



## **Identification de comportements des points de livraison à Paris : opportunités pour la mutualisation à grande échelle**

*Article Complet*

Emilienne Lardy<sup>a\*</sup>, Mariam Lafkihi<sup>a</sup> and Eric Ballot<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Mines Paris, PSL University, Centre for management science (CGS), i3 UMR CNRS,  
75006 Paris, France (contact: emilienne.lardy@minesparis.psl.eu).*

### **Résumé**

La mutualisation du transport et de la distribution des marchandises est reconnue comme une source majeure de performance et d'efficacité. Pourtant dans les zones urbaines, les infrastructures partagées qui la réalisent, telles que les Centres de Distributions Urbains, peinent à être rentables. Jusqu'à présent la littérature se concentre sur les volumes de flux captables comme levier de rentabilité. Nous identifions qu'au-delà des volumes, leur répartition temporelle est un facteur important, pour garantir l'utilisation des infrastructures logistiques. Cet enjeu a déjà été mis en lumière à petite échelle par le 'CDU Cordeliers' à Lyon, mais il reste à prouver si une synergie temporelle similaire des activités logistiques peut être reproduite à plus grande échelle. Pour comprendre les besoins et les contraintes temporelles des points de livraison, une enquête de terrain exploratoire ciblant les points de ventes et de services à Paris a été menée. Elle aborde quatre thèmes : le profil temporel actuel des livraisons, le profil temporel de l'activité, les contraintes actuellement prises en compte et l'impression générale quant aux créneaux de livraisons. Les réponses à l'enquête ont été analysées au moyen d'une analyse factorielle de données mixtes pondérées par groupes (AFM), afin de visualiser et d'interpréter les comportements des répondants. L'enquête révèle trois types de comportements, dont les conditions de livraisons sont déterminées inégalement par l'activité commerciale et l'activité logistique. Cette propriété pourrait être mise à profit pour définir des synergies temporelles intersectorielles à grande échelle.

**Mots-clés :** Logistique Urbaine ; Centre de Distributions Urbain ; Mutualisation des Flux Logistiques ; Enquête de Terrain ; Analyse Factorielle Multiple

# 1. Introduction et revue de littérature

## *Contexte de la recherche*

La mutualisation des flux logistiques est un levier d'efficacité majeur pour le transport et la distribution des marchandises (Sarraj et al., 2014) et est reconnue comme tel par les professionnels de la prestation logistique (Cruijssen et al., 2007). Dans les zones urbaines, les initiatives de mutualisation des flux à petite échelle, telles que les centres de distributions urbains internes à une entreprise, prospèrent. Cependant, les initiatives à plus grande échelle impliquant plusieurs acteurs, comme les Centres de Distributions Urbains (CDU), peinent à être rentables. Ainsi, Allen et al. (2012) constate que les deux-tiers des projets en France et au Royaume-Uni ne dépassent pas la phase d'étude de faisabilité ; Dablanc et al. (2015) mentionne que sur cent cinquante CDU ayant existé en Europe, peu sont encore en fonctionnement (le rapport en cite neuf et en étudie six) ; et sur soixante et un cas d'études recensés par Lebeau et al. (2017) seuls huit étaient encore en fonctionnement à la date de publication en 2017.

Jusqu'à présent, la littérature a identifié le volume des flux attirés par les CDU comme un levier important de leur rentabilité économique (Allen et al., 2012; Allen et al., 2014). Elle fait la part belle aux catalyseurs susceptibles de favoriser l'exploitation des CDU par les acteurs. Ainsi Lebeau et al. (2017) mentionnent l'importance des soutiens financiers initiaux pour les CDU jusqu'à ce qu'ils atteignent une « masse critique » qui leur permettent d'être autonomes. Ces soutiens peuvent être accompagnés de soutiens réglementaires indirects, tels que les restrictions sur les types de véhicules ou sur les horaires d'accès, ainsi que par des soutiens directs tels que l'allègement de ces mêmes restrictions pour les véhicules du CDU. Gonzalez-Feliu et al. (2014a ; 2014b) dresse le panorama des montages opérationnels et financiers des CDU et met en lumière le besoin de collaboration managériale entre les parties prenantes : la coordination entre les utilisateurs de l'UDC, éventuellement facilitée par le principal initiateur du projet, et les partenariats publics-privés dans les stratégies de financement. Il confirme également qu'en complément à ces stratégies, il est essentiel d'atteindre une demande minimale pour rendre le système de distribution économiquement viable.

Pour étudier la rentabilité d'un site en fonction de la demande captée, un modèle économique des CDU basé sur le cas de celui de Saint-Etienne, a été proposé et exploité par Faure et al. (2016) et Nimtrakool et al. (2018). Ce modèle intègre le nombre de colis

en transit par le CDU dans l'équation économique des CDU, cependant, il dépasse la notion de volume de flux et la convertit en une notion de densité puisque c'est plus précisément le nombre de colis par arrêt qui est proportionnel aux revenus et qui fait varier la marge.

### *Positionnement de la recherche*

Nous proposons de poursuivre cette réflexion sur le volume des flux captés par un CDU, en suggérant qu'au-delà de la densité géographique, leur répartition temporelle est également à ne pas sous-estimer. En effet, la durée de la plage horaire sur laquelle l'adéquation charge-capacité met à profit une telle infrastructure peut sanctionner sa rentabilité. Le rôle de la répartition temporelle des activités dans la rentabilité d'une initiative de mutualisation de la logistique urbaine a déjà été mis en lumière par le projet 'CDU Cordeliers' à Lyon : le prestataire initial Deret Transport a une activité de nuit et en matinée et exploite le CDU jusqu'à 13h. C'est la mutualisation avec le prestataire Ooshop, dont l'activité est l'après-midi, qui a permis de prolonger les tournées jusqu'à 22h, de mettre à profit l'espace de stockage sur une plus grande plage horaire, et ainsi d'en améliorer la profitabilité. Après la phase d'expérimentation, le projet a atteint sa maturité en 2015 et a semblé être économiquement viable grâce à ce lissage temporel des activités logistique dans le CDU (Daniel Boudouin et al., 2018). Cependant, ce projet reste à petite échelle, avec seulement deux prestataires logistiques impliqués, et il reste donc à prouver qu'un tel lissage temporel des activités logistiques peut-être reproduit à plus grande échelle.

En plus de permettre d'optimiser l'usage d'une infrastructure, la répartition des activités sur plage horaire large permet également de réduire les coûts des tournées de livraison : ce résultat a été démontré par des travaux de recherche opérationnelle qui étudie l'impact des plages horaires d'accès aux zones à desservir. Quak and de Koster (2009) étudient le lien entre la stratégie logistique et les performances en termes de coût et de pollution, via une régression linéaire multiple à partir de trois cas d'études de chaînes de magasins. Muñuzuri et al. (2013) et Grosso et al. (2018) conçoivent un modèle spécifique à la construction de tournée sous contrainte temporelles d'accès (VRPATW), ainsi que plusieurs heuristiques de résolution. Et pour s'affranchir de ces méthodes gourmandes en calculs, les travaux de Deflorio et al. (2010 ; 2012) permettent d'estimer rapidement l'impact des contraintes temporelles de livraison sur la durée total des tournées en

définissant et en mettant à profit la notion d'intervalle de temps de compatibilité entre deux demandes. Tous contribuent à montrer que la compression de l'activité logistique sur une plage horaire restreinte a un impact négatif sévère sur le temps de tournée, le nombre de véhicules mobilisés, et par suite les coûts et la pollution. Ces travaux étudient les conséquences des contraintes temporelles des mouvements de marchandise, par contre, ils ne s'intéressent pas à l'origine de ces contraintes.

Une étude qui apporte un éclairage sur la répartition temporelle des mouvements logistiques à l'échelle de l'Île de France est l'enquête 'Marchandises en Ville' (EMV) menée par le LAET (Serouge et al., 2018). Cette enquête couvre l'ensemble des activités économiques et l'intégralité du territoire francilien sur la période 2010-2013. Elle est destinée à enrichir les connaissances sur les mouvements de marchandises (e.g., nature, rythme, mode de gestion etc.) et sur les conditions de réalisation de ces mouvements (e.g., type de véhicules, offre de stationnement, moyens de manutention etc.). C'est dans ce contexte que les rythmes annuels, hebdomadaires et horaires des mouvements sont abordés. A l'échelle horaire, il apparaît que les mouvements de marchandises à Paris sont concentrés autour de deux pics : un principal à 9h et un secondaire à 15h (p93 du rapport). Cette répartition semble être cohérente avec l'organisation actuelle des prestataires logistiques : ceux interrogés à ce sujet mentionnent une vague de départ de poids-lourds en début de matinée, ainsi que deux vagues de départs de véhicules utilitaires légers (VUL) en début de matinée et en début d'après-midi. Cependant, cette étude ne recherche pas de lien entre les préférences des destinataires et les pics d'activité de livraison.

### *Question de recherche et méthodologie*

De prime abord, le profil à fort reliefs des mouvements de marchandises en Ile-de-France établi par l'EMV semble contradictoire avec un lissage temporel des activités logistiques propice à la mutualisation des flux de marchandises. Pourtant, les conclusions à tirer ne sont pas les mêmes si ce profil temporel est une image de l'offre (prestations logistiques) ou de la demande (points de vente, points de réceptions de marchandises). Autrement dit, est-ce que les besoins et les contraintes de l'activité commerciale des points de vente ont façonné l'organisation des tournées de livraison des prestataires logistiques, ou inversement, est-ce que les besoins et contraintes des prestataires logistiques ont déterminé les habitudes de réception des points de vente ?

Pour le comprendre, nous avons mené une enquête de terrain exploratoire ciblant des points de ventes et de services à Paris. L'enquête aborde quatre thèmes principaux : le profil temporel actuel des livraisons, le profil temporel de l'affluence client, les contraintes actuellement prises en compte dans la définition des horaires de livraison et l'impression générale quant aux créneaux de livraisons. Les réponses à l'enquête ont été analysées au moyen d'une analyse factorielle de données mixtes pondérées par groupes (AFM), afin de faire ressortir les comportements des répondants et leurs besoins.

La suite de ce papier est organisée comme suit : d'abord la méthodologie de recherche est détaillée, cela inclut le protocole de l'enquête et le cadre de traitement et d'analyse des données. Ensuite, l'analyse des réponses à l'enquête est présentée, ce qui permet d'explorer l'interface entre activité commerciale et activité logistique. Finalement une discussion des résultats conclut l'étude.

## **2. Méthodologie de recherche**

La méthodologie comporte deux étapes : la première est l'enquête de terrain, et la seconde est le traitement des réponses à l'enquête par analyse factorielle.

### **2.1 Protocole de l'enquête**

Le protocole technique de l'enquête a été conçu pour recueillir des données sur les habitudes de réception de marchandises et d'affluence client des commerçants et des services, situés au rez-de-chaussée avec porte sur la rue dans plusieurs arrondissements de Paris. L'enquête a été menée en janvier 2022, janvier 2023 et janvier 2024, avec la participation de quatre étudiants de master, utilisant le logiciel de sondage Shout. La description des répondants sera faite en début d'analyse des résultats en paragraphe 3.1.

Lors de l'enquête sur le terrain, notre approche consistait à rencontrer les commerçants et à leur demander de remplir un questionnaire court. En l'absence d'incitation monétaire ou institutionnelle, notre priorité dans les choix méthodologiques était de favoriser la participation et les réponses des commerçants. C'est pourquoi nous avons opté pour un format de questionnaire plutôt que des entretiens semi-directifs, qui sont plus long et plus contraignants pour le répondant. L'élaboration du questionnaire lui-même prolongeait cet objectif : il devait être intuitif et rapide à remplir par les commerçants, donc simple et bref. Ainsi, les réponses attendues étaient présentées sous forme de choix multiple ou

d'échelle de Likert pour que l'enquêté puisse répondre instinctivement et rapidement (nb., l'option de rajouter des commentaires en zone de texte libre est présente sur chaque page du questionnaire mais n'a jamais été utilisée). Parmi tous les modes de contacts disponibles pour administrer le questionnaire (e.g., appel téléphonique, courrier postal ou courriel, réseaux sociaux), nous avons opté pour des entretiens en face-à-face, ce mode de communication s'est distingué comme étant le seul efficace pour obtenir des réponses, et de préférence par un binôme d'enquêteur plutôt qu'individuellement.

Le questionnaire se compose de quatre parties dont les thèmes sont : les contraintes prises en compte pour fixer les horaires de réception de marchandises par les commerçants, le ressenti des commerçant vis-à-vis des horaires de réception, la répartition des horaires de réceptions, et enfin la répartition des horaires d'affluence des clients ou des visiteurs. Les parties sont détaillées par la suite et synthétisées en Table 1.

La première partie du questionnaire identifie huit facteurs susceptibles d'influencer les horaires de réception, notés sur une échelle de Likert à cinq niveaux allant de « pas du tout d'accord » à « tout à fait d'accord ». Le premier facteur est l'emploi du temps du personnel : nous cherchons à savoir si l'organisation des tâches du personnel (e.g., inventaires de stock, mise en rayon, etc.) est prise en compte pour que les réceptions de marchandises ne se cumulent pas à d'autres activités mais au contraire soient à un créneau propice à la disponibilité du personnel. Les répondants peuvent estimer à quel point ils sont d'accords avec l'affirmation « L'emploi du temps du personnel influence les horaires de réception de marchandises dans votre établissement », comme illustré en Figure 1. Les autres facteurs considérés sont les horaires d'affluence des clients, les horaires d'ouverture, la disponibilité des places de stationnement, les conditions du trafic routier, d'autres contraintes imposées par le fournisseur, d'autres contraintes imposées par le prestataire de transport, et aucune maîtrise des horaires de livraison. Bien qu'une zone de texte libre a été prévue pour ajouter d'autres contraintes, elle n'a finalement pas été utilisée. Cette partie participe à comprendre à quel point l'activité des commerçants contribue à façonner le profil horaire des mouvements de marchandises.

Les facteurs suivants influencent-ils les horaires de réception de marchandises dans votre établissement ?

\*

Pas du tout d'accord Pas d'accord Ni d'accord ni pas d'accord D'accord Tout à fait d'accord

Emploi du temps du personnel de l'établissement

Horaires d'affluence des visiteurs

Figure 1 Première partie du questionnaire (deux premiers facteurs)

La deuxième partie du questionnaire demande aux répondants de positionner un curseur entre des qualificatifs opposés caractérisant les horaires de réception de marchandises. Pour la première paire de qualificatifs, les répondants estiment à quel point, de leur point de vue, les horaires de réceptions sont plutôt libres ou plutôt imposés, comme illustré en Figure 2. Les paires de qualificatifs suivant incluent : (horaires imposés, horaires libres) ; (horaires irréguliers, horaires réguliers) ; (fenêtre de livraison large, fenêtre de livraison précise), (livraison non ponctuelle, livraison ponctuelle) ; (horaires imprévisibles, horaires connus) ; (livraisons dispersées, livraisons regroupées) ; (livraisons larges, livraisons fréquents). Les mêmes conditions de réception de marchandises pourraient être perçues inégalement par différents points de ventes en fonction de la cohérence avec leurs besoins. Cette partie a donc pour but de saisir ce prisme unique à chaque point de vente, pour éclairer le reste du formulaire.

De votre point de vue, les horaires de réception des livraisons sont-ils plutôt...\*

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Imposés Libres

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Irréguliers Réguliers

Figure 2 Deuxième partie du questionnaire (deux premières paires de qualificatifs)

Les deux dernières sections établissent un profil de répartition temporelle des réceptions de marchandises et de l'affluence client, en notant chaque créneau horaire sur une échelle de Likert « aucune ; peu ; plusieurs ; la plupart ; toute ». Les répondants estiment qualitativement la part des réceptions de marchandise et d'affluence client canalisées par chaque créneau horaire en journée de semaine, comme illustré sur la Figure 3 et la Figure 4. Les créneaux horaires proposés sont des fenêtres de trois heures entre 4h et 22h.

En semaine, comment sont réparties les réceptions de marchandises dans la journée ?\*

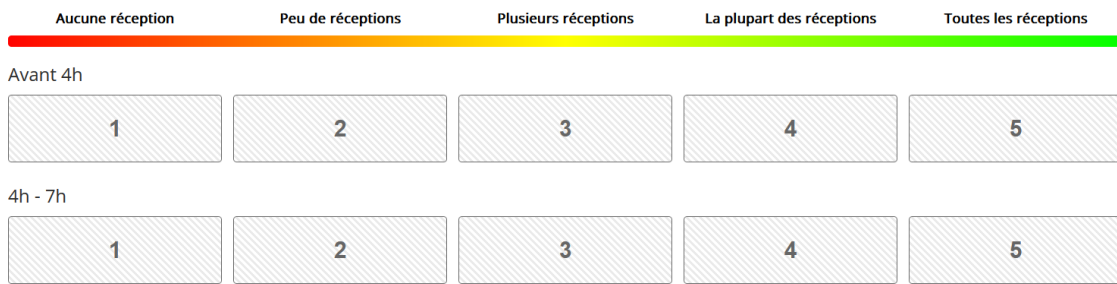


Figure 3 Troisième partie du questionnaire (les deux premiers créneaux)

En semaine, comment est répartie l'affluence des visiteurs dans la journée ?\*



Figure 4 Quatrième partie du questionnaire (les deux premiers créneaux)

## 2.2 Méthodologie d'analyse

L'objectif de l'analyse du questionnaire est d'identifier et de décrire les comportements des répondants en tant que points de réceptions de marchandises. L'examen des réponses question par question s'avère insuffisant, car il ne permet pas d'appréhender les tendances et les relations dans les questions et donc de caractériser des comportements complexes des points de réception. A la place, l'analyse doit porter sur l'ensemble du questionnaire simultanément, en considérant que les questions sont des variables qui génèrent un espace multidimensionnel. Dans cet espace, chaque répondant peut être positionné spatialement en fonction de ses réponses, chaque réponse à une question étant la coordonnée sur la variable associée. Les répondants forment ainsi un nuage de point, qui est la pierre angulaire de l'étude. En effet, décrire les tendances, les réponses, et les comportements des répondants revient à décrire l'inertie (i.e., la dispersion) de ce nuage de point dans l'espace multidimensionnel.

Les méthodes d'analyses des données initiées par les travaux de Jean-Paul Benzécri (Benzécri, 1982) fournissent des outils pour, à la fois hiérarchiser et visualiser la répartition de l'inertie du nuage de point, permettant ainsi une interprétation efficace et



pertinente. La famille des analyses factorielles est notamment basée sur la recherche des « axes d’inertie » qui minimisent la projection orthogonale du nuage de points. Ces axes appelées « composantes principales », expliquent une certaine part de l’inertie du nuage, selon la part de l’inertie résiduelle dans l’inertie totale. Il devient possible de hiérarchiser les composantes qui expliquent le plus d’inertie, de visualiser le nuage sur des plans qui condensent une grande partie de l’information, et d’obtenir une très bonne représentation en deux dimensions du nuage bien meilleure que dans la base de coordonnées initiale.

Techniquement, les questions sont toutes basées sur des échelles de Likert ou des curseurs, ce qui en fait des variables quantitatives. Cela signifie qu’il est possible non seulement de les convertir en variables numériques, mais également de leur attribuer un ordre (e.g., « pas du tout d’accord » est plus petit que « pas d’accord » lui-même plus petit que « d’accord »). De plus, les quatre thèmes abordés par le questionnaire doivent avoir une influence équilibrée dans l’analyse, ce qui nécessite de regrouper et de pondérer les questions relatives à chaque thème.

Ainsi, l’analyse du questionnaire se base donc techniquement sur une analyse factorielle de données quantitatives pondérées par groupe, en adoptant le cadre théorique de l’Analyse Factorielle Multiple (AFM) tel que décrit par Pagès (2013). Les variables à l’étude sont synthétisées dans la Table 1.

Section du formulaire	Variables de l’analyse	Signification des indices	Conversion numérique de l’Echelle de Likert en réel entre 0 et 1.	Aire sous la courbe normalisée
Contraintes	$C_i$ $i \in \llbracket 1, 8 \rrbracket$	Contraintes dues... : 1. Au personnel 2. A l’affluence 3. A l’ouverture 4. A la congestion 5. Au stationnement 6. Aux prestataires 7. Aux fournisseurs 8. Aucune maîtrise	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Borne 1 : « Tout à fait d’accord ».</li> <li>• Borne 0 : « Pas du tout d’accord ».</li> </ul>	NON
Perception	$P_j$ $j \in \llbracket 1, 7 \rrbracket$	1. Imposés - Libres 2. Irréguliers - Réguliers 3. Fenêtre large - Précise 4. Non ponctuel - Ponctuel 5. Imprévisibles - Connus 6. Dispersés - Regroupés 7. Rares - Fréquents	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Borne 1 : adjectif ‘positif’ (ex. « ponctuels », « connus »).</li> <li>• Borne 0 : adjectif ‘négatif’ (ex. « large », « imprévisible »).</li> </ul>	NON
Créneaux de réception	$R_h$ $h \in \llbracket 1, 5 \rrbracket$	1. 4h-7h 2. 7h-10h 3. 10h-13h 4. 13h-16h	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Borne 1 : « Toutes les réceptions ».</li> <li>• Borne 0 : « Aucune réception ».</li> </ul>	OUI

Créneaux d'affluence client	$A_h$ $h \in \llbracket 2, 7 \rrbracket$	5. 16h-19h 6. 19h-22 7. Après 22h	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Borne 1 : « Toutes les clients ».</li> <li>• Borne 0 : « Aucun client ».</li> </ul>	OUI
-----------------------------	---	---	--	-----

Table 1. Sections et variables de l'enquête

### 3. Analyse et Résultats

#### 3.1 Analyse d'ensemble des répondants

L'enquête de terrain a donné lieu à 143 réponses de la part de commerces, de services commerciaux et de services administratifs. Les répondants sont répartis selon leur type d'activité la typologie par section dans la Nomenclature d'Activités Française (NAF), et cette répartition est décrite sur la Figure 5. Les commerces tels que les commerces de détail spécialisés, les commerces alimentaires, les services de réparation de deux-roues, sont les plus représentés avec 52% des répondants. En effet, les commerces ont été particulièrement ciblés dans le cadre de cette enquête exploratoire, non seulement parce que les flux de marchandises y sont importants, mais aussi parce que le chiffre d'affaire y est directement dépendant de la disponibilité du personnel durant l'affluence des clients (Chapados et al., 2014) donc la non-interférence entre horaires de réception et horaires d'affluence est primordiale. Les activités financières et d'assurances, les activités spécialisées scientifiques et techniques (e.g, activités juridiques), les activités d'hébergement et restauration, et les "autres services (e.g., services personnels) sont également des postes importants de l'enquête avec chacun entre 8% et 12% des répondants. Certaines activités telles que les activités administratives et de soutien, les administrations publiques, les activités récréatives, l'enseignement, etc. sont peu représentées, mais elles ne seront pas invisibilisées dans une analyse factorielle : au contraire les faibles effectifs peuvent être sur-exposés dans la lecture des résultats (Cibois, 2007). Cependant, il sera démontré ultérieurement que ce n'est pas le cas ici, car ces activités s'insèrent naturellement dans un groupe plus large d'activités tertiaires.



Figure 5. Répartition des répondants par Section NAF

### 3.2 Analyse factorielle appliquée aux données de l'enquête

Les réponses à l'enquête sont soumises à une Analyse Factorielle Mixte, implémentée sur Python. La Figure 6 présente à gauche les inerties et les inerties cumulées des composantes de l'analyse factorielle, et à droite la contribution de chaque groupe de variables de l'analyse (les quatre sections du formulaire) aux composantes de l'analyse factorielle.

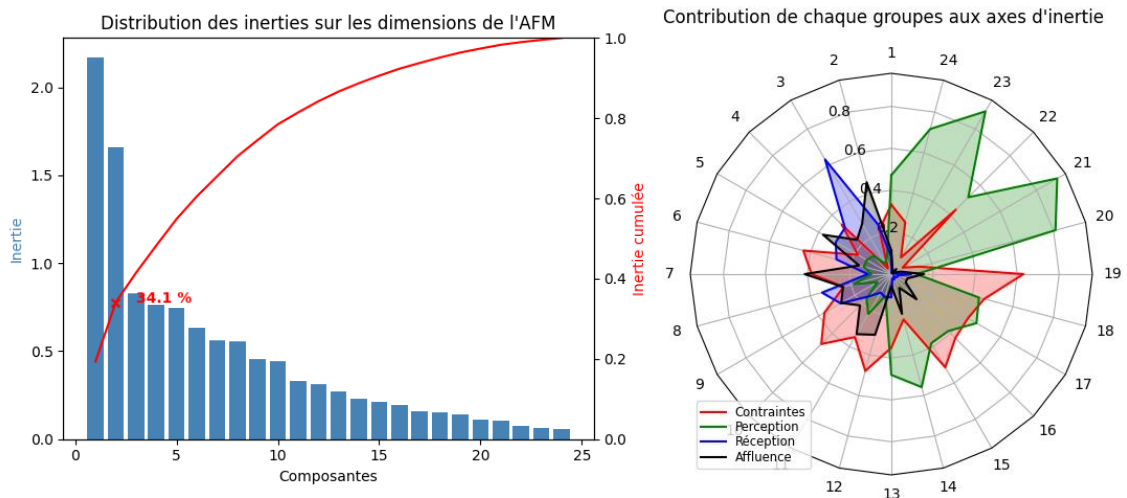


Figure 6 Analyse Factorielle Mixte

Par construction, il y a autant de composantes que de variables, et les inerties associées diminuent axe après axe, rendant les quelques premiers axes les plus intéressants à analyser. Ici le premier plan formé par les deux premiers axes explique à lui seul 34.1% de l'inertie totale, seul ce premier plan sera étudié dans le détail et le cercle des corrélations associé et la projection du nuage d'observations dans ce plan sont représentés sur la Figure 7. Sur le cercle des corrélations, les variables sont nommées comme en Table 1, et les groupes de variables sont identifiés par le même code couleurs qu'en Figure 6.

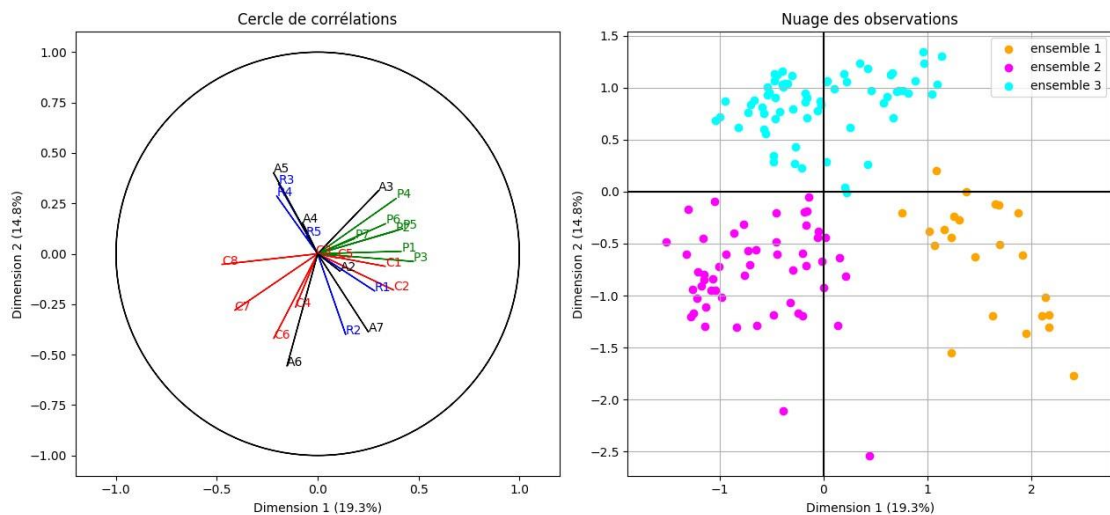


Figure 7. Résultats de l'AFM: projection sur les deux premières composantes

Selon la Figure 7, les répondants semblent être organisés en trois ensembles distincts sur ce premier plan, lesquels sont incarnés sur le nuage des observations au moyen d'un partitionnement en k-moyennes (Pedregosa et al., 2011).

Le premier ensemble est composé de restaurants, hôtels, bars, superettes et fleuristes, dont l'approvisionnement se fait principalement en compte propre. Ces activités sont soumises à des contraintes spécifiques, liées aux types de marchandises (notamment les produits périssables) et aux horaires de travail (avec des ouvertures avant 9h et/ou après 22h), ce qui les distingue des autres groupes. Respectivement 57% et 65% d'entre eux considèrent que l'emploi du temps du personnel (variable C1) et les horaires d'affluence (variable C2) des clients sont pris en compte pour établir les horaires de réception de marchandises, alors que seulement 11% ne maîtrisent pas ces horaires. La majeure partie des réceptions de marchandises a lieu le matin avant 10h (variables R1 et R2), et c'est le seul groupe à signaler des réceptions entre 4h et 7h (R1). Les répondants caractérisent les créneaux de livraison comme étant ponctuels (P4), connus (P5), réguliers (P2) et précis (P3), d'ailleurs ils affirment tous connaître les créneaux de réception à moins de 2h près. Le deuxième ensemble présente la plus grande variété d'activités : des services comptables, juridiques, bancaires, administratifs, immobiliers, des salons de coiffures, des blanchisseries, des agences de voyages, des traiteurs, etc. Il s'agit principalement de services du secteur tertiaire et commercial. 90% d'entre eux estiment n'avoir aucune maîtrise des horaires de réceptions de marchandises (variable C8), et 74% n'en sont pas informés au préalable, la livraison étant programmée à un jour près ou plus. Ce peu de maîtrise crée une impression de passivité, les créneaux de réception sont décrits comme

étant dispersés, irréguliers, larges et imprévisibles. En terme de profil temporel, à la fois les réceptions de marchandises et l'affluence des clients sont régulières sur l'ensemble des horaires d'ouverture, et peuvent même rester élevées entre 19h et 22h (variable A6) pour répondre à des besoins spécifiques (organisations d'évènements/conférences en soirée).

Le troisième ensemble rassemble la plupart des commerces de détail spécialisés : opticiens, librairies, parfumeries, bijouteries, magasins de chaussures, d'habillement, de deux-roues, et de meubles. Dans ce groupe, les horaires de réceptions semblent être imposés mais peu contraignants. Ainsi, plus de 60% des répondants déclarent n'avoir aucune maîtrise sur les horaires de réception (variable C8), mais seulement 13% et 29% d'entre eux les perçoivent comme une contrainte des prestataires et des fournisseurs (variables C6 et C7). A titre de comparaison, ces taux sont de 90% et de 79% dans le groupe 2. La majorité des répondants décrivent les créneaux de réceptions comme larges (prévus à la demi-journée ou à la journée près) mais connus (P5) et ponctuels (P4), et perçoivent les flux de réceptions comme regroupés (P6) et réguliers (P2). Les réceptions commencent en fin de matinée avec un pic entre 10h et 13h (R3), et se poursuivent l'après-midi (R4). Quant à l'affluence des clients, elle est principalement en pleine journée entre 10h et 19h, avec un pic net entre 16h et 19h (A5), et à l'inverse du groupe 2 elle chute brutalement après 19h.

L'enquête de terrain révèle deux tendances parmi les points de réception de marchandises, qui sont mis en évidence par la première composante. Sur la moitié droite des graphiques 7 et 8 (coordonnées positives pour la première composante), les besoins de l'activité commerciale déterminent les horaires de livraison, qui doivent être transmis en amont dans la chaîne logistique, quitte à opter pour une gestion dédiée de l'approvisionnement, voire en compte propre. Sur la moitié gauche (coordonnées négatives pour la première composante), il y a peu, voire pas de maîtrise des horaires de livraisons, qui sont générées par l'activité logistique. Ces deux tendances correspondent à l'interprétation « type » des deux extrémités de la première composante, mais le nuage d'observation montre qu'il n'y a pas de séparation stricte entre ces deux.

En revanche, le positionnement des établissements selon cette tendance semble fortement corrélé au choix des modes de gestion : la Figure 8 retrace le nuage des observations en différenciant en couleur les modes de gestion. Rappelons ici que le mode de gestion est une variable auxiliaire et n'a en rien contribué à la formation des composantes principales (seules les variables de la Table 1 sont des variables actives de l'AFM). Le

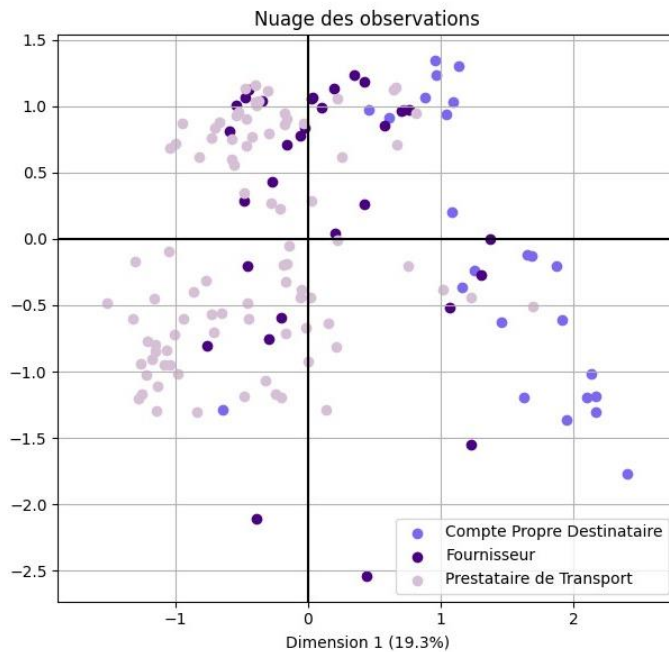


Figure 8: Répartition des modes de gestion sur le nuage des observations

compte propre est confiné aux coordonnées les plus hautes de la première composante. Le transport par un fournisseur est concentré proche de l'axe des ordonnées et n'est pas présent aux extrémités droites et gauches du nuage. Quant au recours à un prestataire de transport, bien qu'il soit présent sur l'ensemble du nuage, il est particulièrement dense sur les coordonnées négatives de la première composante, et c'est le seul mode de gestion à l'extrémité gauche du nuage.

### 3.3 Estimation de la contribution des ensembles de comportements identifiés aux livraisons de marchandises en Ile de France

L'étude des flux logistiques se fait généralement par le biais de deux grandeurs physiques : le tonnage et le nombre de mouvement (i.e., une opération de chargement ou une opération de déchargement). Les mouvements occupent une place privilégiée dans les travaux de logistique urbaine puisqu'ils sont directement liés à la mobilisation de ressources (e.g., véhicule, occupation de la voirie et des places de stationnement), et le tonnage peut être obtenu via un coefficient de conversion.

Le calage sur marges consiste à tenir compte des sous-totaux connus (dits marges) de sous-populations (dites strates) pour pondérer l'échantillon. L'analyse factorielle des réponses a permis de choisir deux critères de calage significatifs, à savoir l'activité

économique et le mode de gestion. L'ETMV chiffre le nombre de mouvements hebdomadaires en Ile de France en fonction du secteur (les trois secteurs ciblés ici sont Artisanat et Services, Tertiaire de Bureau, Petit Commerce - sur les huit secteurs au total dont les cinq autres sont Agriculture et Activités Paysagères, Industrie, Commerce de Gros, Grandes Surfaces de Distribution et Entrepôts-Transport), et du mode de gestion (i.e., compte d'autrui, compte propre expéditeur, compte propre destinataire) (Serouge et al., 2018, p88 Tableau 1). L'ETMV propose aussi une estimation du poids moyen de ces mouvements en fonction du secteur (Tableau 2 p133). Ces estimations sont fournies à l'échelles sur l'Ile de France, faute de données plus précises la suite repose donc sur l'hypothèse d'une similarité des comportements des points de réception de marchandises en Ile de France et à Paris.

La Table 3 décrit la distribution de l'échantillon avant le calage sur marge : elle précise les effectifs croisés des variables auxiliaires, et les fréquences des variables auxiliaires sont données en extrémité de ligne/colonne. La Table 3 présente les résultats du calage sur marge : les poids de calages, et les marges de la population en extrémités de ligne/colonne (en pourcentage).

	Petit Commerce	Artisanat et Service	Tertiaire de Bureau	Fréq.
Compte d'Autrui	37	20	30	61%
Compte Propre Expéditeur	22	3	6	22%
Compte Propre Destinataire	15	10	0	17%
Fréquences (%)	58%	23%	28%	100%

Table 2: Effectifs croisés et fréquence des variables auxiliaires de l'échantillon

	Petit Commerce	Artisanat et Service	Tertiaire de Bureau	Marges
Compte d'Autrui	16691*0.50	16691*0.87	16691*0.96	45%
Compte Propre Expéditeur	16691*1.41	16691*1.28	16691*2.68	38%
Compte Propre Destinataire	16691*0.74	16691*2.44	NA	17%
Marges (%)	43%	26%	31%	100%

Table 3: Résultats du calage sur marges

La Table 2 indique que l'un des effectifs croisés (Tertiaire de Bureau ; Compte Propre Destinataire) est nul dans l'échantillon, cette situation ne pose pas problème puisque ce sont bien les marges qui sont contraintes et non les effectifs croisés. Pour la lecture de la Table 3, les poids de calages sont décomposés en produits  $d_k * f_k$  pour chaque individu  $k$  où les  $f_k$  corrigent les fréquences des variables auxiliaires, et les  $d_k$  sont les poids de

sondage qui corrigent la taille de l'échantillon. Dans un sondage aléatoire simple sans remise, les poids de sondages  $d_k$  sont tous égaux au ratio entre la taille de la population et le cardinal de l'échantillon. Pour les produits  $f_k$ , les résultats supérieurs à un indiquent une catégorie sous-représenté dans l'échantillon par rapport à la population, et à laquelle l'opération de redressement doit donner plus de poids. Inversement les facteurs de redressement inférieurs à 1 indiquent une catégorie surreprésentée dans l'échantillon. La fréquence de la variable 'Compte d'Autrui' est supérieure dans l'échantillon (61%) que dans la population (45%), il est donc cohérent que les trois facteurs associés soient tous inférieurs à un. A l'inverse la fréquence de la variable 'Compte Propre Expéditeur' est inférieure dans l'échantillon (22%) que dans la population (38%), et les trois facteurs associés sont tous supérieurs à 1. La fréquence de la variable 'Compte Propre Destinataire' est la même dans l'échantillon et la population (17%). En ce qui concerne les secteurs d'activité, les variables 'Artisanat et Service' et 'Tertiaire de Bureau' sont légèrement sous-représenté dans l'échantillon (respectivement 23% et 28%) par rapport à la population (respectivement 26% et 31%), elles sont donc redressées à la hausse par 3 facteurs sur 5 supérieurs à 1. La variable 'Petit Commerce' est surreprésentée dans l'échantillon (58%) par rapport à la population (43%), elle est donc redressée à la baisse par deux facteurs sur 3 inférieurs à 1.

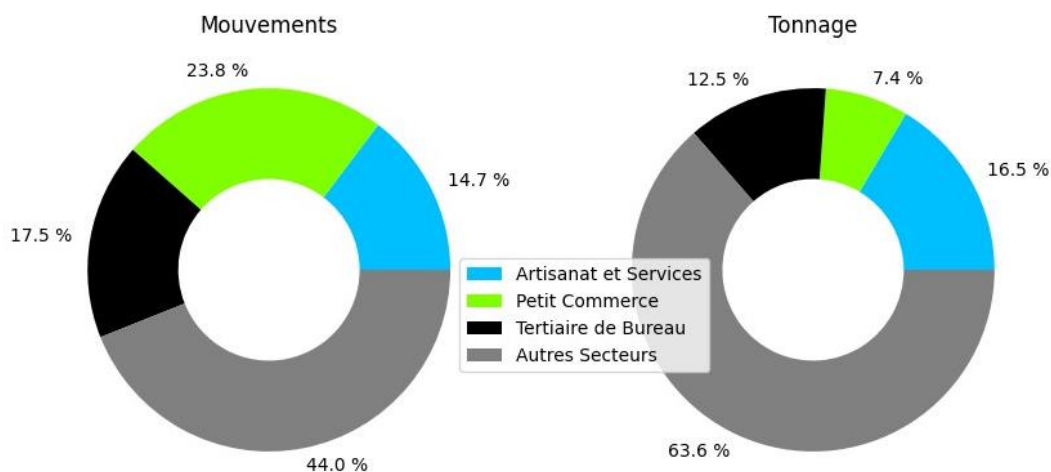


Figure 9: Contribution des trois secteurs visés par l'enquête aux mouvements et au tonnage de marchandises en Ile de France (source: Serouge, 2018)



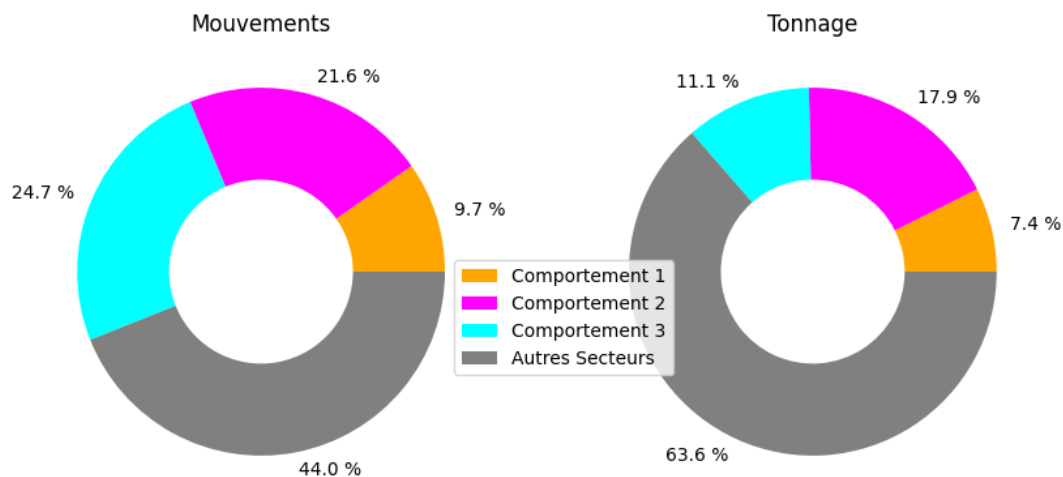


Figure 10: Contribution des trois ensembles de comportements identifiés au nombre de mouvements et au tonnage de marchandises en Ile de France

La Figure 9 représente la contribution des trois secteurs d'intérêt au nombre de mouvements et au tonnage de marchandises en Ile de France, d'après les résultats de l'enquête « Marchandises en Ville ». Parallèlement, la Figure 10 décrit la répartition des trois comportements identifiés parmi ces trois secteurs après redressement de l'échantillon. Les secteurs Artisanat et Service, Petit Commerce et Tertiaire de Bureau représentent 56% des mouvements totaux et 36.4% du tonnage total. Les points de réception correspondant au comportement 3 sont à l'origine de 24.7% des mouvements mais seulement 11.1% du tonnage. L'ensemble lié au comportement 2 est le principal générateur de tonnage, avec 17.9% du tonnage total. Quant aux points de réception liés au comportement 1, il est minoritaire à la fois en termes de mouvements (9.7%) et en terme de tonnage (7.4%).

#### 4. Discussion des résultats et conclusion

##### *Résultats Principaux*

L'enquête de terrain révèle deux tendances parmi les points de réception de marchandises : chez certains les besoins de l'activité commerciale déterminent les horaires de livraison, qui doivent être transmises en amont dans la chaîne logistique, quitte à opter pour une gestion dédiée de l'approvisionnement, voire en compte propre. Chez d'autres, il y a peu, voire pas de maîtrise des horaires de livraisons, qui sont générées par l'activité logistique. Ce résultat suggère que si la première catégorie a des exigences précises, la seconde est plus flexible, et cette propriété pourrait être mise à profit pour

définir des stratégies de mutualisation à grande échelle et ainsi mieux utiliser les infrastructures de mutualisation tout au long de la journée.

L'étude des réponses à l'enquête de terrain par Analyse Factorielle Mixte a permis de mettre en évidence trois ensembles de comportements parmi les points de réception de marchandises à Paris. L'activité économique est déterminante pour comprendre ces comportements puisque les trois ensembles, bien que n'étant pas complètement homogènes, regroupent clairement des types d'activités proches. Cela confirme l'intérêt de la mutualisation à large échelle et justifie la recherche de synergies entre secteurs d'activité pour définir des articulations temporelles compatibles des flux logistiques. Parmi les trois ensembles de comportements, le plus intransigeant sur les horaires de livraisons actuelles représente moins de 10% des mouvements en Ile de France alors que les deux autres représentent plus de 45% des mouvements globaux et plus de 80% des mouvements des secteurs étudiés. La part en tonnage est plus faible mais les impacts sociaux et environnementaux sont fortement liés aux mouvements : congestion, GES, bruit etc.

### *Limites*

Dans le cadre de cette enquête de terrain exploratoire, le questionnaire devait être simple et rapide à remplir, mais cela signifie que les questions et les réponses ne sont ni détaillées ni approfondies. Notamment dans les sections 3 et 4, les créneaux sont larges (3h) et les profils de livraisons et d'affluences sont qualitatifs. Ce questionnaire correspond au besoin de l'enquête exploratoire, c'est à dire cerner les enjeux autour de la question de la complémentarité temporelle des flux de marchandises. Mais il ne permet pas d'obtenir des chiffres suffisamment précis pour servir de base de donnée à des travaux quantitatifs de modélisation ou de recherche opérationnelle. Notamment explorer les conséquences et les opportunités des trois comportements identifiés sur les problèmes de routage de tournée, des travaux ultérieurs seront nécessaire.

### *Implications managériales*

L'enquête montre que la majorité des destinataires s'adapte aux horaires de livraison cela signifie qu'il existe une latitude pour les logisticiens pour adapter leurs horaires de passage en fonction d'autres critères qui peuvent d'ailleurs changer à l'avenir : accès à la ville, chargement de véhicule électrique... En particulier, une donnée structurante actuelle est l'heure d'arrivée le matin (pour éviter la congestion) qui pourrait être remise

en cause par l'utilisation du multimodal. Enfin, il peut être envisagé dans le cas d'une infrastructure ou de services partagés, qu'une ressource soit utilisée à la fois pour des livraisons contraintes temporellement et non contraintes. Cette enquête exploratoire montre qu'il existe une marge de manœuvre importante pour adapter les livraisons urbaines B to B.

### *Perspectives*

Les essais et les erreurs des Centres de Distribution Urbains sont une source inestimable de connaissances acquises sur les modèles économiques et la viabilité d'initiatives de mutualisation dans l'approvisionnement urbain, et ils ont largement nourri nos travaux. Mais bien entendu, les résultats sur la complémentarité temporelle des flux logistiques n'y sont pas limités, et peuvent s'appliquer à d'autres stratégies de mutualisation des ressources de transport de marchandises, identifiées par Gonzalez-Feliu et al. (2018) comme ayant le potentiel de dépasser les limites et les inefficacités des CDU. Ces travaux participent donc, sur la base du constat de nombreux échecs de mutualisation dans le transport de marchandise, à l'ambition d'identifier les conditions sous lesquelles l'écart entre le potentiel et les bénéfices perçus de la collaboration horizontale pourrait être comblé (Ferrell et al., 2020).

### **Bibliographie**

- Allen, J., Browne, M., Woodburn, A., Leonardi, J., 2014. A Review of Urban Consolidation Centres in the Supply Chain Based on a Case Study Approach. *Supply Chain Forum: An International Journal* 15, 100–112. <https://doi.org/10.1080/16258312.2014.11517361>
- Allen, J., Browne, M., Woodburn, A., Leonardi, J., 2012. The Role of Urban Consolidation Centres in Sustainable Freight Transport. *Transport Reviews* 32, 473–490. <https://doi.org/10.1080/01441647.2012.688074>
- Benzécri, J.-P., 1982. Histoire et préhistoire de l'analyse des données. (Bordas-)Dunod, Paris.
- Chapados, N., Joliveau, M., L'Ecuyer, P., Rousseau, L.-M., 2014. Retail store scheduling for profit. *European Journal of Operational Research* 239, 609–624. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.05.033>
- Cibois, P., 2007. Les méthodes d'analyse d'enquêtes, Que sais-je ? Presses universitaires de France, Paris.
- Crujssen, F., Cools, M., Dullaert, W., 2007. Horizontal cooperation in logistics: Opportunities and impediments. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 43, 129–142. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2005.09.007>
- Dablanc, L., Patier, D., Gonzalez-Feliu, J., Augereau, V., Leonardi, J., Luppino, G., Levifve, H., Simeoni, T., Cerdà, L., 2015. City Logistics Best Practices: a Handbook for Authorities. <https://doi.org/10.13140/2.1.5149.5201>

- Daniel Boudouin, Danièle Patier, Florence Toilier, Philippe Bossin, Laetitia Dablanc, 2018. Guide méthodologique Les espaces logistiques urbains.
- Deflorio, F., Gonzalez-Feliu, J., Perboli, G., Tadei, R., 2012. The Influence of Time Windows on the Costs of Urban Freight Distribution Services in City Logistics Applications. *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 12. <https://doi.org/10.18757/ejtir.2012.12.3.2965>
- Deflorio, F.P., Perboli, G., Tadei, R., 2010. Freight distribution performance indicators for service quality planning in large transportation networks. *Flex Serv Manuf J* 22, 36–60. <https://doi.org/10.1007/s10696-010-9072-1>
- Faure, L., Burlat, P., Marquès, G., 2016. Evaluate the Viability of Urban Consolidation Centre with Regards to Urban Morphology. *Transportation Research Procedia*, Tenth International Conference on City Logistics 17-19 June 2015, Tenerife, Spain 12, 348–356. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.071>
- Ferrell, W., Ellis, K., Kaminsky, P., Rainwater, C., 2020. Horizontal collaboration: opportunities for improved logistics planning. *International Journal of Production Research* 58, 4267–4284. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1651457>
- Gonzalez-Feliu, J., Malhéné, N., Morganti, E., Morana, J., 2014a. The Deployment of City and Area Distribution Centers in France and Italy: Comparison of Six Representative Models. *Supply Chain Forum: An International Journal*.
- Gonzalez-Feliu, J., Pronello, C., Salanova Grau, J.M., 2018. Multi-stakeholder collaboration in urban transport: State-of-the-art and research opportunities. *Transport* 33, 1079–1094. <https://doi.org/10.3846/transport.2018.6810>
- Gonzalez-Feliu, J., Taniguchi, E., Faivre d'Arcier, B., 2014b. Financing Urban Logistics Projects, in: Gonzalez-Feliu, J., Semet, F., Routhier, J.-L. (Eds.), *Sustainable Urban Logistics: Concepts, Methods and Information Systems*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 245–265. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-31788-0\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-642-31788-0_13)
- Grosso, R., Muñuzuri, J., Escudero-Santana, A., Barbadilla-Martín, E., 2018. Mathematical Formulation and Comparison of Solution Approaches for the Vehicle Routing Problem with Access Time Windows. *Complexity* 2018, e4621694. <https://doi.org/10.1155/2018/4621694>
- Lebeau, P., Verlinde, S., Macharis, C., Van Mierlo, J., 2017. How can authorities support urban consolidation centres? A review of the accompanying measures. *Journal of Urbanism* 10, 468–486. <https://doi.org/10.1080/17549175.2017.1310747>
- Muñuzuri, J., Grosso, R., Cortés, P., Guadix, J., 2013. Estimating the extra costs imposed on delivery vehicles using access time windows in a city. *Computers, Environment and Urban Systems* 41, 262–275. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.05.005>
- Nimtrakool, K., Gonzalez-Feliu, J., Capo, C., 2018. Barriers to the Adoption of an Urban Logistics Collaboration Process: A Case Study of the Saint-Etienne Urban Consolidation Centre, in: *City Logistics 2*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 313–332. <https://doi.org/10.1002/9781119425526.ch19>
- Pages, J., 2013. Analyse factorielle multiple avec R, *Pratique R*. EDP sciences, Les Ulis.
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., Duchesnay, É., 2011. Scikit-learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research* 12, 2825–2830.

- Quak, H.J. (Hans), de Koster, M. (René) B.M., 2009. Delivering Goods in Urban Areas: How to Deal with Urban Policy Restrictions and the Environment. *Transportation Science* 43, 211–227. <https://doi.org/10.1287/trsc.1080.0235>
- Sarraj, R., Ballot, E., Pan, S., Montreuil, B., 2014. Analogies between Internet network and logistics service networks: challenges involved in the interconnection. *J Intell Manuf* 25, 1207–1219. <https://doi.org/10.1007/s10845-012-0697-7>
- Serouge, M., Patier, D., Routhier, J.-L., Toilier, F., 2018. Enquête Marchandises en Ville réalisée en Île-de-France entre 2010 et 2013 127.