encourageant notre système de transport permet ainsi aux plus démunis de circuler à moindre frais en utilisant les transports collectifs. C'est là un réel facteur de réduction d'inégalités sociales.

En outre, cela engendrerait un surcroît de pouvoir d'achat des citoyens qui pourrait être utilisé pour acquérir des nouveaux services. Or les services génèrent l'emploi. Ainsi, en se substituant progressivement au système de transport conventionnel, le système de transport urbain mixte crée plus d'emplois (§4.4.5)

Sur un autre registre, en réduisant nombre de nuisances – bruit, pollution, congestion, accidents, consommation d'espace..., le système de transport mixte contribue fortement à rendre la ville accueillante et conviviale, en un mot attractive.

La réduction du stress et des maladies respiratoires et cardio-vasculaires améliore la santé publique. Il en résulte, en définitive, un allongement de la durée de vie. La meilleure santé du personnel, la

[19] http://www.oree.org/docs/groupes-de-travail/transports/pde-stmicroelectronics.pdf, consulté le 28/06/12

réduction de la congestion et des accidents de la circulation sur les trajets de livraison contribuent aussi à améliorer la productivité au travail.

Enfin, une meilleure accessibilité rapprochée engendre un accroissement des relations de voisinage, une densité de contacts qui favorise la vie économique comme la vie en société.
En définitif, le système de transport urbain proposé a la principale vertu de contribuer à l'essor d'un urbanisme de haute qualité environnementale, suffisamment dense et mixte, avec peu de nuisances et une richesse de relations sociales. Des cercles vertueux s'installent à tous les niveaux, renforçant encore ces tendances (Heran, 2001).

Les villes européennes largement ouvertes aux piétons et aux cyclistes, où au moins 40% des déplacements se font à pied ou à vélo comme à Amsterdam, Brême ou Friburg, sont loin d'être en déclin. Elles conjuguent un certain dynamisme économique avec une qualité de vie urbaine attrayante. Nous illustrons une synthèse des principaux avantages de ce système dans le schéma de la Figure 4-17.

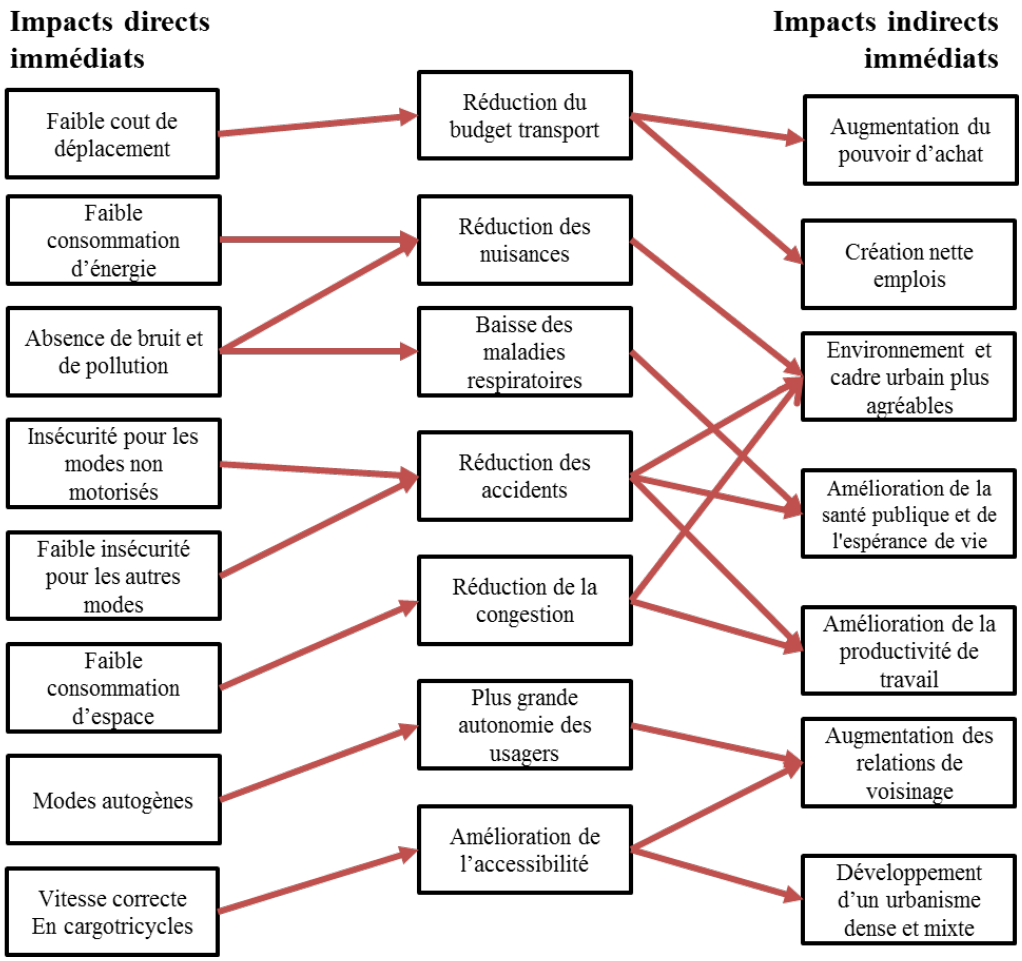


Figure 4-17 : schéma résumant les principaux impacts de l'introduction d'un système de transport urbain mixte (inspiré de Heran, 2000)

4.7 Bibliographie

B

Boujemaoui O, Floris T (2011) Audit d'expériences significatives en logistique urbaine en vue de l'élaboration d'un outil d'aide à la décision, Etude d'option – Systèmes de Production et de Logistique du 21 mars au 27 juin , Ecole des Mines de Paris

Breuil D, Graindorge T (2009) Trailblazer Evaluation Plan Deliverable D5.1, disponible sur www.trailblaizer.eu

C

CESI (2003) Il trasporto elettrico delle merci e la sua infrastruttura in ambito urbano : l'esempio della città di Milano. Implicazioni sul sistema elettrico, disponible su www.cesi.it

Château B, Bagard V, Crozet Y, Lopez-Ruiz H, Enrdata – LET (2008) Programme de recherche consacré à la construction de scenarios de mobilité durable : comment satisfaire les objectifs internationaux de la France en termes d'emission de gaz à effet de serre et de pollutions transfrontalières ?

Cicloville La Rochelle (2012) notes d' interview avec le gerant de Cycloville La Rochelle, Monsieur Chevalier J-M, siege de Cicloville, 20 avril

CIVITAS SUCCESS (2006) La Rochelle Rapport d'évaluation local

D

Darchambeau M (2012) L'activité de The Green Link, notes d'entretien telephonique avec le responsable de l'activité de The Green Link, M Darchambeau.

Dervaux M.H, Groret O (1999) Déplacements quotidiens : la périphérie toujours plus mobile. INSEE Île-de-France à la page. n°168. Avril. 4p.

E

Elcidis (2012) notes d' interview avec la responsable de la plateforme Mme Anne Chané, 1 juin, siege de Proxiway

G

Graindorge T (2012) Contribution à une méthodologie d'évaluation à priori des projets de transport urbain durable Université Bordeaux I, specialité : productique, 15 fevrier

H

Henriot F, Patier D, Bossin P, Geradin B (2008) Methodologie d'evaluation des innovations en matière de logistique urbaine, Rapport Final, PREDIT GO5 -Axe 3 : Logistique urbaine

Heran F (2000) Transport en milieu urbain : les effets externes négligés. Monétarisation des effets de coupure, des effets sur l'affectation des espaces publcis et des effets sur les paysages, La Documentation française.

Heran F (2001) La réduction de la dépendance automobile, Cahiers Lillois d'Economie et de Sociologie, n 37

Héran F (1996) avec la collaboration de Paques, A., Tostain, P., Metzger E. Les enjeux et les impacts d'une politique de ville cyclable. Étude réalisée par l'IFRESI pour l'ADEME. Lille. Juin. 116 p.

Honig K (2010) Evaluation de l'utilisation de vehicules électriques pour la distribution des marchandises depuis un centre de distribution urbaine - Application à la ville de Poitiers, Master II, Systèmes de Production et de Logistique, Ecole des Mines de Paris

I

International Energy Agency (2008) Energy technology perspective – Scenarios and Strategies to 2050, Paris, IEA Publications.

International Energy Agency (2009) Transport, Energy and CO_2, Moving toward sustainability, Paris, IEA Publications.

Ipsos Culture, OEL (2007) Situation économique de la librairie indépendante, étude réalisée pour le Syndacat de la Librairie Française, le Syndacat National de l'Edition et le Ministère de la Culture et de la Communication.

L

Lagrange, A (2012), La logistique urbaine en France : évolutions règlementaires & pratiques, actes de la semaine Athens, Ecole des Mines de Paris, 19 – 23 mars.

Lovelo (2012) notes d' interview telephonique avec le responsable de l'entreprise Lovelo, societé fabricante Le cargotricycle La Petite Reine.

M

Masson R, Trentini A , Lehuédé F, Malhéné N, Péton O, Tlahig H (2012a) Optimisation d'un système de transport urbain mixte passagers/marchandises, Roadef13e congrès annuel de la Société française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision, Angers, France 11 - 13 Avril

Masson R, Trentini A, Lehuédé F, Peton O, Tlahig H, Malhéné N (2012b) Optimization of a shared passengers & goods urban transportation network, ODYSSEUS 2012, 5th International Workshop on Freight Transportation and Logistics, May 21-25,Mykonos Island, Greece

Morcheoine A, Orfeuil J-P (1998) Transport, énergie, environnement. Modes de vie et comportements, Transports, n 390.

P

Papon, F (1999) La marche et la bicyclette dans les enquêtes ménages. Volume 3 : La marche et la bicyclette dans les grandes villes françaises. Rapport de convention pour le Ministère de l'Aménagement du Territoire et l'Environnement. Paris. Octobre. 250 p.

Papon, F (2001) " The walking classes in France ". 9th WCTR conference. Seoul, 25-27 Juillet.

T

Trentini A, Masson R, Lehuédé F, Malhéné N, Péton O, Tlahig H (2012) Assessment of a shared "passengers & goods" city logistics system, ILS 2012, Laval University, Quebec, August 30 - September 1

Y

Yélo (2008) La Rochelle invente tous les déplacements à la carte, Conseil informel des Ministres Européens des Transports, 1er et 2 septembre 2008, La Rochelle

CONCLUSION GENERALE

Cette thèse ne constitue qu'un apport dans cette problématique générale du transport urbain appelée à connaître dans le temps et dans l'espace une importance croissante. Résumons ses apports et ses limites, ce qui permettra ensuite de définir des thématiques d'approfondissement.

Nous avons dans un premier temps introduit le contexte et la problématique du transport de passagers et de fret dans la cité.

Quels sont les points saillants que nous pouvons retenir de ce panorama thématique ?

Le contexte du transport dans le milieu urbain a fortement évolué ces dernières années. L'avènement de l'automobile au début du siècle introduisit surtout au niveau des rues et des cités de nouveaux problèmes notamment de sécurité. Longtemps co-habitèrent des véhicules motorisés et des moyens hippomobiles; le transport de passagers, comme d'ailleurs celui des marchandises fut assuré par ces deux types de transport jusqu'à l'utilisation quasi exclusive avant-guerre des transports motorisés. Les premiers bus de passagers firent leur apparition et le transport des marchandises fut assuré par des moyens privés et/ou personnels. La faible densité du trafic conjuguée à une politique urbaine orientée vers la création de grands axes de circulation contribuèrent à occulter complètement la problématique des transports urbains. Les années passèrent et ce n'est que depuis une vingtaine d'années que ce problème de transports dans la cité prit une importance sans cesse croissante. Les raisons précises ont été détaillées dans la thèse.

Que peut-on en retenir ?

L'importance d'un déplacement de population vers l'urbain suite à des mutations campagnes-villes, l'augmentation du pouvoir d'achat qui a augmenté les besoins et les activités de consommation, les modifications de l'urbanisation (rôle des banlieues) qui ont accru les transports de personnes… Deux facteurs majeurs et contradictoires ont accéléré cette problématique et le besoin de rechercher des solutions nouvelles : d'une part la demande et l'offre des marchandises proposées en milieu urbain et d'autre part l'accroissement des exigences en matière de qualité de vie.

En ce qui concerne la demande et l'offre : la demande de marchandises en ville correspond à un mouvement beaucoup plus général, celui d'une exigence croissante des consommateurs : exigence en termes de qualité, de délais, de diversité de l'offre… Il s'agit donc, en milieu urbain, de répondre à cette diversité tout en respectant des délais toujours plus courts : il est aisé de comprendre que ce mouvement conduit à une nouvelle donne en matière de distribution des produits en multipliant des déplacements (diversité) de plus en plus contraints (délais). Quant à l'offre, elle provient d'industriels

et surtout de prestataires qui doivent livrer en temps et en heure une demande urbaine de plus en plus exigeante. Leurs clients indirects sont des commerçants ou des zones de consignes. Les principales contraintes consistent à répondre à ces demandes en minimisant les zones de stockage (coût de l'urbanisme) et les délais de livraison. De ce fait, les demandes vis-à-vis des prestataires seront des livraisons fréquentes en petites quantités et répondant à des contraintes fortes en termes de délais. Le domaine de la grande distribution en milieu urbain est très significatif de cette évolution.

Face à cet état de fait apparaît le second facteur : *les exigences en matière de qualité de la vie*. Celles-ci font partie d'un grand mouvement écologique dont l'origine médiatique remonte à une trentaine d'années. Il s'agit d'une part du confort et de la qualité de vie à court terme et de la préservation de la planète à moyen et long terme.

Quelles conséquences sur le transport urbain ?

Le premier point soulève les problèmes d'esthétique urbaine, de bien-être, de bruit, de confort d'accès au sein de la cité. On en déduit très rapidement les conséquences sur nos études en matière de transport : préservation des centres-villes et des points historiques sans pollution visuelle, facilité de recueil des marchandises à n'importe quel point de vente, refus du bruit lié aux embouteillages, aux livraisons nocturnes, aux gros transports,…
Le second point, celui lié au développement durable se pose surtout dans notre cas en termes de CO_2 et autres gaz polluants. Tout ce que nous avons dit en termes d'évolution de l'offre et de la demande plaide en faveur d'un accroissement de trafic et de déplacements. La contrainte environnementale va dans le sens contraire en limitant autant que faire se peut les déplacements dans la cité. Cette évolution dessine ainsi un avenir dont les contraintes et objectifs sont contradictoires et tout pousse à penser que ces exigences opposées n'iront qu'en s'amplifiant.

Dès lors, que peut-on faire ?

Une solution de facilité à court terme conduit à réglementer les transports. La réglementation peut avoir un impact public, voire politique, toutefois elle ne résout en rien les contradictions présentées précédemment; de plus, mal documentée ou mal instrumentée, la réglementation, qu'elle soit locale ou nationale, peut contribuer à perpétuer désordre et confusion sans que l'on en tire d'apprentissages organisationnels.

Des actions en amont de la sphère du transport semblent tout d'abord souhaitables. En matière de transport de marchandises, les interactions reconnues entre les systèmes productifs et les systèmes de transport plaident en effet pour des actions publiques différenciées directement au niveau de la sphère productive, afin d'intervenir sur les déterminants des choix logistiques et de transport des firmes. De même, en matière de transport de personnes, l'influence de l'urbanisme ou de la géographie des

emplois plaide pour des actions plus transversales. La question des déterminants des choix de transport est alors clé pour envisager d'autres solutions. Mais plus largement, la question de la réduction même du transport doit également être posée.
Ensuite, nous avons à notre disposition les solutions suivantes: *l'utilisation d'outils locaux d'amélioration*, *le recours à de nouvelles technologies d'infrastructures et d'informations*, *la mise en œuvre de concepts nouveaux, la définition de nouvelles organisations urbaines*,…

Dans cette thèse, nous avons privilégié le dernier aspect car il nous paraissait le plus généralisable à toute situation urbaine mais comme nous le montrerons ultérieurement, l'apport des autres solutions ne peut que procurer des améliorations à la configuration urbaine que nous avons proposée.

L'utilisation d'outils d'amélioration fait référence à des logiques locales. Il ne s'agit pas d'élaboration d'outils à portée générique; à structure de transport donnée, ils consistent en une amélioration consécutive à la mise en place d'un outil d'aide à la décision ou d'une nouvelle organisation de structures de transport. A titre d'exemple, les modèles de tournées de véhicules : il s'agit, dans notre contexte, de distribuer à partir d'un ou de plusieurs centres de stockage, des demandes géographiquement dispersées en privilégiant un critère d'optimisation. Ce type d'approches est intéressant en ce sens qu'il oblige à formaliser un problème, à en rechercher les données quantifiées et à expliciter les critères d'évaluation et cela avec toutes les parties prenantes concernées par ce problème.

Cela dit, on atteint très vite les limites de cette formalisation : les données sont souvent non disponibles ou incertaines (comme par exemple les durées de transport dans un environnement urbain congestionné), les hypothèses peu réalistes (disponibilité assurée de toutes les ressources physiques et humaines) et les critères d'optimisation multiples voire contradictoires (temps minimum de distribution, respect des délais demandés, minimum des ressources nécessaires…). Il en est de cette approche modélisatrice sur les tournées comme avec d'autres modèles; elle constitue un guide de compréhension pour se poser les bonnes questions, pour éclairer la problématique, pour proposer des solutions à partir desquelles les décideurs, en réintroduisant le vécu réel de la situation, définiront des solutions plus rationnelles et économiques que celles dictées par le simple bon sens.

Dans ce développement consacré à ce que nous avons appelé les outils d'amélioration liés aux logiques locales, nous pourrions citer de très nombreux exemples de nature hétérogène : nous avons évoqué les modèles de tournées mais par exemple les outils de gestion d'une plateforme ou d'un centre de stockage de marchandises constituent aussi des solutions d'amélioration locale.
Nous avons ainsi toute une panoplie d'outils, d'approches, de méthodes utilisés dans différents domaines de la logistique industrielle et qui, appliqués au transport urbain de marchandises, auront des apports locaux indiscutables.

Le second grand type de solutions a trait aux nouvelles technologies d'infrastructures et d'informations. Le rapport Stern, en 2006, soulignait l'intérêt de l'innovation comme instrument pour les technologies alternatives. Et déjà en 2001, le livre blanc stipulait que "l'innovation technologique est une opportunité à saisir pour intégrer les modes de transport, optimiser leur performance, les rendre plus sûrs et contribuer à rendre le système européen de transports compatible avec le développement durable des transports".

L'intérêt pour l'innovation dans le domaine du transport ne constitue pas cependant une nouveauté. Il est néanmoins accru par les réflexions issues de l'économie de la connaissance et il trouve son actualité en France avec la mise en place des pôles de compétitivité, dont certains sont dédiés au transport ou à la logistique.

Il existe diverses formes d'innovation. L'innovation technologique via les technologies de l'information est mise en avant. Elles ont permis via Internet, la conception de nouvelles solutions de distribution sur la base de stockage consignation de produits, de livraisons à domicile, de points relais… Ces solutions sont nouvelles, en voie d'expérimentation mais elles dessinent des schémas urbains vraisemblablement irréversibles et vont avoir une influence déterminante sur la distribution urbaine de marchandises.

En parallèle, les moyens purement matériels liés au transport et au stockage de marchandises ont évolué de façon très importante ces dernières années : automatisation d'entrepôts, véhicules moins polluants, plus silencieux,… C'est le pari du " fret intelligent ".

Les progrès en termes de technologies d'infrastructures et d'information n'en sont encore qu'à leur début. De nombreuses recherches sont menées aujourd'hui sur les véhicules de demain et les communications véhicules-infrastructures.

De nombreuses innovations sont amenées à voir le jour parmi lesquelles : le véhicule sans chauffeur piloté automatiquement en interaction avec les autres véhicules et l'infrastructure routière, la gestion des infrastructures, par exemple les zones de livraisons pilotées par GPS, les tournées offre-demande entièrement gérées par GPS, les demandes de transports passagers et marchandises suivies en temps réel par Internet et GPS,…

L'automatisation des transports peut jouer un rôle considérable sur la congestion urbaine : circulation à vitesse constante, utilisation de la totalité de la voirie, sécurité renforcée,… Il s'agit là de scénarios d'avenir mais de premières configurations existent et il est évident que les développements de ces prochaines années vont voir émerger des solutions esquissées ci-avant; le mouvement est là aussi irréversible; ses retombées sont à attendre à moyen et long termes mais il est évident que celles-ci

seront de nature à modifier très sensiblement les données des transports urbains, passagers comme marchandises, dans la cité.

Dès lors, les innovations technologiques ne peuvent pas suffire mais doivent être intégrées à d'autres solutions, complémentaires les unes des autres.

Elles peuvent ainsi prendre la forme d'un processus, d'une technique, d'un système, d'un produit, d'un service, d'une application, d'un mode d'organisation… Or, on ne considère souvent que la dimension "industrielle" (produits, technologies, processus…) ou "organisationnelle" des innovations, en négligeant leurs dimensions "servicielles" et " systémiques ".

" Dans le contexte actuel, en effet, l'enjeu crucial, pour les acteurs économiques comme pour les décideurs publics, est de concevoir des solutions (intégrées ou " globales ") radicalement innovantes de façon à répondre de façon cohérente et durable aux besoins économiques et humains essentiels tout en contribuant à préserver l'environnement " (Hamdouch et Depret, 2008)[20].

Comment intégrer ces solutions ? Comment coordonner les solutions sectorielles pour qu'elles soient compatibles entre elles ?

Pour répondre à cette problématique nous avons envisagé la définition de nouvelles organisations urbaines, la mise en œuvre de concepts nouveaux. La plupart de ces concepts ont émergé devant la prise de conscience des besoins du fret urbain mais bien évidemment leur émergence et leur mise en œuvre ont été facilitées par le développement d'outils et des évolutions dont nous avons parlé précédemment.

Parmi ceux-ci, le développement des centres de distribution urbaine (CDU) et plus généralement des unités de regroupement de marchandises est le plus classique. Au lieu de laisser les professionnels effectuer leurs tournées indépendamment les uns des autres, les CDU, en regroupant les références permettent d'effectuer des tournées multi-clients et, de ce fait, contribuent à l'amélioration du remplissage des moyens de transport, ce qui, toute chose égale par ailleurs, ne peut que constituer une amélioration indiscutable au problème du fret. Autre concept intéressant qui, lui aussi, va dans le sens des regroupements de marchandises : les livraisons via Internet. L'achat par Internet se développe considérablement, notamment dans la grande distribution et permet des regroupements de colis à distribuer qui évitent ou limitent les déplacements classiques individuels. Les solutions finales se diversifient : livraisons à domicile ou livraisons hors domicile mais dans tous les cas se dessine l'idée de regroupement. Il faut noter aujourd'hui le développement de la notion de consignes, sorte de CDU

[20] Hamdouch A., Depret M.-H. (2008) La dynamique d'émergence et de développement des clusters et réseaux d'innovation dans les nouvelles technologies et les nouveaux services liés à l'environnement, 3eme Forum L'esprit de l'innovation - Colloque international « Services, innovation et développement durable », Poitiers, 26-28 mars, 43 p.

locaux qui permettent des regroupements proches des usagers d'où l'idée d'une solution globale de déplacements plus efficace que celle obtenue avec le système classique du magasin intro ou extra muros vers les particuliers. Parmi les concepts également nouveaux, on peut citer les modes de locomotion. Indépendamment du développement des transports dits plus propres (électriques ou GNV), on a vu l'apparition de petits transports par tricycles ou même par caddys assurant les distributions capillaires.

Beaucoup d'autres systèmes voient le jour : utilisation des spécificités urbaines (rivières, mer…), mise en place de transports multi-canaux (fer-route ou bateau-route). Les développements sont ainsi très rapides, les expériences nombreuses même si, comme nous l'avons vu, aucune à elle seule ne peut faire la preuve de son indiscutable supériorité.

Nous avons ainsi présenté les solutions expérimentées de par le monde utilisant de près ou de loin les notions de mutualisation ou de mixité. L'une des grandes difficultés que nous avons rencontrée, réside dans le fait que les évaluations complètes et systématiques des performances ne sont pas établies et qu'il n'existe pas non plus de protocoles clairs qui permettent d'établir des conclusions scientifiques sur la base de ces expérimentations parcellaires. C'est ce qui nous a amenés, dans notre recherche, non pas à privilégier l'étude d'une solution ponctuelle plutôt qu'une autre mais à s'orienter vers un concept beaucoup plus englobant et indiscutable dans ses résultats potentiels : l'utilisation mixte de transports déjà existants dès lors que ceux-ci n'étaient pas saturés.

Cette orientation est fondée sur tout ce qui précède en matière d'objectifs et de contraintes du fret urbain et sur la certitude que l'utilisation de moyens de transport déjà existants était de nature à résoudre de façon générique notre problématique. Dans une vision à plus long terme, il est probable que la priorité continuera à être donnée à l'augmentation des transports publics de passagers d'où la pertinence de l'approche consistant à utiliser ces moyens de plus en plus présents.

Cela dit, même positionnées dans ce champ de recherche, les solutions d'expérimentation étaient multiples. Nous avons choisi d'en privilégier une, justifiée par l'importance de la ville moyenne qui servait de champ d'expérimentation, de prototype en cours d'expérimentation et de test de la faisabilité technique de nos propositions.

Venons-en à notre système de transport urbain mixte. Il s'agit donc d'utiliser un transport public existant en profitant du volume disponible laissé par les passagers pour transporter, à partir d'un centre de stockage type CDU, des marchandises dans des endroits centraux d'où elles sont reprises pour arriver aux destinataires finaux via des transporteurs capillaires.
Nous avons examiné successivement trois aspects de cette approche modélisatrice : *l'intérêt du modèle, ses limites qui peuvent être facilement levées et les limites plus structurelles qui demanderaient des élargissements à cette thèse.*

Notons tout d'abord et cela confirme le premier point sur l'intérêt du modèle de cette conception du transport mixte que nous avions imaginée il y a plus de trois ans ; elle a trouvé depuis des débuts d'expérimentation (notamment à Paris avec le tramway), ce qui montre l'aspect pionnier et quelque peu visionnaire de notre travail de recherche.

L'intérêt majeur de notre modélisation a été de démontrer sa faisabilité technique et gestionnaire.

En ce qui concerne la technique, le problème est peu complexe car il ne s'agit que d'insérer des structures roulantes dans un transport public : on a encore beaucoup de solutions techniques à trouver ou à affiner mais elles semblent facilement réalisables : fixation des caddies dans le bus, sécurité pendant le transport, strapontins adaptés, systèmes de descente rapide des caddies (à l'instar de ce qui se fait maintenant pour les véhicules des personnes à mobilité réduite),…
Les aspects matériels nous semblent ainsi être du second ordre. Par contre, nous avons fait de nombreuses hypothèses dans ce modèle, hypothèses que l'on peut juger limitatives mais qui n'étaient destinées qu'à concevoir un système complet.

Lever certaines hypothèses ne revient qu'à modifier le système dès lors que les spécificités physiques, réglementaires ou même gestionnaires de la cité, le permettent. Donnons quelques exemples.
Nous avons supposé une synchronisation entre les arrivées des bus et les distributions capillaires. Supposons qu'aux arrêts concernés une aire de stockage sur l'arrêt de bus ou en sous-sol soit permise. Nous pourrions alors désynchroniser les départs des tricycles capillaires avec les arrivées des bus et, de ce fait, donner un degré de liberté supplémentaire au système global. La problématique complexe du retour des caddies serait elle-même simplifiée.
Autre exemple : la création de centres de consignation au niveau des arrêts de bus : ce système enlèverait une partie voire la totalité du transport capillaire secondaire. Autre système simplificateur inspiré d'une expérience parisienne : les bus de marchandises ayant leur horaire propre et circulant entre les bus de passagers avec ou non des systèmes de capillaire associé; une variante : un bus de nuit ou circulant très tôt le matin.

En ce qui concerne l'aspect gestionnaire, un apport intéressant est l'analogie qui a été établie entre les aspects de gestion industrielle et ceux de la gestion de distribution. *L'utilisation des Plans Directeurs de Distribution (PDD) et tous les développements en matière de planification et d'ordonnancement constituent une voie féconde qui reste encore à développer.*

Venons-en maintenant à toutes les difficultés rencontrées qui ont en partie limité l'expérimentation en temps réel et qui pourraient constituer des thèmes de recherche ultérieurs.

Le choix d'autres scénarios de mixité. Nous avons étudié un scénario particulier qui se justifiait économiquement puisqu'il ne mobilisait aucune ressource supplémentaire de transport. Comme nous

l'avons précisé dans notre développement sur la mixité, il est certain que d'autres modalités de mixité pourraient être étudiées : celle de bus exclusivement dédiés aux transports que nous avons déjà mentionnée, mais aussi celle d'horaires décalés (jour et/ou nuit) en fonction de la demande de transport de marchandises,… On aurait pu également développer d'autres scénarios basés sur des variantes de technologies : utilisation d'une remorque adaptée attachée au bus et détachable aux arrêts souhaités.

L'intérêt de notre modèle est de montrer que si l'on définit un scénario spécifique, il est possible d'ancrer des études et des solutions qui en découlent.

Parmi les variantes des scénarios, on peut également citer celles qui découleraient d'innovations en matière de technologie d'infrastructures voire de systèmes d'informations en temps différé mais rien ne s'opposerait conceptuellement à une transmission d'informations en temps réel entre la demande à livrer et les chargements.

Un autre scénario de mixité serait l'utilisation de consignes automatiques mais dont l'usage pourrait être partagé par d'autres utilisateurs extérieurs au système de bus. On peut ainsi imaginer bien d'autres variantes.

La difficulté de l'obtention des données. L'une des grandes difficultés que nous avons rencontrée lors de l'expérimentation fut l'obtention des données nécessaires pour "caler" le modèle. En effet, des notions aussi simples qu'une demande horaire ou journalière constituent une donnée très difficile à obtenir car l'environnement urbain est ainsi fait qu'il n'a jamais été structuré pour répondre à ces questions, indispensables à ces nouvelles problématiques de gestion urbaine. De façon plus concrète et à supposer que ces données demeurent disponibles, nous nous heurterions alors à un autre problème d'unités : le poids, le volume, la forme, la fragilité,…, autant d'éléments indispensables à prendre en compte dans un système concret de transport.

Tout ceci montre que des nouvelles recherches doivent être engagées sur ces notions de demandes urbaines. Plusieurs travaux théoriques ont déjà vu le jour mais il reste encore tout un champ important à explorer pour permettre de mieux saisir ces notions concrètes de demandes.

La question de l'évaluation. Il s'agit probablement d'une des thématiques de recherche les plus importantes. En effet, la question de l'évaluation de performances est excessivement complexe.
Plusieurs types de problèmes se posent.

Tout d'abord, celui de l'obtention des informations; nous avons déjà évoqué ce problème que nous avons vécu lors de l'expérimentation. En règle générale, nous ne disposons pas des informations nécessaires, parfois même des données de base, qui puissent nous permettre de construire un modèle

fut-il simplifié. Nous avons parlé de notion de demande de marchandises mais on pourrait étendre ces incertitudes aux vitesses de circulation, à l'occupation des passagers à l'intérieur des bus…

De ce fait, les données de base sont difficilement directement accessibles, voire impossible à obtenir et l'on ne peut se baser que sur des macro données pas toujours pertinentes pour l'analyse.

Le second point concerne la nature même des données : quel est le tableau de bord nécessaire, suffisant et pertinent ? Certaines données sont évidentes : la qualité de service de distribution (encore faut-il savoir en quelles unités faut-il l'exprimer) ou le nombre des kilomètres parcourus. Mais d'autres données d'une importance aussi grande, ne donneront pas lieu à des métriques simples : la satisfaction des clients, la gêne occasionnée par la présence de marchandises ou par le temps de déchargement autant de variables qualitatives, hétérogènes, non additives mais qui constituent des facteurs particulièrement importants de ce problème.

Enfin le caractère multicritères de la problématique posée : les nombreux transports réduisant les stocks se heurtent à la question des nuisances sonores et aux émissions de gaz. Les transports même capillaires portent atteinte à la fluidité de circulation et à l'harmonie visuelle.

On voit donc que cette question de l'évaluation qui devrait éclairer la pertinence des choix reste entière. Cela explique en grande partie ce que nous avons présenté sur les expérimentations menées qui ne permettent pas d'amener des conclusions déterminantes. Ce champ des tableaux de bord de la logistique urbaine reste encore peu exploré mais il constitue un préalable pour étudier le bien fondé des expérimentations.

Enfin, *l'analogie qui a été établie entre les aspects de gestion industrielle et ceux de gestion de distribution* nécessite d'être approfondie, afin de transférer des concepts aux conséquences déjà consolidées dans ce nouveau domaine peu expérimenté.

Ainsi, *la démarche LEAN* pourrait être introduite afin de rechercher la performance du système de transport urbain mixte (en matière de productivité, de qualité, de délais, et enfin de coûts) par l'amélioration continue et l'élimination des gaspillages.

L'introduction de l'outil VSM (Value Steam Mapping) regroupant toutes les actions (à valeur ajoutée et à non-valeur ajoutée) qui amènent un produit d'un état initial à un état final, pourrait donner une vision plus synthétique du processus caractéristique du transport urbain mixte, des flux physiques et des flux d'information. Des scenarios pourraient être bâtis, intégrant les formes de gaspillage (MUDAs) et décrivant le VMS futur.

Pour assurer *la répétabilité du système,* on pourrait envisager de faire appel à la méthode Six Sigma. Cette méthode d'amélioration de la qualité et de la profitabilité qui repose sur la maîtrise statistique

des procédés, est aussi un mode de management qui repose sur une organisation très encadrée dédiée à la conduite de projet. Le Six Sigma est souvent utilisé pour concilier plusieurs objectifs : doter l'organisation d'actions mesurables et efficaces, réduire les pertes et coûts de la qualité.

Le *concept de standardisation des tâches et des circuits* peut ouvrir des pistes de recherche pour uniformiser les façons de mettre en place le système de transport mixte afin d'obtenir des résultats constants et de faciliter le transfert des connaissances.

Au niveau du *système de pilotage de flux*, une réflexion plus approfondie nécessite d'être développée sur les flux tirés.
En ce qui concerne l'organisation humaine de la distribution, les concepts de polyvalence, polycompétence, implication du personnel peuvent être introduits pour assurer les aspects de management associés au système de transport urbain.

Et surtout les deux aspects primordiaux à ce stade du projet : la conduite du changement et la gestion des risques. Pour la conduite du changement on peut faire appel aux outils associés à la Stratégie Pyramidale, pour la gestion des risques, à la méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) technique spécifique de la sûreté de fonctionnement, qui est avant tout une méthode d'analyse de systèmes (systèmes au sens large composé d'éléments fonctionnels ou physiques, matériels, logiciels, humains ...), statique, s'appuyant sur un raisonnement inductif (causes conséquences), pour l'étude organisée des causes, des effets des défaillances et de leur criticité.

Enfin, la démarche QRQC (Quick response quality control, réponse rapide pour la maîtrise qualité) pourrait fournir le juste état d'esprit pour éviter les récurrences.

Au terme de notre recherche, que pouvons-nous donc conclure ? Selon la Commission Européenne la réalisation d'une politique durable des transports passe par " l'adoption d'une panoplie plus vaste, et plus souple d'instruments d'action " (CCE, 2006)[21]. Toutefois, cette diversification souhaitée est peu effective, et les changements dans les interventions publiques demeurent limités. Pourtant, les résultats médiocres des politiques conduites plaident en faveur d'une évolution plus marquée. Ainsi, en 2009, une Communication de la Commission réclame des progrès supplémentaires dans le domaine de l'environnement.

La consommation d'énergie du transport est particulièrement mise en cause : " l'efficacité énergétique des transports s'améliore, mais les gains d'efficacité n'ont pas été entièrement consacrés à la réduction de la consommation totale de carburant et n'ont pas suffi pour compenser l'accroissement du volume

[21] CCE (2006) Mise en œuvre de la stratégie communautaire de réduction des émissions de CO2 des voitures: sixième rapport annuel sur l'efficacité de la stratégie, Commission des Communautés Européennes, Bruxelles, le 24 août, 14 p.

de l'activité de transport " (CCE, 2009)[22]. Le transport n'a pas réduit notablement son intensité de GES en faisant appel à des sources d'énergie plus propres et dépend toujours à 97 % des combustibles fossiles.

La prise en compte de ce contexte nous a incités à imaginer un système de transport urbain visant à traiter l'ensemble des nuisances à la source plutôt qu'à limiter de façon sectorielle leurs effets, au risque d'effets pervers.

L'intérêt de développer conceptuellement ce système nous a demandé de comprendre les déterminants de la demande de transport, tant pour les personnes que pour les marchandises et les contraintes multiples qui émergent dès qu'elles ne sont pas considérées isolement.

Nous sommes conscients que la place du transport est très différente selon les contextes : promouvoir un système de transport urbain tel que celui objet de cette recherche implique d'adapter l'action publique au contexte d'une ville moyenne, d'identifier les interactions du système proposé avec d'autres systèmes, spatiaux ou productifs.

Pour l'adoption d'un tel système, un renouvèlement des conditions de production des politiques publiques de transport est nécessaire. Ce changement ne réside pas tant dans le contenu technique des mesures que dans la façon dont d'autres représentations du monde se diffusent et s'imposent au sein du système décisionnel. La notion de gouvernance et de démocratie sont par ailleurs essentielles.

L'élément central de notre système est la multiplication des interactions entre acteurs, qui prennent part à la définition du système. Cette multiplication des parties prenantes amplifie les divergences de points de vue et d'intérêts : cela nécessite une construction collective du système, avec l'implication des acteurs privés dans le financement et dans l'innovation.

Dans cette démarche de construction d'une représentation partagée du système de transport urbain par l'ensemble des parties prenantes, nous pourrions avoir recours à des modèles de mobilité adoptés au dehors de l'Europe, qui font appel à des modes de déplacement encore considérablement autogènes.

Dans toutes les villes en Afrique, Amérique Latine, Inde se sont développé des modes spécifiques de transport qui jouent un rôle fondamental dans la redistribution des produits alimentaires et dans l'approvisionnement de tout le secteur informel marchand. Ces modes de transport non mécanisés ou mécanisés offrent un service parfaitement adapté aux petits volumes traités et aux capacités financières réduites des différents intervenants, grossistes comme détaillants. Ils jouent par conséquent un rôle

[22] CCE (2009) Promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables et modifiant puis abrogeant les directives 2001/77/CE et 2003/30/C, Directive 2009/28/CE du Parlement européen et du conseil économique européen.

essentiel dans le maintien de faibles coûts de redistribution intra urbaine. Les photos suivantes illustrent ce propos.

Il nous semble ainsi pertinent de s'interroger sur la façon dont le service qu'ils assurent dans l'approvisionnement de la ville et de ses habitants puisse être pris en compte et reconnu par notre modèle de mobilité.

CARGO-TRICYCLES EN CHINE

Source : http://thecityfix.com/blog/the-eu-meets-to-discuss-how-to-promote-cargo-cycling/

CARGO-TRICYCLES EN AFRIQUE

TRANSPORTS COLLECTIFS A USAGE MIXTE EN AMERIQUE DU SUD

ANNEXE I

Acronyme	**C-GOODS (City Goods Operation Optimization using Decision support System)**
Titre du projet	Système d'aide à la décision pour l'application de nouveaux concepts de logistique urbaine

Objectifs et caractère ambitieux/novateur du projet

Objectifs scientifiques et techniques du projet

Objectif 1 : le premier objectif est d'offrir aux autorités locales des villes moyennes un ensemble d'outils d'aide à la décision en mesure de présenter les conséquences de plusieurs types d'actions en ce qui concerne l'utilisation respective du transport des voyageurs et de fret. Cet ensemble doit être adaptable et doit intégrer de nouveaux concepts, de nouvelles solutions.

Il proposera, par exemple, le meilleur plan d'aires de livraison ou le meilleur emplacement d'un centre de distribution urbaine dans une approche globale permettant les comparaisons entre les avantages pour le fret et les conséquences pour les personnes (sécurité dans les rues), sur la diminution des places de stationnement, les arrêts de bus ou la diminution de la congestion… Il intégrera les inconvénients, les limites de chaque solution et proposera d'en mesurer l'impact.

Pour avoir la meilleure efficacité possible, l'ensemble doit être composé d'autant de modèles que de concepts et de solutions pertinentes dans la ville.

Les principales questions auxquelles ces outils devront apporter une réponse sont :

- quelles sont les concepts pertinents (ou leur adaptation) pour une implantation intégrée et optimale dans un contexte spécifique ?
- comment concevoir et mettre en œuvre un système de TMV dans une perspective de rentabilité (rentabilité pour les passagers, économie grâce au fret...) ?

Ainsi, l'objectif scientifique est de déterminer la démarche scientifique qui apporte la modélisation des concepts déployés (novateurs ou plus traditionnels) dans une ville. Les implémentations actuelles sont principalement mises en place de manière empirique ou expérimentale; l'objectif du projet est de développer une approche basée sur la structure du système lui-même, afin de pouvoir simuler et d'évaluer les impacts de l'évolution des variables sur l'ensemble de ce système.

Comme la modélisation du transport de passagers a été largement étudiée et compte tenu des objectifs généraux des autorités locales, l'approche de ce projet sera axée sur la manière d'optimiser le transport de fret intégré dans le transport de passagers.

Objectif 2 : cette deuxième série d'objectifs concerne la création de concepts novateurs pour la distribution de marchandises dans les villes moyennes. Ceux-ci pourront être complètement nouveaux, ou fondés sur les mêmes principes que ceux utilisés dans les grandes villes, mais avec un mode différent de mise en œuvre. Le projet permettra ensuite de valider la faisabilité de ces nouvelles solutions et, autant que possible l'expérience de ceux qui pourraient s'adapter à la portée et à l'échelle du projet. Les sujets déjà à l'étude sont liés :

- Aux véhicules et aux équipements de manutention pour le chargement/déchargement des marchandises
- Aux systèmes d'information intelligents pour guider les chauffeurs basés sur internet et le GPS ou par une signalétique en temps réel dans les rues de la ville
- A l'intégration de la distribution des marchandises dans les Plans de Déplacements Entreprises (PDE).

Objectifs techniques : le principal objectif technique est de montrer que la modélisation par l'hybridation de la Recherche Opérationnelle et de la Dynamique des Systèmes est en mesure de fournir des résultats pertinents pour l'aide à la décision.

Traditionnellement, les approches systémiques ont donné lieu à des expériences de modélisation par la dynamique des systèmes. Les systèmes d'équations différentielles, utilisées normalement dans ce type de modèles, permettent d'évaluer directement l'évolution temporelle du comportement des systèmes et fournissent un outil très puissant de simulation et de prévision, grâce au caractère déterministe des équations utilisées. Toutefois, elles exigent au préalable un cadre théorique mis en place pour générer les lois qui régissent les phénomènes étudiés et les paramètres impliqués. Les cadres sont généralement représentés par des données pour quantifier de manière réaliste les relations entre variables. Le caractère continu de cette approche n'est pas essentiel, et on trouve dans la littérature la modélisation des systèmes dynamiques à événements discrets. Nous avons fait le choix de préférer l'approche continue pour son potentiel de développement futur. Car il s'agira ensuite d'intégrer notre travail dans un outil plus global représentant un système dont l'espace d'état est un continuum (en considérant la vitesse comme variable par exemple).

L'analyse causale du TMV révèle un grand nombre de problèmes d'optimisation bien connus en recherche opérationnelle, comme le chargement de containers multiples, le routage de véhicules ou encore les files d'attente (notamment pour représenter une aire de livraison ou le trafic s'arrêtant à un croisement…).

Un modèle hybride fusionnant les synergies de la Dynamique des Systèmes (DS) et de la Recherche Opérationnelle (RO) serait intéressant pour améliorer les défauts qu'aurait un modèle construit avec une seule de ces stratégies de modélisation. La DS ne permet pas de quantifier d'une manière significative les relations entre variables, ce qui est le gros point faible de cette approche de modélisation, mais, au contraire, la RO donne un solide cadre scientifique pour la quantification des

relations. Par ailleurs, la DS permet de simuler la dynamique des effets et des interactions entre variables. Sur ce point, la RO est trop pénalisante car ses effets nécessitent une multitude de boucles de rétroactions trop lourdes à considérer pour les modèles analytiques.

Les verrous scientifiques et techniques à lever

Sur le volet scientifique, il n'existe pas de véritable obstacle. La recherche opérationnelle et la dynamique des systèmes ont déjà prouvé leurs avantages et leurs faiblesses. Cependant, elles n'ont presque jamais été utilisées dans un modèle hybride pour le transport.

Le premier défi sera d'identifier et de développer les synergies entre ces deux approches de modélisation dans les transports. Ainsi, l'hybridation ne sera efficace que lorsque les développements réalisés avec chacune des deux techniques seront interopérables. Cela permettra de définir une plate-forme commune pour l'échange de données.

Toutefois, deux obstacles importants doivent être surmontés au cours du projet :

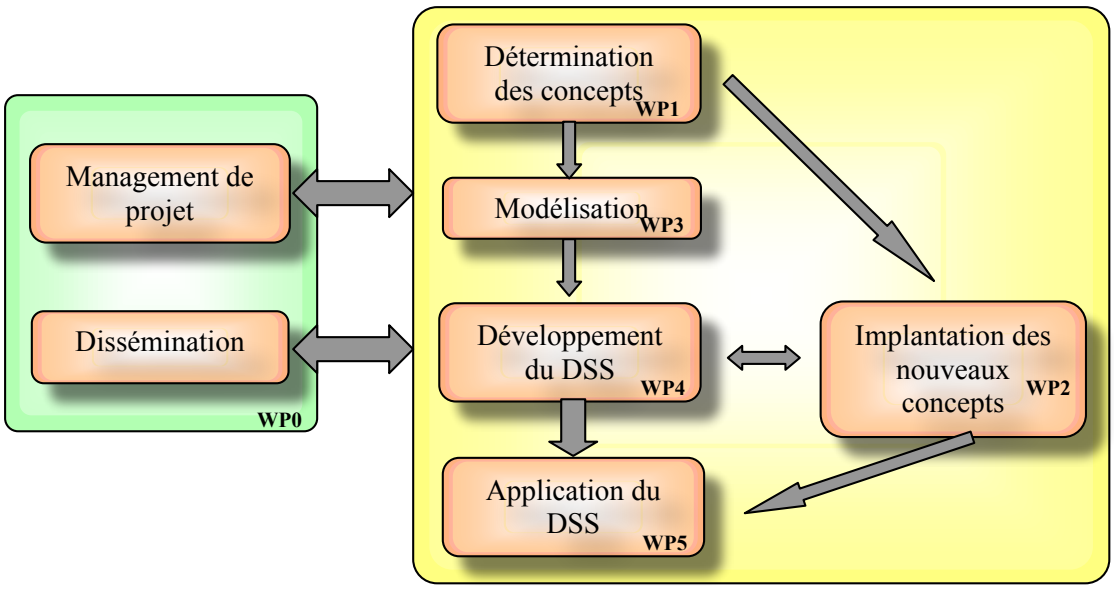
- Le premier est lié à la modélisation de la prise en compte simultanée du fret et des passagers. Au niveau urbain, ces modèles doivent représenter le comportement et les influences croisées entre ces deux composantes
- Le deuxième est lié à la qualité du modèle qui repose sur la fiabilité et la pertinence des données considérées dans le modèle. Bien sûr, dans la modélisation du transport des passagers et dans une moindre mesure à la modélisation du transport de fret, les variables significatives sont connues, mais les travaux de recherche dans le projet devront déterminer les données qui correspondent à la relation entre les comportements des deux. Ce point est important et nécessaire parce que le TMV est naturellement source de conflits entre les différents acteurs. La mise en œuvre des projets liés au TMV est confrontée à un environnement où les objectifs et les contraintes de chaque acteur divergent.

Déroulement du projet

Le projet est composé de 6 Work Packages (WP):

- **WP0** : Management de projet et dissémination
- **WP1** : Détermination des concepts innovants
- **WP2** : Implantation des concepts innovants
- **WP3** : Modélisation
- **WP4** : Développement de l'outil d'aide à la décision (DSS)
- **WP5** : Application de l'outil d'aide à la décision

Les relations entre chaque WP sont décrites dans La figure suivante.



Relations entre chaque Work Package

Produit final

Les résultats définitifs seront :

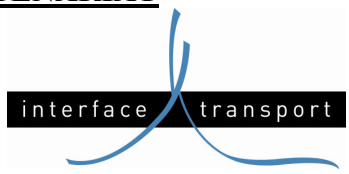
- le prototype d'un outil d'aide à la décision pour les gestionnaires de transport qui les aideront à optimiser l'intégration du transport de marchandises dans le transport des passagers. Ce sera un kit d'outils combinant plusieurs outils de nature différente : logiciel, questionnaires et documents.

- la méthodologie d'utilisation de ces d'outils.

Le prototype sera pratique et développé de manière ergonomique pour faciliter l'utilisation, avec des interfaces graphiques, des diagrammes, des modules d'interaction entre l'ordinateur et l'utilisateur qui pourra générer de nouveaux scénarios et lancer facilement une simulation.

Le prototype sera disponible sur un CD avec tous les dossiers d'aide, d'installation et d'utilisation du logiciel.

PARTENARIAT



ANNEXE II

La formulation du problème de transport mixte

Le système de transport mixte étudié comporte, rappelons-le, deux niveaux. Au premier niveau, les produits sont transportés via les transports en commun depuis le centre de distribution urbaine jusqu'à un ensemble d'arrêts utilisés comme points de transbordement.
Le deuxième niveau représente le transport capillaire jusqu'aux clients, au moyen de petits véhicules électriques (tricycles).

La planification des tâches consiste à prendre les décisions suivantes : (i) affecter chaque demande client à un conteneur roulant de telle sorte que la somme des charges di dans chaque conteneur roulant soit inférieure à Q, (ii) affecter chaque conteneur roulant à un transports en commun $b \in B$ de façon que la capacité Qb du transport en commun soit respectée, (iii) sélectionner un arrêt de la ligne $s \in S$ pour chaque conteneur roulant, (iv) concevoir des itinéraires capillaires pour livrer les clients tout en satisfaisant les contraintes de synchronisation aux arrêts de la ligne et les fenêtres de temps des clients.

Selon une approche classique dans la littérature des problèmes de tournées de véhicules, l'algorithme utilise une minimisation lexicographique. L'objectif principal est de minimiser le nombre de véhicules à utiliser. L'objectif secondaire est de minimiser le temps total parcouru par ces véhicules et non la distance, parce que les véhicules de livraison ont tendance à vouloir livrer le plus rapidement possible, plutôt que de faire le moins de kilomètres : le plus court chemin n'est pas forcément le plus rapide.

DETERMINATION DU N. DE VEHICULES
avec les 2 objectifs de:
- **minimiser le nombre de véhicules**
- **minimiser le temps de parcours**

METHODE	Algorithme de recherche heuristique ALNS (Adaptive Large Neighborhood Search)
CONTRAINTE	Fenêtres de livraison Autonomie des véhicules Capacité de chargement des véhicules
RESULTAT	Nombre des véhicules

COMPARAISON DES RESULTATS
(Nombre des véhicules, kilométrage, taux de remplissage)

EVALUATION DES PERFORMANCES

Méthodologie de dimensionnement des flottes de véhicules

L'algorithme de recherche heuristique ALNS

Le processus de distribution démarre au CDU, où les marchandises sont emballées dans des conteneurs roulants de capacité Q.

Nous considérons un ensemble B des transports en commun qui peuvent transporter des passagers et des marchandises.

Chaque transport en commun $b \in B$ a un horaire fixe et une capacité connue, exprimée comme un nombre maximal Qb de conteneurs roulants.

L'ensemble des arrêts de la ligne utilisés comme points de transfert est notée S.

Une opération de transfert est possible quand le transport en commun $b \in B$ arrive à l'arrêt $s \in S$.

Nous considérons un ensemble T de points de transfert, correspondant aux couples $(b \in B, sS)$.

De la même manière, nous définissons $Tb \subset T$ comme l'ensemble des points de transfert de la ligne desservie par le transport en commun $b \in B$.

Chaque point de transfert t ∈ T est associé à une capacité QtT représentant le nombre maximal de conteneurs roulants qui peuvent être déchargés du même bus.

Nous considérons un ensemble K de véhicules capillaires avec une capacité d'exactement un conteneur roulant. Nous considérons un ensemble O de dépôts de départ de ces véhicules capillaires.

De la même manière, O' est un ensemble de dépôts d'arrivée. En pratique, O et O' peuvent être identiques. Il peut aussi y avoir un seul dépôt, commun à toute la flotte de véhicules capillaires.

Les clients constituent un ensemble C. Chaque client $i \in C$ a une demande connue par jour di qui devrait être livrée dans une fenêtre temporelle $[ei,li]$. La demande d'un client ne peut pas être repartie en conteneurs roulant distincts.

Ainsi, nous supposons que la demande quotidienne d'un client ne dépasse pas la capacité Q d' un conteneur roulant (pour de plus grands besoins, la prestation traditionnelle par camion peut être préférable).

En notant N l'ensemble de tous les nœuds pris en compte dans le problème ($N=C \cup T \cup O \cup O'$), nous définissons τij comme *le temps de déplacement* pour aller du nœud $i \in N$ au noeud $j \in N$, et *si le temps de service* au nœud $i \in N$.

Ce temps de service correspond aux opérations de déchargement/chargement au point de transfert et au temps nécessaire pour garer le cargo-tricycle et accéder aux clients si $i \in C$.

Enfin, M est une grande valeur arbitraire réelle positive.

L'algorithme mathématique considère les variables de décision suivantes $x_{i,j}=1$ un véhicule se déplace d'un nœud i∈ N à un nœud j ∈ N, et 0 autrement. La variable continue c_i indique la quantité de marchandises restant dans le véhicule après la realisation du service au client i ∈ C.
La variable continue t_i désigne le temps de service sur le nœud i ∈ N.

Nous suivons une approche classique dans la littérature des problèmes de tournées de véhicules et nous utilisons une minimisation lexicographique. L'objectif principal est de minimiser le nombre de cargo-tricycles à utiliser. L'objectif secondaire est de minimiser le temps total parcouru par ces véhicules.

En utilisant la notation ci-dessus présentée, le problème d'optimisation peut être formulé comme suit :

$$P \qquad lex\ min\ \ o\epsilon O i\epsilon N\backslash O' x_{o,i}\ ,\ i,j\epsilon N \tau_{i,j} x_{i,j}$$

Avec contraintes

$$i \in N x_{o,i} = 1 \qquad \forall o \in O \qquad \text{(c1)}$$

$$i \in N x_{i,o'} = 1 \qquad \forall o' \in O' \qquad \text{(c2)}$$

$$i \in N \backslash \{O \cup O'\} x_{i,c} = 1 \qquad \forall c \in C \qquad \text{(c3)}$$

$$j \in N x_{i,j} = j \in N x_{j,i} \qquad \forall i \in N \backslash \{O \cup O'\} \qquad \text{(c4)}$$

$$c_i \leq c_j - d_i + M1 - x_{j,i} \qquad \forall i \in C,\ j \in N \qquad \text{(c5)}$$

$$t_i \geq t_j + s_j + \tau_{j,i} - M1 - x_{j,i} \qquad \forall i,j \in N \qquad \text{(c6)}$$

$$i \in N x_{i,t} \leq Q_t T \qquad \forall t \in T \qquad \text{(c7)}$$

$$t \in T b_i \in N x_{i,t} \leq Q_b \qquad \forall b \in B \qquad \text{(c8)}$$

$$x_{i,j} \in 0,1 \qquad \forall i,j \in N,\ k \in K \qquad \text{(c9)}$$

$$c_i \in 0,Q \qquad \forall i \in N \qquad \text{(c10)}$$

$$t_i \in e_i, l_i \qquad \forall i \in N \qquad \text{(c11)}$$

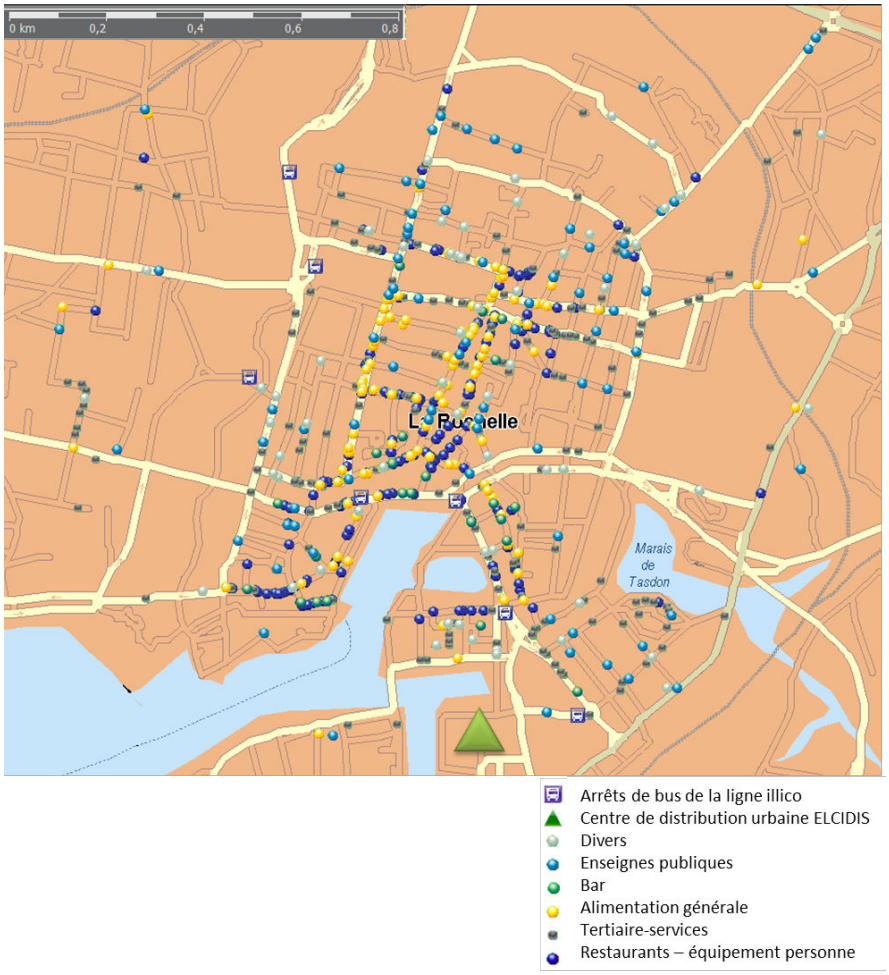
La fonction objectif (1) minimise en premier le nombre de véhicules utilisés, puis la distance parcourue.

La contrainte (c 1) garantit que pour chaque véhicule il existe un dépôt de départ. La contrainte (c 2) garantit que chaque véhicule rentre à un dépôt à la fin de sa journée de travail. La contrainte (c 3) impose que chaque client soit desservi exactement une fois. La contrainte (c 4) établit que si un véhicule entre dans un nœud, il faut aussi qu'il quitte le nœud. La contrainte (c 5) établit que les capacités des véhicules doivent être respectées. La contrainte (c 6) établit le temps de service sur les nœuds. La contrainte (c 7) garantit que la capacité des arrêts de bus est respectée. La contrainte (c 8) garantit que la capacité des bus est respectée. Les contraintes (c 9)-(c 11) définissent le domaine des variables de décision.

ANNEXE III

Représentativité des familles de commerces analysées

La figure localise sur le périmètre d'étude les différentes activités commerciales.



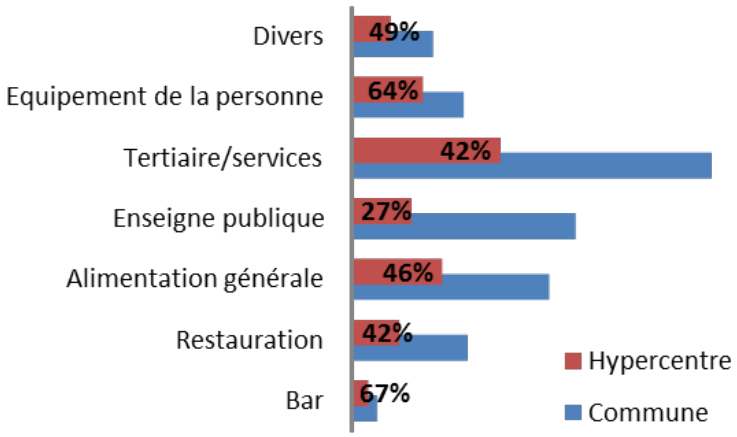
La localisation des catégories commerciales étudiées

Le tableau précise le nombre d'activités commerciales localisées sur la commune et sur l'hyper centre. Sur 1680 établissements, 720 se trouvent à l'intérieur de la zone d'étude, soit le 43%.

LA ROCHELLE	*Bar*	*Rest*	*Alim. Gén.*	*Ens.pub.*	*Tertiaire*	*Equip. pers.*	*Divers*	TOT	POIDS
Aire d'étude	26	73	137	91	225	108	60	**720**	**43%**
Commune	39	175	297	337	541	169	123	**1681**	**100%**

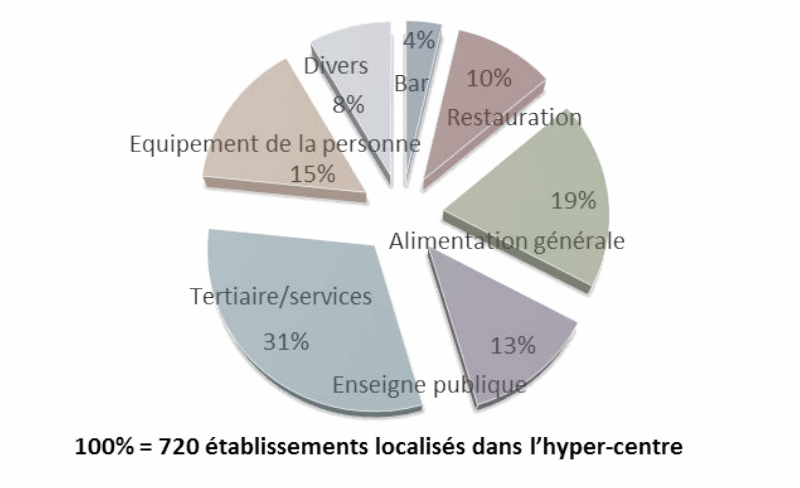
Les nombres d'activités commerciales localisées sur la commune et sur l'hyper centre

L'histogramme de la figure suivante illustre le poids (en %) de la présence de chaque secteur d'activité par rapport à sa distribution dans la commune de La Rochelle.



Poids des activités commerciales de l'hyper centre par rapport à la commune

Enfin, la figure suivante indique le poids de chaque secteur d'activité localisé à l'intérieur de la zone d'étude. Il est à noter la présence du secteur tertiaire et des services, (31%), suivi par l'alimentation générale (19%), l'équipement de la personne (15%), l'enseigne publique (13%), la restauration (10%).



Poids de chaque secteur d'activité à l'intérieur de la zone d'étude

Les résultats de l'enquête rochelaise

Le tableau nous indique la concentration de la demande par tranches horaires. Nous pouvons observer que la tranche horaire la plus chargée est celle comprise entre 14h30 et16h00 : dans ce créneau se cumulent les demandes associées aux secteurs d'activité tertiaire/services et bar. Les tranches horaires les moins chargées sont celles entre 16h et 19h, enfin entre 16h et 17h30 se localisent 35% de la demande.

Tranches Horaires	*Bar*	*Rest*	*Alim. Gén.*	*Ens.pub.*	*Tertiaire*	*Equip. pers.*	*Divers*	*Dispersion*	*Pois livraison/semaine/ tranche horaire (Ton)*
7.00 -8.30			137					*19%*	*39, 8*
10.00 -11.30		73					60	*18%*	*17,7*
14.30- 16.00	26				225			*35%*	*21,1*
16.00-17.30				91				*13%*	*16,2*
17.30-19.00						108		*15%*	*18,8*

Distribution des livraisons dans les tranches horaires d'un jour ordinaire

Secteurs	Nombre de livraisons hebdomadaires			Notes	JOURS DE LIVRAISON
	min	moyenne	max		
Alimentation	1	*8*	15	Fluctuation du nombre de livraisons en fonction de l'activité.	jeudi
Enseigne publique	3	*3*			lundi
Divers	2	*2*			jeudi
Tertiaire/Services	2	*2*			mardi
Bar	1	*1,5*	2	La majorité des bars n'a qu'une livraison par semaine.	mardi
Restauration	4	*7*	10	Certains restaurants sont livrés le samedi. La taille de l'établissement n'entre pas forcément en compte dans la restauration rapide. Les grandes chaînes ont une organisation spéciale (Quick n'est livré que 4 fois).	vendredi
Equipement de la personne	2	*7*	12	Cette activité a une activité de livraison très fluctuante dépendant des renouvellements de séries.	mardi

Fréquence et jours de livraison

Composition d'une livraison	Alimentation	Enseigne publique	Divers	Tertiaire/Services	Bar	Restauration	Equipement de la personne
Frais	26%					56%	
Sec	57%		20%			13%	
Consommables	14%		30%		5%	32%	10%
Non alimentaire		100%	50%	74%			
Habillement							90%
Fragile				26%	95%		
Surgelés	3%						

Composition d'une livraison par type d'activité commerciale

Conditionnement et poids d'une livraison	Alimentation	Enseigne publique	Divers	Tertiaire Services	Bar	Restauration	Equipement de la personne
Nombre de conditionnements par livraison	**9**	**5**	**5**	**4**	**3**	**8**	**6**
Type de conditionnement							
Palette	0	1	0	1	0	0	0
Caisse	2	0	0	0	1	2	0
Boite	4	2	2	2	2	2	2
Colis	1	2	1	1	0	1	1
Sac	2	0	1	0	0	1	0
En vrac	1	0	1	0	0	1	3
Poids moyen conditionnement (kg)	**4,08**	**11,9**	**7,6**	**10,14**	**4,87**	**3,23**	**4,37**
Poids moyen d'une livraison (kg)	**36,31**	**59,50**	**40,97**	**45,51**	**14,59**	**25,07**	**24,90**

Conditionnement et poids d'une livraison par type d'activité commerciale

QUESTIONNAIRE C – GOODS

PROMOTION 2015	Groupe TP:	Trinôme associé:
ELEVE	Nom :	Prénom :
NOM DU COMMERCE:		
ADRESSE:		
SIRET :		

1. Pourriez-vous identifier les approvisionnements que vous recevez pour votre activité et préciser les produits qui sont groupés dans chacune ? (incluant les produits livrés par des tiers, mais aussi ceux que vous allez vous-même chercher)

	Produits livrés (Pour l'interviewer, utiliser le vadémécum pour rappeler au commerçant les produits représentatifs en termes d'approvisionnements nécessaires à son activité)
Approv.1 :	
Approv. 2 :	
Approv. 3:	
Approv. 4 :	
Approv. 5:	
Approv. 6:	

2. Si vous êtes livrés par des fournisseurs, qui sont vos principaux fournisseurs ?

3. Si vous êtes livrés par des transporteurs, qui sont vos principaux transporteurs ?

C - GOODS

EIGSI Ecole d'Ingénieurs La Rochelle

4. Pouvez-vous caractériser, parmi les approvisionnements, les livraisons que vous recevez ?

	Fréquence	Jours de livraison (LU/MA/ME/ JE/VE/SA/DI)	Tranche horaire	Conditionnement (Preciser si colis-cartons, vrac, pallets, rolls, etc)	NB de colis-cartons/cagettes, pallets, rolls,etc)	Poids (kg) et/ou le volume (m3)	Type de véhicule[23]
Livr.1 :							
Livr. .. :							
Livr. N							

5. SI VOUS ALLEZ CHERCHER VOS PRODUITS, pouvez-vous caractériser ces approvisionnements ?

	Fréquence	Jours (LU/MA/ME/ JE/VE/SA/DI)	Tranche horaire	Conditionnement (Preciser si colis-cartons, vrac, pallets, rolls, etc)	NB de colis-cartons/cagettes, pallets, rolls,etc)	Poids (kg) et/ou le volume (m3)	Type de véhicule[24] *(voir vademecum)*
Dépl. 1:							
Dépl. N							

6. SI VOTRE ACTIVITE COMMERCIALE SE CARACTERISE PAR DES ENLEVEMENTS, effectués par vous ou par un tiers – retour ou remise de marchandise, mais aussi expéditions liées à votre activité (livraisons à domicile par exemple) - pourriez-vous les caractériser ?

	PRODUITS ENLEVES :
Enlèv .1	
Enlèv. 2	
Enlèv. 3	
Enlèv.4	
Enlèv.5	
Enlèv.6	

7. Pour chaque enlèvement, précisez :

[23] Voiture, Petit utilitaire (utilitaire de moins de 5 m^3), Petit utilitaire Réfrigéré, Grand utilitaire (utilitaire de plus de 5 m^3), Camionnette, Camionnette Réfrigérée, Camion de 3,5t ou moins (camion de 20 m3 ou moins), Camion Réfrigéré, Camion de plus 3,5t, Camion de plus 3,5t Réfrigéré. *(voir vademecum)*

[24] ibidem

	Fréquence	Jours de livraison (LU/MA/ME/ JE/VE/SA/DI)	Tranche horaire	Conditionnement (Preciser si colis-cartons, vrac, pallets, rolls, etc)	NB de colis-cartons/cagettes, pallets, rolls,etc)	Poids (kg) et/ou le volume (m3)	Type de véhicule[25]
Enlèv. 1 :							
Enlèv. 2 :							
Enlèv. 3 :							
Enlèv. 4 :							
Enlèv. 5 :							
Enlèv.6 :							

8. *Seriez –vous prêt à vous faire livrer la nuit et/ou tôt le matin ?* ¨Oui, ¨Non

9. *Avez-vous des commentaires particuliers sur les livraisons de nuit (horaires par exemple) ?*

10. *Utilisez-vous le service Elcidis (plateforme de distribution urbaine, pour l'interviewer voir le vademecum) de La Rochelle?*

¨Oui, ¨Non¨je ne le connais pas

11. *Avez-vous des commentaires particuliers sur le service Elcidis ?*

12. *Seriez-vous prêt à coopérer avec d'autres commerçants pour la livraison de vos marchandises ?* (Par exemple pour optimiser les livraisons dans une même rue)

¨Oui, ¨Non , ¨Peut-être.

13. *Commentaires libre : auriez-vous des suggestions pour améliorer les livraisons ?*

[25] ibidem

ANNEXE IV

Données techniques sur les véhicules de livraison urbaine[26]

Les triporteurs à assistance électrique (VAE)

La technologie de la partie cycle. Elle est en tout point comparable à celle des vélos de ville. La puissance nécessaire pour le freinage ne pose pas de problème spécifique. La commande de freinage doit couper simultanément le moteur, en complément avec l'arrêt du pédalage.

A noter que dans le cas de la récupération de l'énergie de freinage pour recharger la batterie, il en résulte un freinage moteur intéressant pour ménager les freins dans les longues descentes. Certains modèles sont munis de suspensions avant et arrière pour un maximum de confort.

Sur la plupart des modèles l'augmentation de la "chasse" (l'inclinaison du tube de direction) améliore la stabilité, au prix cependant d'une certaine perte d'agilité. Le positionnement de la batterie est important pour en permettre l'accessibilité sans nuire à la stabilité (maintien du centre de gravité le plus près du sol).

Les VAE comportant une batterie au plomb de forte capacité ont une masse supérieure à 30 Kg, d'où l'utilisation d'un cadre légèrement renforcé.

Cependant l'évolution actuelle vers des batteries plus légères tend à limiter le poids global du VAE. Il en existe d'une masse de 17 Kg (batterie au lithium) comparable aux vélos de ville classiques. Comme pour les vélos classiques, la rigidité du cadre est déterminante pour la stabilité.

La technologie de la motorisation. La motorisation n'est active que jusqu'à 25 km/h. A partir d'une certaine vitesse la puissance maximum de 250 W, décroît régulièrement pour s'annuler à 25 km/h. Il reste cependant possible de pédaler au-delà de cette vitesse au moyen de la seule force musculaire.

De fait la vitesse est adaptée aux déplacements en ville, sachant que la vitesse constatée des cyclistes urbains dépasse rarement la vitesse de consigne. Leur vitesse moyenne étant généralement inférieure à 18 km/h. La puissance annoncée de 250 W est la puissance mécanique maximum délivrée par le moteur. La puissance électrique fournie par la batterie étant plus élevée notamment au démarrage.

La batterie. Elle détermine directement les caractéristiques, les performances et le prix du VAE. Sa durée de vie est limitée, de quelques centaines de cycles à un millier de cycles ou 4 ans. Il faut prévoir son coût de remplacement, dès l'achat du VAE.

Capacité. Les capacités usuelles varient de 6 à 12h sous des tensions de 20 à 42 V. A froid, la capacité peut être réduite de 30%. La batterie est généralement amovible pour permettre de la recharger aisément. La charge complète dure environ 4 heures. Le chargeur peut être léger (de l'ordre de 300 g), critère à prendre en compte pour ceux qui veulent avoir la possibilité de recharger leur batterie sur leur lieu de travail par exemple.

[26] http://www.fubicy.org/spip.php?article263#b

Différents types de batterie. La technologie des batteries n'est pas stabilisée. Elle évolue régulièrement sous l'action du développement des équipements portables : téléphones, PC, outillages. On peut en attendre d'autres développements importants dûs notamment à l'essor de la voiture électrique. Technologies : a) au Plomb (gel plomb) batterie robuste mais relativement lourde, de l'ordre de 10 Kg et plus ; b) Cadmium-nickel (Cd-Ni) masse de l'ordre de 5 à 8 Kg, elle comporte un effet mémoire marqué qui impose de les décharger régulièrement et complètement avant de les recharger ; c) Nickel Métal hydrure (Ni-Mh) masse de 4 à 6 Kg, bonnes performances d'ensemble ; d) Au lithium (Li-ion, Li-polymère, etc.) les plus performantes, masse 2 à 3 Kg.

Fiabilité et durée de vie. La fiabilité est généralement bonne lorsque le VAE est utilisé régulièrement. En l'absence d'utilisation il faut veiller à recharger régulièrement la batterie pour éviter que sa tension ne descende au-dessous d'une certaine valeur qui ne permettrait plus de la recharger. Dans tous les cas d'utilisation, lors de la charge ou pour gravir une côte, la température de la batterie ne doit pas trop s'élever au-dessus de la température ambiante. La durée de vie et le nombre de cycles d'utilisation dépendent essentiellement des conditions d'utilisation et notamment des caractéristiques de charges et de décharges. Il faut éviter de dépasser la charge maximum (notamment lorsque la température est élevée) et également les décharges profondes.

Batterie usagée. Elle doit être retournée au vendeur pour être recyclée (directive européenne DEEE).

Rayon d'action des VAE. C'est un paramètre essentiel qui dépend directement des performances de la batterie. Il est couramment de l'ordre de 25 à 40 Km.

Consommation et coût du carburant. Sur les petits parcours le VAE consomme de l'ordre de 100 fois moins d'énergie que la voiture et 15 fois moins que le cyclomoteur. **Le coût de recharge de la batterie est de l'ordre de 0,06 €, pour une distance parcourue de 40 km.**

Vitesse et puissance fournie par le cycliste. Un cycliste qui roule naturellement et sans effort notable à une vitesse de 15 km/h, fournie une énergie mécanique de l'ordre de 70 W. En ville la vitesse moyenne d'une majorité de cyclistes est inférieure à 20 km/h. Pour rouler à 25 km/h sur le plat et sans vent, sur un vélo de route avec des pneus bien gonflés, la puissance nécessaire est de 180 W. A comparer aux 250 W supplémentaire qu'apporte le VAE. En fait ce surcroît de puissance n'est vraiment utile que dans les cas difficiles : côte, vent de face ou longueur du parcours.

Les camions électriques Modec[27]

Lancé en Angleterre en 2006, le Modec est importé depuis 2009 en France par ElecTruckCity et le logisticien DERET qui en est le premier utilisateur avec 45 véhicules en circulation dans l'hexagone. Le moteur-générateur électrique, d'une puissance de 52 Kw, a été fourni par la société anglaise Zytek. Il est situé sur le train arrière et permet au camion de rouler jusqu'à 80 km/h.

Côté batteries, le Modec utilise une technologie lithium-ion phosphate de fer à travers un pack d'une tonne situé sous le plancher. Ce pack est fourni par Axeon et son autonomie s'élève à environ 100 km. La mise en charge complète prend 8 heures et s'effectue par l'intermédiaire d'un chargeur externe, plutôt costaud, sur une prise triphasée. Au total, le Modec peut charger jusqu'à 2 tonnes de marchandises selon les équipements. Contrairement à bon nombre de véhicules électriques, le Modec n'est pas basé sur un châssis thermique existant mais a été entièrement développé pour accueillir une motorisation 100 % électrique. L'avantage principal du Modec reste qu'il est le seul produit de sa catégorie fabriqué de série, homologué et disponible rapidement (livrable en moins de 2 mois, équipements compris). A noter également que la fabrication du Modec reste en partie française puisque tous les équipements sont montés dans l'hexagone dans le cadre de partenariats avec différents équipementiers.

A ce jour, il est nécessaire de disposer du permis poids lourds pour le piloter, néanmoins une évolution prochaine de la législation dans le domaine permettrait de conduire le véhicule avec un permis B comme c'est le cas dans d'autres pays. Hors équipements, le prix du Modec s'élève à 75.000 € HT et il est vendu à peu près 90.000 € HT. La garantie du pack batteries est de 5 ans, ou 1000 cycles de charge comptabilisés grâce à un système d'analyse des batteries. Le reste du véhicule est garanti trois ans.

Une aide financière de l'ADEME de 20000 € peut également être attribuée à ce véhicule.

	Cargocycle (type V2)	**Modec**
Longueur (m)	2,35	
Largeur (m)	1,03	2
Poids à vide (kg)	100	3490
Charge utile max (kg)	180	2000
Masse totale roulante autorisée (MTRA) (kg)	180	5490
Volume maximal (m^3)	1,5	11 - 15
Vitesse maximale (km/h)	20	80
Temps de recharge batterie (lithium-ion) (h)	4h sur prise secteur	8h, par l'intermédiaire d'un chargeur externe, sur une prise triphasée.
Puissance du moteur (Kw)	0,25	52
Autonomie (km)	100	160
Coût d'achat HT (€)	6.500	75.000
Consommation (Wh/km)	14	430

Données techniques des véhicules de livraison urbaine (source : Lovelo et Avem)

[27] http://www.avem.fr/actualite-notre-essai-du-camion-electrique-modec-avec-defi-ecos-1246.html

ANNEXE V

Des acteurs avec des objectifs difficiles à concilier

Les autorités locales. En France, la responsabilité des transports publics urbains revient aux communes et aux établissements publics de coopération intercommunale (EPCI)[28] qui sont les autorités organisatrices de transports urbains (AOTU).

Les AOTU disposent des compétences suivantes:

- la création d'un périmètre de transports urbains (PTU) : c'est l'acte fondateur de l'autorité organisatrice ;
- l'organisation des services de transports urbains (définition des tarifs, services réguliers, services scolaires – compétence le plus souvent rétrocédée au département – services occasionnels…) à l'intérieur du PTU ;
- le choix du mode d'exploitation et de financement des transports publics urbains ;
- l'élaboration d'un Plan de Déplacements Urbains, introduit par la loi LOTI de 1982 est soit obligatoire pour les agglomérations de plus de 100 000 habitants, soit optionnelle pour les autres agglomérations.

Les modes de gestion des transports publics urbains peuvent être plusieurs : de la gestion directe, lorsque le service public est géré en régie, directement par la personne publique dont il dépend, à la gestion déléguée, lorsque la collectivité confie à une entreprise indépendante d'elle l'exécution du service tout en conservant un contrôle sur celui-ci. Selon le type de contrat passé entre l'AOTU et l'entreprise, les niveaux de risques industriels et commerciaux sont plus ou moins importants.

Enfin, le Parlement a adopté à l'unanimité la loi n° 2010-559 du 28 mai 2010 pour le développement des sociétés publiques locales (SPL). Il s'agit d'un nouvel outil juridique permettant à au moins deux collectivités territoriales (ou leurs groupements) de confier à une société anonyme à capitaux 100 % publics leurs services publics à caractère industriel ou commercial ou toute autre activité d'intérêt général, sans procéder à une mise en concurrence préalable.

Ainsi, la SPL élargit le panel des possibilités offertes aux collectivités en matière de gestion des services de son ressort : les collectivités territoriales ou leurs groupements peuvent désormais confier directement à la SPL dont ils sont actionnaires l'exploitation de leur réseau de transport ou seulement

[28] Structure administrative française régie par les dispositions de la cinquième partie du Code général des collectivités territoriales, regroupant des communes ayant choisi de développer plusieurs compétences en commun, comme les transports en commun, l'aménagement du territoire ou la gestion de l'environnement. Les EPCI se sont particulièrement développés depuis la loi Chevènement (juillet 1999).

une partie de celui-ci [29]. La première SPL de transport de voyageurs, constituée de la communauté d'agglomération de Saumur et du conseil général du Maine-et-Loire, a vu le jour en 2011

En ce qui concerne le transport de marchandises en ville, la loi ne permet pas encore aux AOTU de disposer d'une compétence en la matière. Cependant, la problématique des transports de marchandises en ville représente un sujet préoccupant du fait des enjeux fondamentaux en œuvre autour de cette problématique (pollution, bruit, économie…) : le thème figure ainsi dans les projets Plans de Déplacements Urbains (PDU) car il est explicitement prévu par l'article 28 – 1 de la loi LOTI de 1982, puis modifiée par la loi de la Solidarité et de Renouvellement Urbain (SRU) du 13 décembre 2000.

Néanmoins, le sujet est abordé par les AOTU de façon générale en initiant des études "à venir", en pointant les questions de gestion du stationnement, des nuisances sonores et de la pollution, en limitant les réflexions sur l'insécurité routière au transport de matières dangereuses[30].

Les règlementations relatives au transport de marchandises demeurent très hétérogènes, et cet aspect est un véritable enjeu économique pour les professionnels du transport. Il faut savoir qu'une livraison en milieu urbain représente 35% au 40% du coût d'une opération de messagerie. Ce coût augmente à mesure que les réglementations restreignent la circulation, comme par exemple la réduction de la vitesse maximale autorisée, l'augmentation des encombrements et les restrictions des plages horaires imposées par les responsables locaux et par les destinataires des marchandises. Concernant l'accès du territoire urbain aux véhicules de livraison, certaines communes édictent des arrêtés applicables sur l'ensemble de son territoire, tandis que d'autres prennent des dispositions uniquement pour une portion du territoire.

Les villes moyennes prennent généralement des dispositions à une échelle plus large, c'est-à-dire sur tout le territoire communal et, comparé aux grandes villes, elles limitent davantage la circulation des poids lourds. Concernant les critères choisis par les agglomérations pour l'accès des véhicules de livraison, le seuil règlementaire s'exprime le plus souvent par le tonnage et très peu de villes utilisent des critères de surface du véhicule. Concernant le poids, la majorité des agglomérations adopte une limitation supérieure à 3,5 tonnes pour éviter la multiplication des petits envois. De plus, pour un encombrement au sol identique, le critère de 12 tonnes serait préférable à celui de 7,5 tonnes.

Concernant les plages horaires autorisées pour les livraisons, un nombre de plus en plus considérable de villes commencent à s'intéresser aux livraisons nocturnes et les autorisent. Ceci présente un avantage pour les transporteurs qui peuvent, de ce fait, améliorer leur productivité étant donné que la majorité des livraisons s'effectue le matin dès l'ouverture des magasins concernés. Des inconvénients

[29] AGIR, AMF (2011). Le maire et les transports, disponible sur http://www.amf.asso.fr
[30] ibidem

sont cependant à noter, à savoir la nécessité d'aires de livraison privées situées à l'intérieur des locaux, l'absence d'aide de manutentionnaires à la réception de la marchandise ainsi que les nuisances occasionnées pour les riverains.

L'évolution du cadre législatif et réglementaire tend à promouvoir une articulation entre les questions d'urbanisme et de déplacements. Ainsi la loi SRU renforce le contenu des PDU en leur donnant comme objectif de "rationaliser les conditions d'approvisionnement de l'agglomération afin de maintenir les activités commerciales et artisanales, prévoir la mise en cohérence des horaires de livraison et des poids et dimensions des véhicules de livraisons au sein du PTU (...) " et constate de difficultés pour les collectivités et les AOT de développer une politique de transport de marchandises (compétences limitées, rarement des services dédiés, budget limité...). Le Grenelle de l'environnement - lois Grenelle 1 et Grenelle 2 – préconise une harmonisation des réglementations et développent des outils tels que les Zones d'Actions Prioritaires pour l'Air (ZAPA), inspirées des Low Emission Zones (LEZ) du Grand Londres (Grimot, 2010) et le péage urbain. L'article 182 du Grenelle II, offre la possibilité aux communes ou à leur groupement de plus de 100 000 habitants d'expérimenter les ZAPA. L'article 65 du Grenelle II propose des expérimentations de péage urbain pour les agglomérations de plus de 300 000 habitants dotées d'un PDU et prévoyant la réalisation d'un TCSP (l'initiative revient à l'AOTU)[31].

Les opérateurs de transport. La gestion des transports publics locaux de personnes peut être assurée par des entreprises exploitantes, si les AOTU font le choix de déléguer le service. Le marché français des transports urbains (hors Ile-de-France) est caractérisé par la présence de groupes de transport de dimension internationale qui se répartissent 77 % des voyages annuels totaux en 2008. Ainsi, Keolis domine le marché des transports hors Ile-de-France avec 38 % des voyages annuels réalisés dans ces réseaux, devant Transdev (22 %) et Veolia Transport (17 %). La fusion des deux derniers devrait logiquement permettre au groupe issu de cette opération de représenter 39 % des voyages. Toutefois, une part non négligeable du marché, 23 % des voyages annuels totaux en 2008, est réalisée par les entreprises qui ne dépendent pas d'un des trois grands groupes.

Certains de ces réseaux dépendent de groupes étrangers, tels que l'espagnol Vectalia (Perpignan, Etang de Thau, Amiens) ou le suisse Carpostal, filiale de La Poste suisse (Dole, Bourg-en-Bresse, Haguenau, Mâcon, Villefranche sur Saône), qui ont fait leur apparition et tentent de s'implanter sur le marché français. Ils représentent moins de 7 % des voyages annuels. Les autres réseaux sont dits indépendants et, pour nombre d'entre eux, sont adhérents à AGIR. Ces réseaux adhérant à AGIR totalisent 16 % des voyages totaux[32].

---

[31] Lagrange A. (2012) Panorama de la logistique urbaine en France, actes de la semaine Athens, Ecole des Mines de Paris, 19 – 23 mars.
[32] cfr. http://www.agir-transport.org

Pour enrayer la hausse des coûts et améliorer les taux de couverture, les entreprises ont comme objectifs de réaliser des gains de productivité et d'optimiser la gestion du service de transport. La maîtrise des coûts repose sur la rationalisation du travail et de l'organisation, à travers par exemple la diminution de l'absentéisme, du nombre d'accidents du travail mais aussi la mise en place de dispositifs d'intéressement du personnel aux résultats.

La recherche du meilleur coût doit se faire dans le respect de la réglementation sociale. La réglementation sociale est déterminante dans l'organisation des services : temps de conduite, temps de repos, battements, congés, etc. Ces éléments sont à prendre en compte lors de projets d'évolution d'un réseau. L'entreprise doit fidéliser sa clientèle et capter de nouveaux clients en s'adaptant à la demande. Ainsi, le suivi du trafic, l'adéquation entre l'offre et l'usage font partie des priorités.

L'objectif principal de l'entreprise est d'augmenter le ratio voyageurs / kilomètres parcourus (V/K), tout en optimisant les recettes et en diminuant les coûts de production. De plus, l'entreprise peut également agir sur les véhicules et leurs équipements : consommations de carburants, maintenance / entretien, etc. Le taux de couverture (R/D), ratio des recettes commerciales sur les dépenses d'exploitation est un indicateur sur les comptes des entreprises. Il a connu une récente dégradation, s'établissant à 33 % en 2008 dans les réseaux urbains. Aujourd'hui les réflexions autours du rôle que peut assumer le transport de marchandises dans la production de services de transport urbain s'accroissent.

En effets, dans la production des services de transport, il est possible de réaliser des économies d'échelle[33] et des économies de gamme[34]. Les économies de gamme se déterminent chaque fois qu'il est possible d'obtenir n'importe quel type de synergie à partir de la production conjointe de produits/services différents. On observe que, sur les longues distances et pour les grands flux de personnes et marchandises, les économies d'échelle sont les plus accessibles et la tendance des fonctions de production du service de transport est celle de spécialiser la logistique respective.

Au contraire, sur le court rayon et au niveau local, la recherche des économies de gamme devient pressante, car les possibilités d'économies d'échelle deviennent moindres. Ainsi, à cette échelle, les

[33] *Les économies d'échelle* mesurent les variations du coût unitaire dépendant des variations de la capacité productive. Plus particulièrement, on observe des économies d'échelle quand une augmentation des facteurs productifs génère une augmentation plus que découplée de l'output. Les coûts moyens de longue période décroissent, alors, jusqu'à ce que les économies d'échelle persistent. Par économies de gamme, on entend l'épargne pouvant être obtenue de la production conjointe de produits/services différents ou à travers la poursuite d'objectifs différents avec les mêmes facteurs productifs (mêmes ressources, mêmes installations, même know-how).

[34] *Les économies de gamme* peuvent provenir de situations différentes : (a) la production conjointe de deux biens permet l'utilisation complète des ressources matérielles qui resteraient sous-utilisées ; (b) un certain processus productif réalise conjointement deux ou plusieurs produits selon des rapports relativement fixes ; (c) les connaissances productives développées dans une entreprise, ou même l'image acquise pour un certain produit/service se révèlent exploitables pour d'autres typologies de produits/services.

fonctions de production du service de transport cherchent, à coût de production des services constant, à augmenter l'output et, dans ce sens, le couplage entre services dédiés au transport des personnes et ceux dédiés à la livraison de marchandises semble pouvoir répondre aux attentes[35].

On constate que certains opérateurs de transports publics urbains s'intéressent aux nouveaux services de logistique urbaine : deux cas sont présents en France. Le premier exemple est celui de Veolia Transport, qui, à travers sa filiale Proxiway réalise à La Rochelle du transport de marchandises par véhicules électriques. Le second exemple est VFLI, filiale de la SNCF qui opère un train de marchandises pour Monoprix sur une quarantaine de kilomètres de la périphérie francilienne jusqu'au centre de Paris. Pour ces deux exemples, les opérateurs de transports publics urbains ont contractualisé grâce à leurs filiales dont les compétences étaient plus adaptées pour répondre aux appels d'offres. Selon Chiron-Augereau[36] "ces entreprises de transports publics urbains ne peuvent intégrer ces nouveaux domaines sans faire appel à la filialisation ou à des partenariats, le transport de marchandises et la logistique étant trop éloignés de leurs cœurs de métier, sans oublier les impératifs imposés par leurs clients initiaux".

Traditionnellement, le transport de marchandises en ville est assuré par les chargeurs ou détenteurs de fret et les opérateurs de transport. Les chargeurs ou les détenteurs de fret assurent le transit des produits d'un maillon à l'autre de la chaîne logistique depuis l'usine jusqu'au consommateur. Il existe les chargeurs ou encore les détenteurs de fret, la partie amont de la chaîne, avec tout ce qui relève des usines de production et de montage, les différents types d'entrepôts, mais aussi les commerçants, les magasins et autres services, le commerce de gros. Ces acteurs impactent directement l'organisation logistique par leurs attentes à satisfaire. En suivant le déroulement de la chaîne, c'est celui qui veut expédier qui devient le donneur d'ordre : il peut alors choisir entre effectuer le transport par ses propres moyens - en compte propre - ou bien de le faire sous-traiter auprès d'entreprises spécialisées dans le domaine du transport de marchandise – en compte d'autrui.

Les opérateurs de transport sont les acteurs qui assurent le transit de la grande majorité des marchandises. Ils peuvent être classés en deux familles:
(a) *les prestataires de services* : ils organisent l'expédition des marchandises pour le compte d'autrui. Il existe des organismes spécialisés dans le domaine du transport : ce sont des généralistes qui sont de taille importante. Néanmoins, ces entreprises, souvent d'envergure internationale, préfèrent sous-traiter la " logistique du dernier kilomètre " en raison de son coût et d'une flotte peu adaptée au milieu

[35] Button K. (1993) Transport Economics, Edward Elgar Publishing
[36] Chiron-Augereau V. (2009) Du transport de marchandises en ville à la logistique urbaine, quels rôles pour un operateur de transports publics urbains? L'exemple de la RATP, thèse de doctorat, Ecole Doctorale Ville et Environnement, Discipline : transport, Université Paris-Est

urbain. D'ailleurs ces enseignes développent de plus en plus ces activités avec notamment la messagerie rapide, les agents travaillant à bord de petits véhicules plus pratiques pour la ville.
(b) *les sous-traitants* : on y trouve les petites structures indépendantes qui vont louer leur service en fonction des besoins et se feront connaitre surtout grâce à leurs performances dans le milieu urbain, réputé comme le maillon le plus problématique dans la chaine de transport et où la concurrence est forte.

Enfin, *le personnel en contact* joue un important rôle dans le transport urbain des marchandises. La logistique urbaine est souvent symbolisée par le "chauffeur - livreur", métier sous-valorisé, notamment en termes de salaires et d'image sociale. Cependant, il porte en lui un véritable "système - expert" qui combine des connaissances très riches avec un savoir-faire irremplaçable permettant souvent, en temps réel, de trouver des solutions performantes. Le développement des livraisons à domicile tend à élargir le champ traditionnel de la logistique urbaine avec le développement du e-commerce. Dès lors, il paraît essentiel de renforcer et de soutenir les filières de formation qui offrent dans ce domaine un éventail de métiers allant du très qualifié au faiblement qualifié.

En outre, la multiplication des acteurs et le développement de la notion de service amènent les chauffeurs livreurs à opérer de moins en moins souvent de façon isolée. En faisant remonter auprès des différents interlocuteurs (télévente, qualité, logistique, commerciaux) les informations collectées dans le cadre de la livraison, le chauffeur-livreur est amené à être plus souvent en relation avec les autres fonctions dans l'entreprise. Le lien avec les fonctions commerciales, en particulier, semble devoir se poursuivre. Les compétences relationnelles du chauffeur-livreur sont donc appelées à se développer.

Les organisations. Désormais de nombreuses organisations s'engagent de plus en plus vers la prise en compte des trois piliers du développement durable sous la forme de la responsabilité sociale de l'entreprise (RSE). Pour afficher des bilans environnementaux satisfaisants, certaines entreprises sont obligées d'engager des actions en dehors de leur cœur de métier et elles s'impliquent ainsi dans le développement des transports.

De nouveaux Partenariats Public – Privé (PPP) sont engagés pour permettre aux collectivités de réduire leurs besoins d'investissements en transports, et aux entreprises d'engager des actions philanthropiques, mais avec un fort retour sur l'investissement en termes d'image. Ces PPP peuvent également se créer en impliquant les citoyens via des associations, des associations de consommateurs, des ONG. Le tout étant évidemment que les contreparties de cette participation privée ne conduisent pas à une privatisation de l'espace et du service public.

Le Syndicat mixte des transports collectifs de l'Oise (SMTCO) a signé un PPP de douze ans avec le groupement Cityway/ERG Transit Systems. L'objectif est de simplifier la mobilité dans l'Oise avec un

système billettique multimodal pour tous les transports, urbains, départementaux et régionaux, SISMO (Service à la mobilité sur le département de l'Oise). C'est la première fois en France qu'une collectivité locale regroupe dans un PPP des services d'information, de Système d'aide à l'exploitation et d'information des voyageurs (SAEIV) et de télé billettique.

Depuis 2012, les habitants de l'Oise ont une carte à puce unique pour voyager sur les 500 cars départementaux et régionaux, les 120 bus urbains, 35 minibus et véhicules légers de transport à la demande, tous suivis en temps réel. Ils peuvent trouver l' information multimodale sur Internet, par téléphone portable, dans les centres d'appels et à l'agence de la mobilité.

Le département prévoit aussi de créer une centrale d'information et de réservation de tous les autres modes de transport disponibles (covoiturage, taxis, transports à la demande TAD). Enfin, un observatoire de la mobilité centralisera toutes les données pour définir les besoins et des pistes d'amélioration.

RATP, Bouygues, Siemens en 2011 ont proposé à la Société du Grand Paris de réaliser en partenariat public privé la ligne de métro automatique Massy-plateau de Saclay. " Dans une première étape, nous pourrions réaliser la liaison Massy-Plateau de Saclay, puis, quand la ligne 14 du métro parisien sera étendue jusqu'à l'aéroport d'Orly, nous pourrions réaliser Massy-aéroport d'Orly, puis plateau de Saclay-Versailles ", " Si la Société du Grand Paris retient cette idée elle pourrait lancer un appel d'offres auquel bien sur nous répondrons ", a précisé le patron de la RATP, le 26 octobre 2011.

En ce qui concerne l'implications des organisations dans les projets de mobilité urbaine de marchandises, la volonté politique affichée par le Grenelle de l'environnement et concrétisée par des objectifs chiffrés en matière de réduction d'émission de CO2 et d'augmentation de la part du transport alternatif à la route, semble avoir ses premiers effets.

Depuis fin novembre 2009, 70 magasins Sephora, l'enseigne de distribution de parfums et produits cosmétiques, sont livrés par des véhicules électriques, à fin janvier 2010, 150 magasins, sur un total de 250. À terme, le business plan vise à couvrir 80% de points de vente de zone urbaine sur toute la France. Les 20% des surfaces commerciales situées dans des villes de taille moyenne restent approvisionnées par des véhicules thermiques, confirme Jean-Luc Jarrin, directeur supply chain Europe de Sephora. La nouvelle organisation logistique de l'enseigne du groupe LVMH a été co-montée avec le groupe Deret, son prestataire depuis 15 ans. Après un premier test concluant avec un véhicule électrique Modec à Orléans, les partenaires ont décidé de décliner le modèle sur les 21 plus

grandes villes de France. En périphérie de ces agglomérations, Deret a monté 22 plateformes (2 pour Paris) pour distribuer les centres villes avec une cinquantaine de véhicules Modec[37].

A partir de juillet 2012, Franprix (groupe Casino) entrera dans Paris avec la livraison de produits alimentaires secs à 80 magasins situés au cœur de la capitale par voie fluviale. Une barge chargée de 26 conteneurs va faire le trajet entre le port de Bonneuil-sur-Marne et celui de la Bourdonnais (7e arrondissement), soit 20 km. Les 26 conteneurs auront été préalablement chargés de 450 palettes à l'entrepôt Franprix de Chennevières-sur-Marne et acheminés par navettes à Bonneuil (8 km).

Une fois au port de la Bourdonnais, les conteneurs sont déchargés de la barge par un Reach Stacker, chargés sur des camions pour approvisionner 80 des 350 magasins Franprix intra-muros dans un rayon de 4 km, soit dans les 1er, 2e, 4e, 7e, 8e, 15e, et 16e arrondissements. Le flux est aussi retour avec les conteneurs vides. Les conteneurs utilisés sont spécialement conçus pour accueillir les palettes, ils ne sont pas standards. À terme, le nombre de conteneurs pourrait doubler et une deuxième barge pourrait être utilisée. Franprix envisage aussi une association avec d'autres chargeurs pour développer cette solution de distribution urbaine fluviale. Cette solution est en effet le résultat d'un travail de coopération mené depuis deux ans entre Franprix (groupe Casino), Norbert Dentressangle (ND), Ports de Paris, Voies navigables de France (VNF), la Scat, Terminaux de Seine et Paris Terminal.

Enfin, le foncier et l'immobilier logistique en milieu urbain ressentent eux aussi de l' "effet Grenelle". Tout cela va dans le sens de la responsabilité sociétale préconisée par l'ISO 26000.

La perspective de devoir rendre des comptes pousse en effet chargeurs et logisticiens, à se pencher sérieusement sur l'impact environnemental lié à leur activité et à réfléchir sur des solutions plus en accord avec le développement durable. Pour résoudre le problème du foncier et occuper moins de surface au sol, on peut envisager des bâtiments sur plusieurs niveaux, voire hybrides dans lesquels cohabiteraient des activités de stockage, de préparation de commandes, de messagerie, mais aussi de bureaux. Ainsi, pour promoteurs immobiliers et investisseurs, la logistique urbaine se profile comme une future tendance, au point que certains parmi eux s'implique dans de projets de recherche ; la société anonyme d'économie mixte Sogaris, operateur immobilier logistique et ses partenaires RATP, Cret-log, sont impliquent dans le projet SCALP (Surcoûts Consécutifs à l'Ajout Logistique dans un Projet) financé par le PREDIT, qui étudie la mise en place de systèmes mixtes de transport en commun voyageurs – marchandises dans le cadre du Grand Paris, les matériels et les infrastructures de transport (passagers et fret), l'aménagement des gares pour permettre le transit des voyageurs et des marchandises.

[37] Jarrin, J-L (2012) L'exemple d'une réorganisation logistique, actes de la semaine Athens, Ecole des Mines de Paris, 19 – 23 mars.

Les habitants et les usagers de l'agglomération. Ce groupe d'acteurs fait appel aux dispositifs de transport pour satisfaire leur propre besoin de mobilité et/ou celui des biens dont ils nécessitent, tant dans le cadre professionnel que dans la vie privée. Nous regroupons ici les citoyens, les commerçants, les artisans. Le point de vue des citoyens se caractérise d'une part par des impératifs de la sphère professionnelle, horaires de travail, souvent 5 jours sur 7, laissant peu de choix pour les achats et autres activités de la sphère privée[38]. D'autre part, par une autonomie croissante, rendue possible et facilitée par la mobilisation de multiples technologies nouvelles et par diverses modalités d'adaptations sociales. Ces aspects engendrent des conséquences sur la temporalité urbaine, imbriquée et marquée par la possibilité que les citadins ont de s'approprier individuellement le temps quotidien, d'être le plus autonomes possible dans la construction de leur emploi du temps, à l'échelle journalière comme à celle des diverses " étapes " du cycle de vie[39].

Les enquêtes ménages, " déplacements des personnes " réalisées tous les 10 ans, donnent des indications précieuses sur les comportements d'achats des ménages. On dénombre environ 17,7 millions de déplacements pour des achats un jour moyen en France[40]

Les déplacements d'achat sont effectués entre 55 et 60 % en voiture, 30 à 35 % à pied et de 5 à 10 % en transport en commun, le reste en 2 roues. Le mode de déplacement pour achat dépend de la densité urbaine et de l'offre commerciale. 70 % des déplacements pour achat se font en "navette" domicile-achat-domicile avec un trajet à vide et 30 % dans une chaîne de déplacements, plus de 80% des achats en hypermarché se font en voiture contre 35 % dans les commerces de centre-ville. Des enquêtes réalisées en sortie de caisse[41], montrent l'effet de la densité urbaine et du type de magasin fréquenté sur l'usage de la voiture : (a) la distance moyenne parcourue pour acheter dans un supermarché varie peu en fonction de la densité de la zone (différence 0,5 km entre zone dense/peu dense), par contre la différence de distance moyenne pour les achats dans un hypermarché et un supermarché est de 6 à 7 km selon la densité de la zone ; (b) lorsqu'il va au supermarché, le consommateur utilise la voiture quelle que soit la densité de la zone, le panier moyen est d'environ 30 kg, dans une zone peu dense, le taux d'usage de la voiture est très haut : 68 % pour le supermarché, 85 % pour l'hyper; (c) le passage d'un supermarché à un hypermarché (à localisation identique) conduit à multiplier par 3,4 la longueur du déplacement ; (d) L'usage de la voiture pour l'achat en supermarché varie de 36 à 68% selon le type de zones, pour l'achat en hypermarché il varie de 37 à 85 %, pour 15 € d'achats alimentaires dans un hypermarché en périphérie, dans ce cas la consommation moyenne d'énergie est deux fois plus élevée que celle dans pour un achat dans un supermarché de quartier.

---

[38]Faillon, M. (2009) Quelles solutions pour le transport de marchandises en ville ? Mémoire de fin d'études Master 2 spécialité Logistique, Panthéon Sorbonne Université Paris 1

[39] Ascher F. (2009) L'âge des métapoles, Éditions de l'Aube.

[40] PIPAMINE (2009) Logistique et distribution urbaine, disponible sur http://www.industrie.gouv.fr

[41] BEAUVAIS CONSULTANTS (2003) distribution des biens de consommation et usage de la voiture particulière pour motif « achats » dans les agglomérations françaises, rapport final.

Enfin, ils sont de plus en plus nombreux les citoyens qui interviennent activement dans la vie de leurs communes, avec la formation d'associations de particuliers qui militent dans l'optique d'un cadre de vie agréable économiquement accompagné du respect de l'environnement.

Les tendances récentes montrent une demande de plus en plus forte pour des livraisons à domicile, liée à plusieurs facteurs : (a) vieillissement de la population, diminution du taux de motorisation en centre-ville, un intérêt pour l'achat ludique et non plus corvée, une valeur du temps en augmentation ; (b) un développement très important des achats sur Internet, pour les biens de consommation courante. Cela n'évite pas forcément les déplacements " avant " ou après achat, car le temps gagné à acheter en ligne peut entraîner d'autres déplacements, le client n'étant pas enclin à accepter le coût de la livraison comme de la plupart des services.

Les commerçants, avec les impératifs qui découlent de leurs pratiques du commerce et de la distribution, imposent des contraintes en matière d'approvisionnement. Les commerces utilisent de plus en plus leur surface pour la vente au détriment du stockage. De plus en plus de commerçants optent pour la franchise, système encadré, moins lourd à gérer qu'un commerce indépendant. Ils dépendent complètement de l'organisation des centrales d'achat et ne peuvent maîtriser leurs approvisionnements. Un postulat est aussi très largement répandu : les livraisons ne peuvent avoir lieu qu'en présence du destinataire.

Depuis peu, la grande distribution joue la proximité en réinvestissant les centres-villes avec de petites surfaces ouvertes presque 24 h/24 et 7 j/7 et proposant un espace convivial, des produits mieux mis en valeur, une meilleure qualité esthétique (Monop', Carrefour Market…) ; Casino crée la boutique entièrement automatique ouverte 7 j/7 , 24 h/24, sans personnel sur le modèle de la distribution de boissons avec une logistique innovante : une économie importante en frais de structure et de personnel mais une organisation logistique sophistiquée. Le petit commerce indépendant se fait rare. Depuis peu, il se place sur le Net pour se faire connaître, sans toutefois se lancer dans la vente, fidélise le client par la livraison à domicile.

Un nouveau concept est apparu en 2002 : Chronodrive par Auchan. La commande est passée par téléphone ou Internet. La commande est préparée sur une vaste plateforme au lieu de la grande surface traditionnelle. Lors de la commande, le client reçoit un code qui lui permet de récupérer ses courses deux heures après sur le parking de la plateforme. Une borne interactive à l'entrée lui indique l'emplacement de sa livraison où le livreur place les courses dans le coffre de son véhicule. Ce concept est extrêmement économique pour le distributeur (pas de coût de surface de vente, moins d'emplois) mais moins favorable pour l'environnement (déplacement en voiture particulière avec un trajet à vide).

Les artisans, quant à eux, ont la particularité d'utiliser leur véhicule à la fois comme transport et entreposage de leur matériel. Leurs interventions, souvent longues et en trace direct, nécessitent de

pouvoir stationner à proximité de là où ils se rendent pour travailler. D'autre part, ils vont eux-mêmes effectuer le réapprovisionnement nécessaire au fonctionnement de leurs activités, dans tous types de distribution.

Les artisans vont s'approvisionner auprès des grossistes ou des grandes enseignes pour apporter les produits sur leur lieu d'activité, aussi ont-ils davantage d'enlèvements que d'expéditions. Les artisans semblent être intéressés par l'expérimentation des véhicules utilitaires propres, par l'approfondissement de méthodes de planification et d'approvisionnement, ainsi que par la location de conteneurs ; d'autres services les intéresseraient, tels que la consolidation des livraisons, c'est-à-dire le fait de regrouper les livraisons pour un même chantier. Les principales difficultés en centre-ville concernent le stationnement, car les places disponibles sont rares et payantes, et le manque de surface de stockage. Les souhaits des artisans sont donc plus de places de stationnement à proximité de leur chantier pour les livraisons, la gratuité de ces places, et, de manière générale, plus de tolérance de la part de la Municipalité et de la Police[42]

[42] Delaître L., Trentini A., Molet H., Breuil D. (2009), Les artisans du BTP à La Rochelle: quels enjeux pour le fret urbain?, Congrès international ATEC-ITS France 4 et 5 février

ANNEXE VI

Commerce interviewé: Librairie Grifine, rue Saint Nicolas

Modalités d'approvisionnement:

- Passation de commande une fois par semaine, généralement le mercredi soir pour recevoir la marchandise le vendredi matin voir le lundi matin.
- La commande est passée soit directement au distributeur qui facture le transport, soit à la plateforme Prisme qui ressemble plusieurs distributeurs et renvoie au transporteur local l'envoi. Le transporteur facture au commerçant à la fin du mois, en fonction du poids transporté.

Distributeurs	Transporteurs	Localisation
Soedis	Exapaq (www.exapaq.com)	Bordeaux
Hachette	DB SCHENKER-JOYAU (www.schenker-joyau.fr)	Dépôt régional Nantes
MDS	?	?
Armonia Mundi	?	?
Autres fournisseurs (plateforme Prisme)	Ziegler Transport (www.zieglergroup.com)	Les Herbiers – Vendée
PETITS FLUX		
Charpentier Sobodi	Exapaq	Bordeaux
Belin	""	""

Distributeurs	Quantités, fréquences et horaires de livraison
Soedis	1 – 2 cartons/Livraison journalière (sauf le jeudi et dimanche), pendant la matinée
Hachette	1 – 2 cartons/Livraison journalière (sauf le jeudi et dimanche), pendant la matinée
MDS	1 – 2 cartons/Livraison journalière (sauf le jeudi et dimanche), pendant la matinée
Armonia Mundi	1 – 2 cartons/Livraison journalière (sauf le jeudi et dimanche), pendant la matinée
Autres fournisseurs (plateforme Prisme)	1 – 2 cartons/Livraison journalière (sauf le jeudi et dimanche), avant l'ouverture
Charpentier Sobodi	1 – 2 cartons 2 fois/semaine - pendant la matinée
Belin	1 – 2 cartons 2 fois/semaine - pendant la matinée

Saisonnalité de l'activité : les mois d'activité plus chargés sont septembre, octobre, novembre et décembre, ainsi que juin. L'été est généralement creuse.

Rapport avec les livreurs : il n'y a pas de relation entre le commerçant et le livreur, les livraisons effectuées avant l'ouverture du magasin ne comportent pas d'interaction entre le commerçant et le livreur, pour les livraisons faites pendant la matinée, le livreur se limite à effectuer la consigne de la marchandise et à constater des anomalies.

Modalités de livraison : *camion (tel que celui en photo*) Arrêt minute face au magasin. Les transporteurs parcourent la rue St Nicolas et se garent face au magasin, mettent les warnings et livrent les libraires. Les livreurs descendent les colis à bras. S'ils ne peuvent pas s'arrêter face au magasin, ils ont recours alors à un diable.

Renvoi des invendus. Les invendus sont récupérés par Zigler, sur requête du commerçant qui envoie un email au moment où il s'aperçoit que la quantité de marchandise est considérable (la valeur des invendus est estimée en moyenne être autour de 1400 euros).

Cout du transport pour le commerçant: 3-4% du prix du livre.

Remarques de la commerçante:

- Elle considère difficile la possibilité de réaliser un service de livraison aux libraires qui puisse être de la même qualité que celui dont ils disposent déjà.
- *Pour la mise en place de l'expérimentation*, elle suggère de s'occuper plutôt de récupérer la marchandise invendue car elle n'a pas de contraintes de temps mais, en revanche, elle demande au transporteur de réserver un trajet pour la récupérer. Si les invendus étaient déjà à la plateforme Elcidis, cela permettrait au transporteur de gagner du temps dans ses opérations de livraisons en ville.

Commerce interviewé : librairie Les Saisons, rue Saint Nicolas

Modalités d'approvisionnement:

- Passation de commande deux fois par semaine, le mercredi et le samedi soir,
- La commande est passée soit directement au distributeur qui facture le transport, soit à la plateforme prisme qui ressemble plusieurs distributeurs et ainsi renvoie au transporteur local l'envoi: le transporteur facture au commerçant à la fin du mois, en fonction du poids transporté.

Distributeurs	Transporteurs	Localisation
Hachette	DB SCHENKER-JOYAU	Dépôt régional Nantes
Autres fournisseurs (plateforme Prisme)	Zigler	Les Herbiers – Vendée
PETITS FLUX		
Editeurs indépendants	La Poste	

NB/ pour les livraisons urgentes on fait appel à la messagerie express. Pour les envois en provenance de Prisme, le libraire paye le service de RETENTION DES LIVRES qui lui assure une livraison groupée et donc lui permet de faire des économies.

Distributeurs	Quantités, fréquences et horaires de livraison
Hachette	Quantité variable de 1 à 10 colis - Mardi et Vendredi, dans la matinée
Autres fournisseurs (plateforme Prisme)	Environ 20 – 30 colis – Mardi et Vendredi, 7,30 et 8,30

Saisonnalité de l'activité : les mois d'activité plus chargés sont septembre, octobre, novembre et décembre, ainsi que juin. L'été est généralement creuse.

Rapport avec les livreurs : il n'y a pas de relation entre le commerçant et le livreur, les livraisons effectuées avant l'ouverture du magasin ne comportent pas d'interaction entre le commerçant et le livreur, pour les livraisons faites pendant la matinée, le livreur se limite à effectuer la consigne de la marchandise et à constater des anomalies.

Modalités de livraison : *camion (tel que celui en photo*) Les transporteurs mettent les warnings, parcourent la rue St Nicolas, et livrent le libraire. Les livreurs descendent les colis à bras et ils ont recours à un diable.

Renvoi des invendus. Les invendus sont récupérés par Ziegler, chaque 2- 3 mois, sur requête du commerçant.

Cout du transport pour le commerçant: 2% du prix du livre.

Remarques du commerçant:

- Le libraire ne voit pas en quoi le transport peut être amélioré pour assurer un autre niveau de service. Le transport est la partie finale du maillot de la filière du livre et il le considère déjà assez souple La modalité avec laquelle le transport est assuré n'a été jamais une préoccupation

pour les libraires. Les problèmes se situent en amont, au niveau des fournisseurs et distributeurs (maisons d'Edition). Aujourd'hui il constat que la vente de livres en ligne assure de livraisons en 48 h et cela n'est pas possible pour les distributeurs conventionnels : il faudrait pouvoir optimiser la chaine en amont et ainsi assurer une livraison aussi rapide. Enfin la livraison à domicile reste un atout pour la vente en ligne.

- Le libraire *ne voit pas l'utilité de cette expérimentation. Il n'a jamais fait appel à la plateforme Elcidis et il ne considère pas cet équipement pertinent pour satisfaire ses besoins.*

Commerce interviewé: Librairie Calligrammes, rue Chaudrier

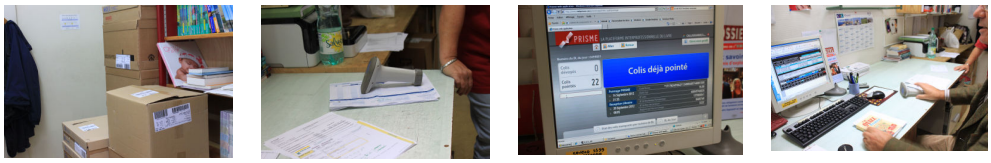
Modalités d'approvisionnement des livres:

- Passation de commande tous les jours.
- La commande est passée aux distributeurs.

Distributeurs	Transporteurs	Localisation
Hachette	DB SCHENKER-JOYAU	Dépôt régional Nantes
Autres fournisseurs (plateforme Prisme)	Ziegler	Les Herbiers – Vendée
PETITS FLUX		
Editeurs indépendants	La Poste	

Quantités, fréquences et horaires de livraison	
- *Du Mardi au Samedi: 8h* - *Lundi: 14h30*	*Entre 300 et 600 kg/jour*

Rapport avec les livreurs : la relation est très étroite puisque la réceptionniste de la librairie s'occupe de scanner tous les codes à barre des envois reçus. Il s'agit de la seule libraire parmi celles impliquées dans l'expérimentation qui est équipée d'un système automatisé de registration des envois, qui permet d'accélérer le processus de vérification et d'archivage des livraisons. Les images qui suivent illustrent ce processus. Le système informatique est connecté à la plateforme de centralisation des livres Prisme.



Processus de registration des livraisons via support informatique et scanner des codes barre

***Modalités de livraison* :** *camion* .Les livreurs descendent les colis à l'aide d'un diable.

Renvoi des invendus. Les invendus sont récupérés par Ziegler tous les mois, pour un poids de 700kg/1ton.

Cout du transport pour le commerçant: 2% du prix du livre

Commerce interviewé : Maison de la presse, rue Saint Sauveur

Modalités d'approvisionnement des livres:

- Passation de commande deux fois par semaine, le mercredi et le samedi soir,
- La commande est passée soit directement au distributeur qui facture le transport, soit à la plateforme prisme qui ressemble plusieurs distributeurs et ainsi renvoie au transporteur local l'envoi. Le transporteur facture au commerçant à la fin du mois, en fonction du poids.
- *pour la presse* il s'agit d'une autre logistique qui a recours à la plateforme GOTAC presse localisée à nord de La Rochelle, localité Lagord

Distributeurs	Transporteurs	Localisation
Hachette	DB SCHENKER-JOYAU	Dépôt régional Nantes
Autres fournisseurs (plateforme Prisme)	Ziegler	Les Herbiers – Vendée
PETITS FLUX		
Editeurs indépendants	La Poste	

Distributeurs	Quantités, fréquences et horaires de livraison
Hachette	Lu/Ma/Jeu – entre 10h et 11 h
Autres fournisseurs (plateforme Prisme)	Quantité variable non chiffrée – tous les jours, à 7 h

Rapport avec les livreurs : il n'y a pas de relation entre le commerçant et le livreur, les livraisons effectuées avant l'ouverture du magasin ne comportent pas d'interaction entre le commerçant et le livreur, pour les livraisons faites pendant la matinée, le livreur se limite à effectuer la consigne de la marchandise et à constater des anomalies.

Modalités de livraison : *camion (tel que celui en photo*) Les transporteurs mettent les warnings, parcourent la rue St Nicolas, et livrent le libraire. Les livreurs descendent les colis à bras et ils ont recours à un diable.

Renvoi des invendus. Les invendus sont récupérés par Ziegler, chaque 2- 3 mois, sur requête du commerçant.

Cout du transport pour le commerçant: 11200 euros/an dont le 2% destiné aux retours de marchandise

Remarques du commerçant:

- Aucun intérêt pour l'expérimentation ni pour la plateforme Elcidis. Les problèmes de la ville sont ailleurs que dans le transport de marchandises.

ANNEXE VII

Communauté d'Agglomération de La Rochelle

La Rochelle, le 20 JUIL. 2012

Madame, Monsieur,

Dans le cadre de la mise en place de son Plan de Déplacement Urbain, la Communauté d'Agglomération de La Rochelle a confirmé sa volonté de mettre en place des mesures innovantes pour le transport urbain dans un souci de développement durable. Compte tenu de son impact important sur l'environnement, le Transport de Marchandises en Ville (TMV) fait partie des thèmes retenus pour la mise en place de solutions alternatives au transport par camion, notamment pour le dernier km de livraison.

L'expérimentation proposée par l'EIGSI (Ecole d'Ingénieurs), en partenariat avec la RTCR et Proxiway, a pour objectif de limiter les nuisances associées au transport de marchandises en ville et les impacts environnementaux en réalisant le dernier km de livraison à pied et en bus, en utilisant la ligne ILLICO du réseau yélo de l'agglomération. Cette expérimentation s'inscrit donc pleinement dans les objectifs du Plan de Déplacement Urbain.

Une première étude réalisée en 2010 et à laquelle vous avez collaboré a permis d'analyser et de catégoriser les besoins en livraisons sur l'agglomération rochelaise. Le succès du travail qui va suivre repose en grande partie sur votre collaboration. De fait, l'EIGSI prendra très rapidement contact avec vous afin de discuter plus avant des enjeux et des mécanismes de cette étude.

En vous remerciant par avance pour votre accueil, votre soutien et votre collaboration, nous vous prions d'agréer, Madame, Monsieur, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

Pour le Président et par délégation,

Communauté d'Agglomération de La Rochelle

DENIS LEROY
Vice-Président

Hôtel de la Communauté d'Agglomération

6 rue Saint-Michel
BP 41287
17086 LA ROCHELLE
CEDEX 02

Tél. : 05 46 30 34 00
Fax : 05 46 30 34 09

POUR ACCORD

Il est convenu que sur la durée de l'expérimentation (du 11 septembre au 21 septembre 2012), les colis normalement acheminés par PROXYWAY seront pris en charge par l'EIGSI entre la plateforme ELCIDIS et leur destinataire.

Signature

ANNEXE VIII

Mardi 11

Affluence ILLICO entre 10 h et 11

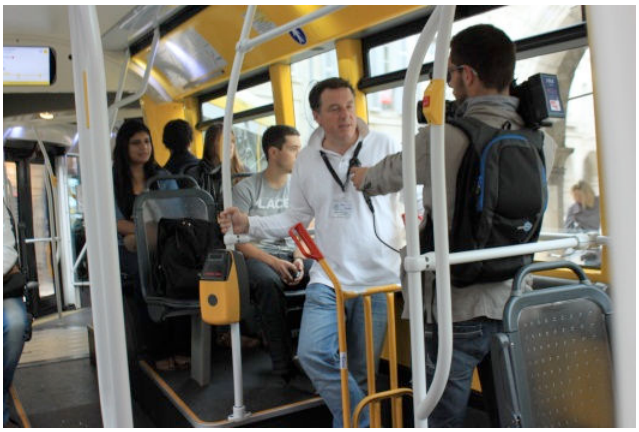
Mercredi

Jeudi 13

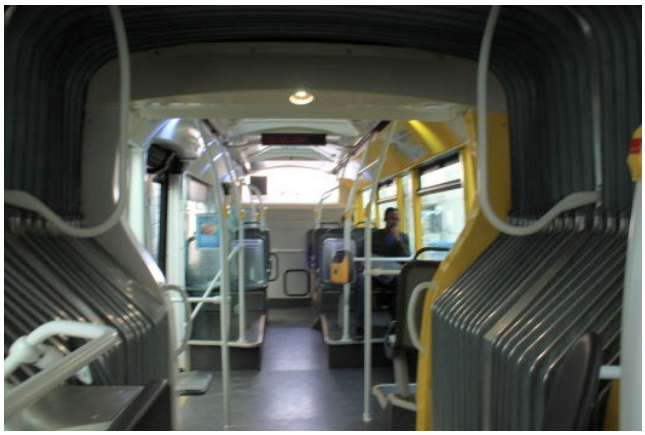
Vendredi 14

Affluence ILLICO entre 10 h et 11

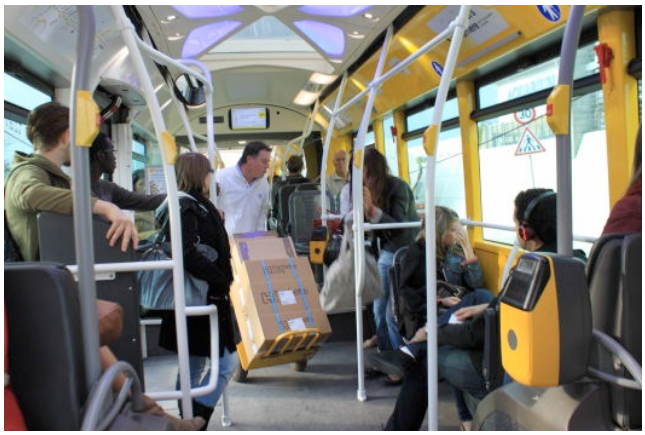
Mardi 18

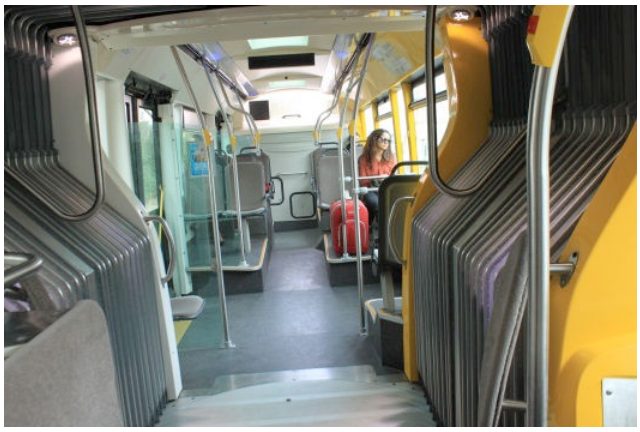


Jeudi 20



Vendredi 21





ANNEXE IX

Proposition d'un système de transport urbain mixte. Application dans le cadre de la ville moyenne de La Rochelle

RESUME: La mobilité urbaine est clairement identifiée aujourd'hui comme étant la mobilité des personnes et des biens dans une ville. Si les passagers ont connu l'effervescence scientifique pour la planification des transports, le développement de nouveaux services ou encore la mise en place de systèmes d'information sophistiqués, il demeure une composante encore trop méconnue qui est celle du transport de biens. Par ailleurs, intuitivement, les deux flux s'influencent mutuellement puisqu'ils utilisent la même infrastructure. Alors, pour une autorité organisatrice des transports, l'objectif est, à terme, de rationaliser les flux de passagers et marchandises pour réduire la congestion, la pollution et la consommation d'énergie, étapes nécessaires au développement urbain durable. Par conséquent, les services techniques de déplacements des villes s'interrogent sur les méthodes et outils pour pouvoir intégrer ces deux types de flux lors de la prise de décisions liées à la mobilité urbaine. Cette thèse, conduite dans le cadre du projet de recherche national ANR CGOODS qui réunit plusieurs partenaires académiques et institutionnels, se propose d'évaluer l'intérêt de la mise en œuvre d'un système de transport urbain mixte au profit de voyageurs et du fret. Le système de transport proposé assure la distribution de marchandises à partir d'un centre de distribution urbaine, en s'appuyant sur une ligne de transport en commun. Les véhicules circulant sur la ligne utilisent leur capacité résiduelle pour transporter les marchandises. Les marchandises sont déchargées aux arrêts de la ligne. Un système de distribution capillaire associé à chaque arrêt assure la livraison aux destinataires finaux par des tournées. Nous visons à définir d'un point de vue organisationnel et fonctionnel les atouts économiques, environnementaux et sociétaux de ce système ; le but est de fournir un cadre méthodologique pour guider sa mise en place.

Mots clés: Mobilité urbaine, logistique en ville, optimisation des flux, modélisation

Shared passenger&goods urban transport system proposition. Application to the french middle-size city of La Rochelle.

ABSTRACT : An efficient and effective transport for passengers and goods is an essential element for cities' daily life and development. As passengers need to resort to efficient transport solutions, allowing to reach their destinations at scheduled time, similarly, goods must be handled quickly to avoid creating excessive stocks and to minimize warehouses size and related operating costs. As urban space is a limited resource, it is commonly argued that passengers and goods flows inter-act each other strongly. Considering the fact that both flows are growing and growing in urban environment (European Commission, 2007) the global level of urban accessibility decreases. According to this trend, congestion problems occur and as a result the travel time increases for all. Facing this challenge, our research aims at defining a model which will constitute a first framework to plan and to control both passengers and goods flows in the urban environment. It focuses on the sharing concept, which means to make a joint use of transport resources, between passengers and goods flows. Driving under the national research project ANR CGOODS (City Goods Operation Optimization using Decision support System) this study assesses the interest of implementing an shared urban transport system. The proposed transport system ensures the supply of goods in a medium-sized town, from an urban distribution center, based on a transit line that carries passengers. Vehicles running on the line use their residual capacity to transport goods. The goods are unloaded by the stops of the line. A capillary distribution system associated with each stop ensures goods deliveries to final destinations. We aim to define the economic, environmental and societal impacts of this system, the purpose being to provide a methodological framework to guide its implementation.

Keywords: Urban mobility, city logistics, flux optimization, modelisation

MINES ParisTech

ParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY