Section Génie Civil

La logistique urbaine à Lausanne : diagnostic sur les cases de livraison au centre-ville

Projet de Master – Printemps 2023

EPFL

Réalisé per l'étudiante : Ariane Klotz

Encadré par : le Professeur N. Geroliminis pour l'EPFL et Monsieur C. Tchervenkov pour la Ville de Lausanne

Remerciements

Tout d'abord je tiens à remercier le Professeur Geroliminis pour son encadrement et pour son soutien pendant ce projet. De même, je remercie chaleureusement mon superviseur à la Ville de Lausanne, Mr. Christopher Tchervenkov, pour son encadrement, son aide précieuse et nos nombreuses conversations autour de mon travail. Ses commentaires et réflexions m'ont grandement aidé à restructurer mon travail quand je perdais le fil, ce qui est arrivé plusieurs fois.

Je tiens également à remercier Mme. Daphné Dethier pour m'avoir offert un stage à la ville de Lausanne et de l'avoir encadré. Cette première expérience professionnelle a aiguisé ma curiosité pour le domaine de la mobilité. C'est aussi grâce à ce stage que j'ai choisi le sujet de mon projet de Master.

Je remercie aussi les personnes que j'ai rencontré lors de mon stage à la ville, et qui sont restées en contact lors de la réalisation de mon projet de Master. Pour n'en citer que quelques-unes : à Leandra, Andréa, Michael, José, Nicolas et tant d'autres, merci pour votre soutien.

Merci à toutes les personnes qui ont bien voulu répondre à mon enquête, vous ne lirez sûrement jamais ce document mais votre contribution était indispensable et précieuse.

Enfin, je tiens à remercier mes parents pour leurs nombreuses lectures, relectures et corrections. Je n'aurai sûrement pas réussi à conclure ce travail sans vous, merci.

Résumé

Ce projet de Master se focalise sur le parc de cases de livraison au centre-ville lausannois afin d'établir un bilan de la situation actuelle concernant l'adéquation de l'offre et de la demande. Il avance des recommandations d'actions pour le service Mobilité et Aménagement des espaces Publics (MAP) de la Ville de Lausanne, dans le but de résoudre les problèmes identifiés lors de ce diagnostic.

Une enquête est donc réalisée au centre-ville de Lausanne, sur un périmètre composé de trois zones de typologie différente. Pour chacune des zones, les cases de livraison sont répertoriées. Les établissements autour de ses cases sont recensés, et des entrevues dirigées à destination de ces établissements sont réalisées à l'aide de questionnaires.

Les données découlant de cette enquête sont ensuite analysées. Les résultats obtenus nous apprennent que l'offre en case de livraison disponible n'est pas adaptée à la demande actuelle, il y a donc une inadéquation entre l'offre et la demande. De plus, les résultats relèvent aussi les nuisances directement ou indirectement générées par cet état de fait : la prédation de l'espace public due aux livraisons hors case, la congestion de la circulation que ces comportements entrainent, la pollution atmosphérique et sonore y afférente, accentuée par un mode de livraison essentiellement carboné.

Enfin, des recommandations sont suggérées, inspirées par les nombreuses solutions existantes ou en phase de test, détaillées dans la revue de littérature. Les recommandations sont indépendantes mais cumulables, et ont des degrés de mise en œuvre différents. Elles évoluent d'une simple campagne de communication sur la bonne utilisation des cases de livraison, à la mise en place d'une Zone à Faibles Émissions (ZFE).

Abstract

This Master's project focuses on the downtown delivery bays in Lausanne, with the aim of assessing the current situation regarding the adequacy of supply and demand. It provides recommendations for actions to the Mobility and Public Spaces Planning (MAP) department of the City of Lausanne, to address the issues identified during this assessment.

An investigation is conducted in downtown Lausanne, within a perimeter comprising three different typology areas. For each area, delivery bays are cataloged. The establishments around these delivery bays are surveyed, and structured interviews with these establishments are carried out using questionnaires.

The resulting data from this investigation is then analyzed. The obtained results reveal that the available delivery bay supply is not suited to the current demand, indicating a mismatch between supply and demand. Furthermore, the findings also highlight the nuisances directly or indirectly generated by this situation: encroachment on public space due to off-bay deliveries, traffic congestion resulting from these behaviors, as well as air and noise pollution exacerbated by a predominantly carbon-based delivery mode.

Finally, recommendations are suggested, drawing inspiration from various existing or in-testing solutions detailed in the literature review. The recommendations are independent yet can be cumulative, and they vary in terms of implementation feasibility. They range from a simple communication campaign promoting proper use of delivery bays to the implementation of a Low Emission Zone (LEZ).

Table des matières

INTRODUCTION **9**

1. CONTEXTE **14**

QU'EST-CE QU'ON ENTEND PAR LOGISTIQUE URBAINE ? 14
LES ACTEURS PRINCIPAUX 15
LA REGLEMENTATION 15
LE DERNIER KILOMETRE 16
LES DEFIS DE LA LOGISTIQUE URBAINE DANS LES CENTRES-VILLES 16

2. REVUE DE LITTERATURE **18**

2.1 SOLUTIONS DE LIVRAISON DU DERNIER KILOMETRE **18**
DEVELOPPEMENT DE LA LIVRAISON EN MODE ACTIF 18
LE CAS PARTICULIER DES ROBOTS ET DES DRONES 21
MASSIFICATION 22
MUTUALISATION 23
LE « *CROWDSHIPPING* » OU LIVRAISON COLLABORATIVE 24
GESTION DES ESPACES DE LIVRAISON 25
REGULATION PAR LA REGLEMENTATION 27
LES HORAIRES DECALES 28
LA REGLEMENTATION ENVIRONNEMENTALE 28
LE CONTROLE 30
L'INFORMATION 31
2.2 UN FOCUS PARTICULIER SUR LES CASES DE LIVRAISON **32**
CASES DE LIVRAISON : TYPOLOGIE, SIGNALISATION, REGLES D'UTILISATION 32
LES CASES DE LIVRAISON A LAUSANNE : PROBLEMATIQUE DE L'IMPLANTATION 36
EN FRANCE, LE GUIDE DE RECOMMANDATIONS DU CERTU COMME REFERENCE 37
LIEN AVEC L'AMELIORATION DE LA QUALITE DE L'AIR 38
EN CONCLUSION 38

3. QUESTIONS DE RECHERCHE **40**

4. METHODOLOGIE 41

4.1 METHODOLOGIE D'ENQUETE 41

PROFIL DES ZONES 44

ENQUETE QUANTITATIVE ET QUESTIONNAIRE 47

DIFFICULTES RENCONTREES 48

4.2 METHODOLOGIE DE TRAITEMENT DES DONNEES 50

MOYENNE 50

ÉCART-TYPE 51

ÉCART-TYPE RELATIF 51

INTERVALLE DE CONFIANCE 51

ANALYSE DETAILLEE DES DONNEES 51

5. ANALYSE DES DONNEES ET PRESENTATION DES RESULTATS 53

5.1 ANALYSE DE LA DEMANDE 53

TYPE D'ETABLISSEMENTS RECENSES 53

FREQUENCE DE LIVRAISON, PAR SEMAINE 54

TEMPS MOYEN DE DECHARGEMENT 55

JOURS DE LIVRAISON 56

TYPES DE VÉHICULE DE LIVRAISON 57

5.2 Y A-T-IL ADEQUATION ENTRE OFFRE ET DEMANDE SUR LES CASES DE LIVRAISON ? 59

LIEUX D'ARRET DES VEHICULES DE LIVRAISON 59

TEMPS DE DECHARGEMENT 60

FREQUENCE DE LIVRAISON 62

6. DISCUSSION 64

6.1 RECOMMANDATIONS 65

RECOMMANDATION 1 – CAMPAGNE D'INFORMATION ET DE SENSIBILISATION DES USAGERS 65

RECOMMANDATION 2 – SANCTUARISATION DE CASES DE LIVRAISON 66

RECOMMANDATION 3 – ESSAI D'UNE APPLICATION DE GESTION INTELLIGENTE DES ESPACES DE LIVRAISONS EN VILLE 66

RECOMMANDATION 4 – INSTAURATION D'UNE ZONE DE FAIBLES ÉMISSIONS DE GAZ, PARTICULES ET BRUITS 67

6.2 LIMITES 68

7. CONCLUSION 69

8. BIBLIOGRAPHIE 71

ANNEXE A – EXEMPLE DE REPONSE AU QUESTIONNAIRE 74

ANNEXE B – ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES POUR VALIDATION 78

ANNEXE C – PHOTOS PRISES SUR LE TERRAIN 80

ANNEXE D - ANALYSE SPATIALE (PAR ZONE) 82

ANNEXE E – GRAPHIQUES ET RESULTATS GENERES, NON-UTILISES DANS LE RAPPORT 85

Liste des images graphiques et tableaux

Image 1 – Velo cargo electrique utilise par la societe URBY 19
Image 2 – Robot suiveur experimental de la Poste française 21
Image 3 – Nano-hub de la societe OVO 22
Image 4 – OVO et ses velos cargos pour le dernier kilometres, schema explicatif 23
Image 5 – Panneaux d'information sur l'experimentation de l'application mobile PARKUNLOAD a Paris... 26
Image 6 – Signalisations au sol 6.22 et 6.23 de l'OSR pour les emplacements interdits au stationnement 33
Image 7 – panneau signaletique 2.50 de l'OSR, indiquant l'interdiction de stationner 33
Image 8 – Photo prise sur le terrain, illustrant le panneau accompagne du signal complementaire mentionne 33
Image 9 – Plan et horaires d'acces des zones pietonnes pour les livraisons a Lausanne..... 35
Image 10 – Photo prise sur le terrain : exemple de borne d'acces programmee pour les livraisons 35
Image 11 – Photo prise sur le terrain, vehicule de livraison arrete sur une piste cyclable 63
Image 12 – Photo prise sur le terrain, vehicule de livraison arrete sur le trottoir 63

Graphique 1 – Évolution du taux d'occupation des cases de livraison a Geneve, avant et apres la campagne de sensibilisation (Ville de Geneve, 2022) 31
Graphique 2 – Nombre d'etablissements selon leur classification NOCA pour la zone 1 44
Graphique 3 - Nombre d'etablissements selon leur classification NOCA pour la zone 2 45
Graphique 4 - Nombre d'etablissements selon leur classification NOCA pour la zone 3 46
Graphique 5 – Repartition des types d'etablissements selon leur code NOCA 54
Graphique 6 – Nombre d'etablissements selon leurs frequence de livraison 55
Graphique 7 – Nombre d'etablissements selon leurs temps moyens de dechargement 55
Graphique 8 – Nombre d'etablissements livres par jour, sur les jours ouvres de la semaine..... 56
Graphique 9 – Types de vehicules (ou methode) de livraison utilise, en nombre d'etablissements..... 57
Graphique 10 – Type de vehicule (ou methode) de livraison selon le type de l'etablissement (code NOCA) 58
Graphique 11 – Lieu d'arret du vehicule de livraison 59
Graphique 12 – Temps moyen de dechargement selon le lieu d'arret..... 61
Graphique 13 – Temps moyen de dechargement selon le type de vehicule de livraison..... 61
Graphique 14 – Frequence de livraison selon le lieu d'arret 62

Tableau 1 – Classification des vehicules autorises dans les ZFE françaises..... 29
Tableau 2 – Types d'etablissements dans le perimetre etudie selon leur code NOCA..... 43
Tableau 3 – Types d'etablissements ayant repondu a l'enquete 53
Tableau 4 – Matrice de correlation 79

Introduction

« *Après le 1er janvier prochain, nul ne conduira un chariot dans les rues de Rome ou dans les rues des faubourgs où il y a un logement continu après le lever du soleil ou avant la dixième heure du jour, sauf ce qui sera approprié pour le transport et l'importation de matériel pour la construction des temples des dieux immortels, ou pour des travaux publics, ou pour enlever de la ville les ordures des bâtiments pour la démolition desquels des marchés publics ont été attribués. À ces fins, la présente loi autorise des personnes déterminées à conduire des chariots pour les raisons indiquées.* »

Cet article 14 de la « loi de César sur les municipalités, 44 av. J.-C. »[1] illustre à quel point la logistique urbaine est une problématique inhérente à la vie des cités dont la régulation est apparue très tôt comme une nécessité et dont la complexité n'a pu que s'accroître au cours des siècles.

Si l'on utilise la définition la plus simple de la logistique urbaine elle peut être considérée comme « l'art d'acheminer dans les meilleures conditions les flux de marchandises qui entrent sortent et circulent dans la ville » (Patier, 2002). Mais dans la réflexion sur l'organisation et l'optimisation de l'approvisionnement des marchandises en ville qui nécessite une série d'opérations plus ou moins complexes et nombreuses, allant de la transmission d'informations à la livraison au destinataire final en passant par le stockage et sa gestion, la préparation de commande, son conditionnement et son transport, il conviendra de tenir compte des flux de transport de personnes et de services qui génèrent notamment une compétition sur l'utilisation de l'espace public dévolu au trafic et aux livraisons.

Historiquement, la logistique urbaine s'est logiquement développée dans le sens du rapprochement entre les zones de livraison et celles de consommation. Les aires de livraison principales (marchés au gros, marchés de proximité et plus récemment grandes surfaces en périphérie des villes) ont longtemps drainé le principal de la consommation, les destinataires finaux intégrant dans l'organisation de leur vie professionnelle ou privée la nécessité de se déplacer pour finaliser leur approvisionnement. Depuis plusieurs années on assiste à une transformation profonde du comportement des consommateurs sous l'effet du développement du e-commerce dans tous les secteurs d'activité et de la livraison à domicile qui s'étend aux commerces de proximité et à la restauration, évolution que la crise sanitaire a fortement accentuée.

---

[1] Dans the Avalon Project *documents in law History and Diplomacy,* **Yale Law School:** https ://avalon.law.yale.edu/ancient/law_of_caesar.asp

Aujourd'hui la logistique urbaine s'organise autour de deux problématique interdépendantes. D'abord celle de la mise à disposition des marchandises dans la ville à travers la mise en place de zones de stockage des biens importés, de plus en plus périphériques suivant la logique de ***l'étalement logistique***[2] et leurs systèmes d'approvisionnement (voie aérienne, terrestre, ferroviaire, navigation fluviale ou lacustre, développement de solutions radicalement innovantes). Le bon fonctionnement et la consolidation permanente de ces premiers flux d'approvisionnement est d'une importance capitale pour la ville qui construit là sa souveraineté logistique : on mesure son aspect stratégique quand on sait que L'ADEME estime l'autonomie alimentaire d'une Métropole comme Paris à trois jours en cas de cessation de son approvisionnement.

La seconde problématique est celle de la logistique du dernier kilomètre qui désigne l'ensemble des opérations mises en œuvre depuis la préparation de la commande du client sur la plate-forme logistique jusqu'à la livraison au point de dépose souhaitée par celui-ci. Dans la mesure ou l'évolution des comportements de consommation se traduit par l'atomisation des points de livraisons en cœur de ville et par la multiplication des livraisons (200 000 colis issus du e-commerce sont livrés chaque jour à Paris), la mise en place d'une gestion durable du dernier kilomètre devient un enjeu essentiel pour l'amélioration de la qualité de vie dans les villes.

L'interdépendance de ces deux problématiques de la logistique urbaine apparait comme une évidence puisque plus les plateformes logistiques sont éloignées du cœur de ville plus la distance à parcourir pour le dernier kilomètre s'allonge alourdissant ainsi ses impacts négatifs. La pénétration de zones de stockage plus à l'intérieur du tissu urbain sous forme d'entrepôts urbains, de hubs de quartiers ou de micro-hubs est donc une solution pour réduire les nuisances : « la plupart des cantons et des villes suisses ont maintenant compris qu'il fallait arrêter la politique d'expulsion des sites de logistique hors de la ville qui a été réalisée jusqu'à présent » (Hauenstein, 2020). Cette inversion de tendance est à l'œuvre depuis plusieurs années mais elle se heurte au problème du foncier disponible en zone urbaine dense.

Si dans la Rome antique la législation sur le transport de marchandise en ville ne concernait certainement que les problèmes de congestion du trafic, les nuisances induites aujourd'hui par la logistique du dernier kilomètre sont toujours celles liées aux encombrements de la circulation auxquelles viennent s'ajouter les problèmes de pollution atmosphérique et sonore. Par ailleurs ce dernier kilomètre qui représente des milliers de kilomètres parcourus par les véhicules de livraison coûte très cher aux entreprises concernées (on estime à environ 20% la part du dernier

---

[2] **L*'étalement logistique*** *est un phénomène à l'œuvre depuis les années 1990 qui consiste en la* ***multiplication du nombre d'entrepôts logistiques dans les grandes agglomérations, suivant une localisation de plus en plus éloignée du centre urbain dense*** (Filleul & Herzog, 2022)***.***

kilomètre dans le coût total de la livraison ce qui peut représenter 5 à 6% du chiffre d'affaires des entreprise de transport et jusqu'à 26% pour les sociétés de e-commerce). Mais les coûts induits par la congestion du trafic ne concernent pas que les acteurs du transport de marchandises : ils affectent également tous les utilisateurs d'un moyen de transport routier. Dans sa thèse de doctorat de l'université Paris Est[3], Adrien Beziat donne une évaluation du coût marginal de congestion généré par différents types de véhicule dans Paris (page 335 tableau 8.4.3) : l'unité étant l'euro par véhicule-kilomètre [4] ce coût est respectivement de 0.92, 0.924 et 5.8 pour un véhicule particulier, un véhicule utilitaire léger et un poids lourd.

L'impact environnemental du dernier kilomètre n'a pas été évalué spécifiquement, les données existantes concernant l'ensemble du trafic de livraison dans les villes: les émissions engendrées par les véhicules à moteur thermique et impactant aussi bien l'évolution globale du climat que la qualité de l'air à l'échelle locale, concernent le dioxyde de carbone (CO_2), les particules fines, le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (Nox), le dioxyde de soufre (SO_2), les hydrocarbures imbrûlés et les composés organiques volatiles. A Genève, 1 668 tonnes d'oxydes d'azote et 240 tonnes de particules fines sont générées chaque année par le transport routier, le transport routier de marchandises en Ile de France est responsable à certaines heures de la journée de 50% des particules fines, 33% des Nox et SO_2 et 25% du CO_2 et la ville de Paris estime que le transport de marchandise en son sein est à l'origine de 50% de la consommation de diesel et 25% des émissions de gaz à effet de serre (Chappaz, Massard, Jaquet, & Guisan, 2014). Dans sa thèse que nous avons citée précédemment, Adrien Beziat donne également une évaluation du coût marginal de pollution globale (CO_2 et polluants locaux) engendrée par type de véhicules en Ile-de-France (tableau 8.4.2 page 334) : toujours dans la même unité (euro par véhicule-kilomètre) ce coût est respectivement de 0.2, 0.35 et 1.91 pour un véhicule particulier, un véhicule utilitaire léger et un poids lourd. De même pour la pollution sonore le coût est évalué aux valeurs respectives de 0.04, 0.04 et 0.43.

La logistique du dernier kilomètre a également un impact social puisque la densification du trafic et notamment la problématique de la recherche d'une place permettant l'arrêt du véhicule de livraison et son déchargement dans de bonnes conditions induit un stress chez les conducteurs professionnels ou particuliers et multiplie les risques d'accident.

---

[3] Thèse de doctorat de l'université de Paris Est en Aménagement de l'Espace et Urbanisme (CNU 24)
« Approche des liens entre transport de marchandises en ville, formes urbaines et congestion : le cas de l'Ile-de-France »
Thèse dirigée par Laeticia Dablanc et soutenue publiquement le 28 juin 2017

[4] **Véhicule-kilomètre** : unité de mesure correspondant au mouvement d'un véhicule routier sur un kilomètre.

Face à la nécessité de réduire fortement les nuisances induites par le transport de marchandises en ville et plus particulièrement sur le secteur du dernier kilomètre, les collectivités responsables ont fait évolué les règlementations: mise place des zones à faible émission (ZFE), réduction de la vitesse dans les cœurs de ville (zone 30 km/h), développement des voies réservées aux vélos, instaurations de plages horaires décalées (généralement entre 21h et 7h) pour les livraisons en ville, incitations financières à l'achat de véhicules électriques, développement des réseaux de bornes de recharge rapide…

Parallèlement à ces évolutions règlementaires, de nombreuses solutions innovantes sont testées et sont souvent le fruit d'une collaboration entre les entreprises privées souhaitant développer une logistique durable et les collectivités concernées. Le plus souvent, les nouveaux moyens de transport et le dernier kilomètre constituent leurs centres d'intérêt : poids lourds électriques, véhicules de livraison électriques, vélos cargos, drones, robots livreurs de colis.

Mais l'outil de régulation de la logistique du dernier kilomètre le plus important demeure la case de livraison. En effet quel que soit le type de véhicule utilisé, la livraison implique nécessairement l'arrêt et le stationnement de celui-ci pour une durée variable en fonction de la nature du colis livré et du service y afférent. Si la case de livraison n'existe pas à proximité du client final, si elle est mal dimensionnée pour le véhicule de livraison, si elle est occupée par un autre véhicule professionnel ou particulier, cela se traduira la plupart du temps par un stationnement en double-file, d'autant que l'article 37 de la loi fédérale sur la circulation routière ne l'interdit pas spécifiquement. On mesure là à quel point une mauvaise intégration de la case de livraison dans le schéma d'aménagement de la ville peut augmenter considérablement les nuisances que nous avons décrites.

A contrario la reconnaissance de l'enjeu que porte la case de livraison pour l'amélioration de la qualité de vie au cœur de ville doit conduire les collectivités publiques (il s'agit bien d'un équipement public de service aux entreprises) à engager une réflexion approfondie sur toutes les voies d'amélioration permettant d'augmenter l'efficience du maillage des cases de livraison. Ce travail porte sur de nombreux aspects :

- Le cadre réglementaire définissant les droits d'utilisation des cases (qui, quand et pour quelle durée) doit être précisé, clairement affiché et doit s'accompagner d'un système de contrôle efficace.
- Le dimensionnement des cases doit être étudié en fonction des différents types de véhicules autorisés à livrer dans les quartiers, du semi-remorque articulé au vélo-cargo tout en intégrant les habitudes de conduite des chauffeurs livreurs (parcage toujours en marche avant). Il doit également définir l'occupation de la voie publique par les cases (sur

la voirie, empiétant ou non sur les couloirs du bus, sur les pistes cyclables ou sur les trottoirs).

- Le nombre total de cases mises à disposition dans la ville (on en dénombre près de 9000 à Paris, 1518 à Genève et 256 à Lausanne) ne résulte pas de l'application d'une norme en fonction de la population des quartiers : sa détermination doit s'appuyer sur l'analyse des activités génératrices de flux logistiques. Des logiciels tels que Freturb[5] permettent d'affiner ce travail.
- Les conditions de travail du chauffeur livreur appelé à manutentionner parfois de lourdes charges doivent être prises en compte pour diminuer la pénibilité de leur activité. Cela se traduit bien sûr au niveau de l'aménagement de la case (franchissement des trottoirs notamment) mais également par la mise à disposition d'un système performant permettant de connaître à l'avance la disponibilité des cases voire dans l'idéal d'effectuer une réservation de parcage.

En mai 2021, le Canton de Vaud propose une stratégie pour le transport de marchandises qui suit les objectifs ambitieux du Plan climat avec la volonté de conserver une attractivité économique au sein du Canton. Ce document relève les enjeux et les opportunités que représentent les flux de marchandises vers les villes. Notamment, la densification urbaine des villes du Canton telle que Lausanne nécessite une gestion logistique accrue de la mobilité dans les centres-villes.

Au centre-ville de Lausanne, les difficultés rencontrées sur l'acheminement des marchandises sur le dernier kilomètre sont nombreuses, et la situation des cases de livraison au centre-ville en fait partie. À la ville de Lausanne, la volonté d'élaborer un concept logistique pour l'agglomération lausannoise fait partie intégrante des objectifs du service de la « mobilité et de l'aménagement des espaces publics », (MAP).

Ce projet de Master se focalise donc sur le parc de cases de livraison au centre-ville lausannois afin d'établir un bilan de la situation actuelle et d'offrir des recommandations d'actions pour le service MAP de la ville de Lausanne.

[5] *Freturb est un logiciel opérationnel permettant de modéliser l'occupation de la voirie par les véhicules de livraison en agglomération et notamment d'estimer la durée et le mode de stationnement des véhicules de livraison*

1. Contexte

Avant de se plonger dans la question de la logistique urbaine lausannoise, il est important de redéfinir quelques termes essentiels à la compréhension du contexte de ce travail. En effet, le terme de logistique urbaine est utilisé pour définir un domaine très vaste de la mobilité.

Qu'est-ce qu'on entend par logistique urbaine ?

La logistique urbaine représente l'ensemble des stratégies, des méthodes et des techniques visant à optimiser la gestion et la livraison de marchandises et de produits dans les villes. Elle s'applique notamment aux défis liés au transport, à la distribution et à la livraison des biens dans les environnements urbains complexes, souvent marqués par la circulation intense, la congestion, la limitation de l'espace et la nécessité de respecter des réglementations environnementales strictes. Bien qu'elle soit la dernière étape du flux de marchandises, son bon déroulement est crucial dans l'acheminement des produits depuis le producteur jusqu'au consommateur.

Les objectifs de la logistique urbaine sont nombreux, et diffèrent selon les zones urbaines. Pour la ville de Lausanne, les objectifs retenus sont en concordance avec ceux exprimés dans le Plan climat :

- La minimisation de la congestion routière,
- La réduction des émissions de gaz à effet de serre,
- L'amélioration de la qualité de vie des citoyens,
- La promotion de modes de transport plus durables.

Pour atteindre ces objectifs, plusieurs solutions sont déjà disponibles, comme la livraison à des heures de faible circulation, l'utilisation de véhicules plus petits et plus écologiques, ou encore l'optimisation des itinéraires de livraison. L'état de l'art de ce projet tente de lister les solutions existantes et prouvées ainsi que les solutions innovantes, afin de les analyser et de pouvoir proposer une mise en œuvre pour le centre-ville de Lausanne.

En résumé, la logistique urbaine vise à améliorer la livraison des produits tout en minimisant les impacts négatifs sur les habitants et sur l'environnement des zones urbaines. C'est un domaine en évolution permanente, qui nécessite une collaboration entre tous ses acteurs.

Les acteurs principaux

Il existe plusieurs acteurs clés impliqués dans la logistique urbaine, chacun jouant un rôle distinct et important dans la gestion efficace des chaînes d'approvisionnement dans les villes. Les principaux acteurs de la logistique urbaine incluent :

- Les ***producteurs*** sont les entreprises qui produisent les biens destinés à la vente. Ils sont responsables de la production, du stockage et de l'expédition des produits vers les entrepôts.
- Les ***transporteurs*** sont les entreprises qui se chargent du transport des produits depuis les entrepôts jusqu'aux centres-villes. Ils peuvent utiliser différents modes de transport, tels que les camions, les trains ou les bateaux, en fonction des besoins et des destinations.
- Les ***distributeurs*** sont les entreprises qui se chargent de la distribution des produits dans les centres-villes. Ils peuvent être responsables de la gestion des entrepôts urbains, de la livraison aux points de vente ou de la livraison directe aux consommateurs finaux.
- Les ***détaillants*** sont les entreprises qui vendent directement aux consommateurs finaux. Ils peuvent être impliqués dans la livraison des produits à domicile ou dans la gestion de “pick-up” points en ville.
- Les ***autorités locales*** sont les gouvernements locaux qui sont responsables de la planification urbaine, de la gestion de la circulation et de la protection de l'environnement. Ils peuvent également être impliqués dans la mise en place de réglementations et de politiques visant à améliorer la durabilité de la logistique urbaine.

Une collaboration étroite entre ces différents acteurs est nécessaire pour garantir la livraison rapide et efficace et durable des produits aux consommateurs finaux.

La réglementation

Des réglementations sur la logistique urbaine existent déjà dans certaines villes mais concernent surtout la restriction des heures de circulation et des heures de stationnement pour les véhicules de livraison, ainsi que le type de véhicule autorisé. La réglementation existante pour la ville de Lausanne n’est pas très précise, avec notamment une dizaine d’horaires différents alloués pour les livraisons dans le centre-ville. Une simplification de ces horaires n’est cependant pas si simple car de multiples acteurs sont impliqués, une étroite collaboration entre eux s’impose pour un changement réussi.

Les réglementations peuvent également inclure des obligations pour les entreprises, telles que la mise en place de systèmes de gestion de la livraison pour minimiser les perturbations de la circulation et les nuisances sonores.

Dans l'optique du Plan climat, la ville de Lausanne s'efforce de réduire son impact environnemental et de devenir neutre en carbone d'ici 2030. Le secteur de la mobilité représente une véritable opportunité d'action, particulièrement avec la possibilité de mettre en place des politiques pour encourager l'utilisation de modes de transport plus durables pour la livraison de produits, tels que les vélos ou les véhicules électriques.

Le dernier kilomètre

Le dernier kilomètre (ou "last-mile delivery") de la chaîne d'approvisionnement fait référence à la dernière étape de la livraison d'un produit depuis un entrepôt ou un centre de distribution jusqu'au client final. C'est un aspect crucial de la logistique urbaine. Cette dernière étape peut être un défi pour les entreprises de logistique en raison de la complexité de la livraison à des adresses individuelles et des exigences en matière de temps et de coûts. Elle devient encore plus importante dans les centres-villes majoritairement piétons, où les défis logistiques sont amplifiés par la présence de nombreux piétons, la circulation limitée et les espaces publics restreints.

L'importance de la gestion du dernier kilomètre dans les centres-villes piétons est accentuée par les objectifs du Plan climat. Les livraisons en ville ont un impact considérable sur la qualité de l'air, le bruit, et la santé environnementale des citoyens, ainsi que sur la durabilité des chaînes d'approvisionnement. Il est donc crucial de développer des solutions de logistique urbaine durables pour réduire l'empreinte carbone des livraisons et contribuer à atteindre les objectifs climatiques du pays.

Les défis de la logistique urbaine dans les centres-villes

Les centres-villes présentent de nombreux défis pour la logistique urbaine, notamment :

- La congestion routière : la forte densité de circulation dans les centres-villes peut entraîner des retards de livraison et une pollution de l'air accrue en raison de la circulation des véhicules de livraison,

- Les restrictions d'accès : certaines zones des centres-villes peuvent être interdites aux véhicules de livraison de grande taille en raison de restrictions de circulation ou de limites de hauteur,
- Les espaces de stockage limités : les centres-villes sont souvent caractérisés par un manque d'espace de stockage pour les marchandises en attente de livraison,
- Les espaces de stationnement limités : le manque d'espaces de stationnement disponibles peut rendre difficile la livraison de marchandises dans un centre-ville,
- Les coûts élevés : le coût des livraisons dans les centres-villes peut être plus élevé en raison des frais supplémentaires liés à la circulation, à la gestion de la livraison et à la location d'espace de stockage,
- Les nuisances pour les habitants : les activités de livraison peuvent être source de nuisances pour les résidents des centres-villes, telles que le bruit, la pollution visuelle et la congestion.

Il est important de noter que ces problèmes peuvent varier en fonction de la taille et de la densité de la population, ainsi que des restrictions liées à la circulation et à l'accès dans les différentes zones. Les professionnels de la logistique urbaine travaillent souvent avec les gouvernements locaux et les entreprises doivent trouver un équilibre entre les besoins en matière de livraison et les impacts sur les habitants et l'environnement des centres-villes pour trouver des solutions durables aux défis liés à la livraison de marchandises dans la ville.

2. Revue de littérature

2.1 Solutions de livraison du dernier kilomètre

Comme mentionné précédemment, la livraison du dernier kilomètre en centre-ville constitue un enjeu majeur pour les entreprises de logistique et de e-commerce à l'ère de la croissance des achats en ligne et de l'importance grandissante de la durabilité environnementale (Rajaa & Ibnoulkatib, 2019). Les dix dernières années ont été marquées par l'émergence de solutions innovantes visant à optimiser la livraison tout en réduisant l'impact sur l'environnement et sur la congestion urbaine. Un état de l'art est réalisé afin de mieux comprendre l'état de la logistique urbaine du dernier kilomètre, et d'identifier les défis et les opportunités qui en ressortent.

Développement de la livraison en mode actif[6]

Longtemps délaissés dans la planification des transports à l'ère du tout-automobile, les modes actifs tendent à retrouver une place centrale pour effectuer des trajets de courtes distances dans des territoires urbains ou péri-urbains ou dans le cadre d'une mobilité intermodale. Revisités et modernisés, ils s'articulent avec une offre de transports collectifs élargie (car, bus, tramway, train, métro) et s'intègrent dans de nouvelles pratiques de mobilité (covoiturage, autopartage, vélo en libre-service, etc.) (Le Dantec, 2016).

L'Europe a été la plus agressive dans le développement des modes actifs de livraison et notamment le déploiement de vélos cargo pour les livraisons dans les centres-villes. En effet, les villes européennes ont généralement des rues étroites et des infrastructures anciennes (contrairement aux États-Unis), et les vélos apparaissent comme une solution naturelle à la décongestion routière.

Cependant la politique de dépollution de l'air engagée depuis de nombreuses années au niveau européen est également à l'origine du basculement vers ces pratiques de livraisons plus vertueuses sur le plan environnemental.

Face aux enjeux sanitaires liés à une mauvaise qualité de l'air et à la problématique du dépassement des valeurs limites réglementaires des concentrations dans l'air pour les particules (PM_{10} et $PM_{2,5}$) et le dioxyde d'azote (NO_2), plusieurs pays européens ont mis en œuvre depuis les années 2000 des zones dont l'accès est interdit aux véhicules les plus émetteurs de polluants

[6] Mode actif : modes de déplacement faisant appel à l'énergie musculaire, tels que la marche à pied et le vélo, mais aussi la trottinette, les rollers, etc.

atmosphériques que sont les particules (PM) et/ou les oxydes d'azote (NOx) **: les zones à faibles émissions, ou ZFE (L**ow **E**mission **Z**ones**)**[7]. En avril 2020, 247 ZFE étaient dénombrées dans 13 pays européens (Pouponneau, Forestier, & Cape, 2020). En France il existe aujourd'hui 11 agglomérations qui ont mis en place une ZFE : Paris, Lyon, Aix-Marseille, Toulouse, Nice, Montpellier, Strasbourg, Grenoble, Rouen, Reims et Saint-Etienne. D'ici 2025, 32 ZFE supplémentaires seront créés dans les agglomérations de plus de 150 000 habitants (Zones à faibles émissions mobilité : les mesures pour lutter contre la pollution de l'air, 2022). En revanche il n'existe actuellement qu'une zone à faibles émissions en Suisse, dans la ville de Genève. Il s'agit d'une zone environnementale temporaire, active entre 6 h et 22 h en cas d'alerte au smog (circulation différenciée).

Pour répondre à ces enjeux, des entreprises de commerce en ligne, comme Amazon par exemple, ont expérimenté la livraison par des livreurs à vélo électrique dans certaines villes. Des entreprises de livraison ont aussi lancé leurs propres essais de livraison à vélo, comme UPS, DHL ou encore FedEx. Des vélos pouvant supporter une charge entre 125 et 250 kg sont testés dans des villes comme Hambourg, Dortmund ou Francfort (Sheth, Butrina, Goodchild, & McCormack, 2019).

La société URBY, filiale de La poste en France, est présente sur 22 métropoles et livre l'ensemble de ses clients avec des vélos-cargo de 280 kg de charge utile.

Image 1 – Vélo cargo électrique utilisé par la société URBY

[7] Le principe d'une zone à faibles émissions repose sur l'interdiction d'accès à une ville ou à une partie de la ville pour les véhicules qui ne répondent pas à certaines normes d'émissions des polluants atmosphériques ou d'équipement (normes Euro et/ou présence d'un filtre à particules)

La société OVO dont le siège social est à Genève propose des solutions logistiques 100% décarbonées connectant train et vélo-cargo sur tout le territoire Suisse et utilise des vélo-cargo bi porteurs ou triporteurs de 100 à 250 kg de charge utile.

A Strasbourg, le projet d'Espace Logistique de Proximité est mis en œuvre par des entreprises privées[8] pour assurer les livraisons à destination du quartier de la Grande Ile : elles seront assurées par des triporteurs électriques spécialement conçus pour la livraison de colis et palettes, dotés d'une capacité de transport allant jusqu'à 400 kilos de marchandises, et présentant un rejet de CO_2 nul, ainsi qu'une absence de consommation de carburant et de nuisance sonore pour les riverains.

Outre l'avantage d'être respectueux de l'environnement et de réduire la congestion routière, l'un des atouts concurrentiels majeurs que présente le vélo cargo par rapport à un véhicule de livraison motorisé tel qu'une camionnette réside dans sa capacité à minimiser les délais liés à la recherche de stationnement. Selon une enquête réalisée par l'INRIX[9] en 2017, il a été démontré que les véhicules passent en moyenne 9 minutes lors de la recherche d'une place de stationnement en voirie. Cette situation engendre une augmentation significative des embouteillages ainsi que des émissions polluantes (Sheth, Butrina, Goodchild, & McCormack, 2019).

De plus, les livraisons en mode actif nécessitent moins de surface d'occupation lors des arrêts. Cependant, la capacité de charge limitée des livreurs et la distance qu'ils peuvent parcourir en une journée, surtout dans les villes avec du dénivelé, restent des défis à surmonter (Bosona, 2020) (Schliwa, Armitage, Aziz, Evans, & Rhoades, 2015).

Quand la livraison par mode actif n'est pas possible, on observe la mise en œuvre de véhicules plus petits et plus légers (Maria Patella, Grazieschi, Gatta, Carrese, & Marcucci, 2020). Une autre tendance observée pour ce type de livraison est le passage de sources d'énergie conventionnelles (fossiles) à des sources alternatives, comme l'utilisation de véhicules électriques ou fonctionnant à gaz naturel compressé (Machado de Oliveira, Albergaria De Mello Bandeira, Vasconcelos Goes, Neves Schmitz Gonçalves, & De Almeida D'Agosto, 2017) (Tomislav Letnik, 2022; Chappaz, Massard, Jaquet, & Guisan, 2014; Chappaz, Massard, Jaquet, & Guisan, 2014).

[8] Frigo Alsace, STEF, DB SHENKER

[9] INRIX® est une société de big data qui s'appuie sur des techniques d'analyses statistiques élaborées pour réduire le poids du trafic au niveau individuel, économique et environnemental

Le cas particulier des robots et des drones

Témoin du foisonnement d'idées novatrices portées par le secteur, l'utilisation de drones pour la livraison du dernier kilomètre est développée par des entreprises importantes telles que *Google's Wing* et *Amazon Prime Air* (Heath, 2018) (Jung & Kim, 2017). De plus en plus d'entreprises testent des livraisons par drones dans certaines zones urbaines (Shen, Xu, Zou, & Wang, 2021). L'utilisation de drones et de droïdes permettrait une nouvelle réduction des temps de livraison, une composante importante pour le client (Deloison, et al., 2020). Cette solution pourrait potentiellement révolutionner la logistique urbaine en évitant les embouteillages et en accélérant les livraisons. Un trajet plus direct et libéré des contraintes du trafic représente une solution ambitieuse mais effective à la congestion des villes. Néanmoins, des obstacles tels que la réglementation aérienne complexe, les préoccupations liées à la vie privée de la population, et la capacité de charge limitée des drones entravent leur mise en œuvre à grande échelle.

Dans la même catégorie, les robots de livraison et les véhicules autonomes sont en train de devenir une réalité dans certaines zones urbaines (Mourad, Puchinger, & Woensel, 2021). Des entreprises telles que *Starship Technologies* déploient des robots pour les livraisons du dernier kilomètre, réalisant plus de mille livraisons tous les jours (Starship Technologies, 2023).

La Poste expérimente un robot suiveur qui permet de porter 150kg de courrier et suit le facteur lors de ses tournées, avec une batterie disposant d'une autonomie de 8 heures et une vitesse limitée à 6km/h (Labre, 2018).

Image 2 – Robot suiveur expérimental de la Poste française

Bien que prometteurs, ces systèmes doivent encore s'adapter à divers environnements urbains, interagir de manière sécurisée avec les piétons et les véhicules, et être acceptés par la population. Compte tenu de ces nombreux écueils à franchir, notamment sur le plan réglementaire et légal, la mise en œuvre de ce type d'innovation s'inscrit dans une perspective trop lointaine pour intéresser la ville de Lausanne dans sa stratégie de logistique urbaine. L'utilisation de drones, de véhicules sans pilote et de robots ne sera donc pas traitée plus en détail dans ce mémoire.

Massification

La mise en place de casiers de retrait automatique dans des endroits stratégiques en centre-ville est une approche qui gagne en popularité afin de limiter le nombre de livraisons à domicile par des véhicules polluants. Les casiers sont utilisés comme une station de dépôt où les marchandises sont stockées, les clients peuvent récupérer leurs colis à leur convenance, ce qui réduit le besoin de livraisons individuelles à domicile ainsi que les risques de livraisons infructueuses. Toutefois, cela nécessite une collaboration étroite avec les entreprises de commerce électronique pour intégrer ces casiers dans leur processus logistique.

Cette approche se décline également au niveau des entreprises de livraison par l'installation de city-hubs, de micro-hubs placés à des endroits stratégiques à la ceinture de la ville, voire de nano-hubs facilitant le transfert camion-vélos pour desservir les quartiers.

On citera l'exemple de la société OVO et son projet nano-hub[10] : le projet prévoit le développement, la construction et l'installation sous forme de pilote de trois nano-hubs autonomes en milieu urbain.

Image 3 – Nano-hub de la société OVO

Ils ont pour objectif la gestion en flux tendu de marchandises afin de faciliter le transfert des camions aux vélos-cargos. Au lieu d'avoir un camion qui passe la journée à tourner en ville dans les bouchons afin de livrer les destinataires finaux, il ne fait plus qu'une tournée des dépôts nano-hubs en dehors des heures de pointes. Le dernier Kilomètre du colis ou de la marchandise est ensuite livré en vélo-cargo. Les retours ou la logistique inverse s'organise de la même manière.

[10] Le projet Nano-hub est un projet de OVO Logistique Urbaine et de l'Office cantonal des transports de l'État de Genève. Il est soutenu par la Confédération (Bureau de coordination pour la mobilité durable), les Villes de Carouge, Grand-Saconnex et Meyrin et le programme éco21 de SIG.

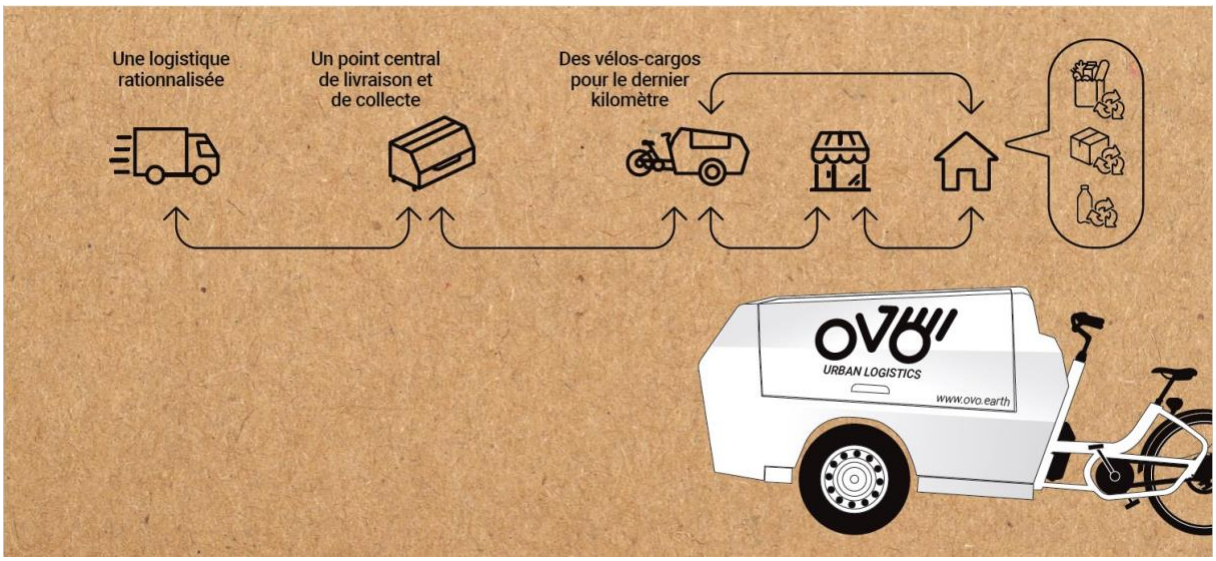


Image 4 – OVO et ses vélos cargos pour le dernier kilomètres, schéma explicatif

Cette approche diminue fortement le nombre de kilomètres parcourus par les véhicules de livraison et augmente leur facteur de charge, proposant des avantages aussi bien sur le plan économique qu'environnemental (Ranieri, Digiesi, Silvestri, & Roccotelli, 2018). Cette solution facilite également la gestion des horaires de livraison et permet de réduire les émissions liées aux déplacements de livraison (Hauenstein, 2020). C'est le concept stratégique de la massification qui constitue la clé de voûte d'une logistique urbaine optimisée, à la fois sur les flux, par l'amélioration des taux de chargement des véhicules, et sur les stocks, par l'amélioration des taux de remplissage des entrepôts (Bolzan, Idrac, & Jean, 2021).

Mutualisation

Pour répondre à l'enjeu de la massification, la mutualisation et le transport pour compte d'autrui peuvent être un levier d'efficience (Bolzan, Idrac, & Jean, 2021). Dans une optique de coopération et de mutualisation sur les livraisons du dernier kilomètre, le principe d'une logistique urbaine collaborative impliquant une meilleure consolidation et une meilleure synchronisation des ressources existantes est proposé.

Cette démarche s'appuie sur le partage des ressources et des revenus entre les différents acteurs, ainsi que sur la mise en œuvre d'une coordination commune pour optimiser une synergie entre eux. (Ranieri, Digiesi, Silvestri, & Roccotelli, 2018). Par exemple, le partage de véhicules électriques pour les livraisons est une approche mentionnée dans plusieurs sources (Muñoz-Villamizar, Montoya-Torres, & Faulin, 2017) (Académie de la mobilité, 2021). Cette méthode collaborative permet à plusieurs entreprises de regrouper leurs ressources et d'utiliser le même véhicule ou la même flotte de véhicules pour leurs opérations en centre-ville. Cela permet une

réduction du nombre de véhicules en circulation et favorise l'efficacité énergétique des entreprises impliquées.

Pour faciliter cette solution, des plateformes de gestion de flotte pourraient être mises en place, permettant aux entreprises de coordonner l'utilisation des véhicules tout en minimisant les coûts et les émissions.

Un bon exemple est donné par la Ville de Paris qui développe le service d'autopartage Mobilib' Utilitaire, opéré par la société Clem'. Ce service permet de louer ponctuellement un véhicule utilitaire électrique. A terme, la société Clem' va déployer 266 véhicules utilitaires électriques (contenance : 2 palettes), dans 54 stations réparties dans tout Paris[11] : ces véhicules zéro émission sont à la disposition des artisans et des commerçants de proximité à la recherche d'une solution économique, écologique et flexible pour assurer le transport de leurs marchandises.

Ce type de mutualisation représente une solution ambitieuse générant des effets bénéfiques tels que la décongestion des centres-villes, la décongestion des cases de livraisons, la réduction de la pollution sonore et la diminution des émissions néfastes.

Elle se traduit néanmoins par d'autres problématiques, par exemple celle de l'utilisation intensive des véhicules, nécessitant un rythme de contrôle et de réparation plus élevé. De plus, l'accès des véhicules électriques aux bornes de recharge doit être pris en considération pour assurer une mise en place fluide et fonctionnelle.

Le « *crowdshipping* » ou livraison collaborative

La livraison collaborative regroupe les pratiques qui consistent à mettre en relation, par l'intermédiaire d'une plateforme internet et/ou mobile, les personnes ayant besoin d'être livrées et celles qui peuvent leur rendre service en profitant d'un trajet réalisé à titre personnel. En d'autres termes, c'est le fait de se faire livrer ses courses, colis ou tout autre achat par des particuliers. Les personnes prestataires mobilisent leurs ressources logistiques (transports en commun, voitures, scooters, motos, vélos, etc.) pour récupérer la marchandise, organiser son transport et la livrer sur le lieu choisi par le commanditaire (Abu Khdair, 2019).

La livraison collaborative n'a pas pour vocation de faire disparaître la livraison traditionnelle. Elle en est au contraire complémentaire. En effet, pour les consommateurs, les atouts sont indéniables : frais de livraison réduits, délais plus courts et horaires flexibles. Même les grands transporteurs classiques ont sauté le pas de la livraison collaborative de colis. Le leader de

[11] Webinar du 23 octobre 2020, accessible à : https://www.clem-e.com/actualites/categories/2020

l'expédition aux particuliers Colissimo a mis en place un partenariat avec Pickme[12]. Avec un déploiement progressif, depuis début mai 2022 dans les 17 et 18ème arrondissements parisiens, cette expérimentation Colissimo/Pickme concernera l'ensemble du département de la Seine-Saint-Denis dès juin (La livraison collaborative, 2022).

La livraison entre particuliers est particulièrement vertueuse car elle permet de réduire le délai et le coût des livraisons et également leur impact environnemental (la société Yper[13] a adopté un système de livraison exclusivement à vélo par l'intermédiaire de 150 000 livreurs à domicile amateurs).

En Suisse un projet pilote de ce type est mentionné sur le site internet des transports lausannois. Le projet *Colision*, qui a reçu le label *Solar Impulse Efficient Solution* en 2020, est « un service de livraison participatif et 100% écologique », utilisant les transports publics « où des clients peuvent devenir livreurs, le temps de leur course. Le principe est simple : se faire livrer un colis sur son trajet habituel à l'heure et à l'arrêt de son choix, le tout transporté par les transports publics et donc avec un impact carbonique minime. Pour chaque gramme de CO_2 épargné, le client/livreur gagne des « feuilles », convertibles en bons ou en rabais auprès de partenaires » (Gindroz, 2020). Ce projet pilote n'a pas eu de suite malgré quatre essais prometteurs. Pour une intégration réussie de ce type d'approche coopérative, un travail collaboratif important entre les différents acteurs est essentiel pour rendre ces solutions attractives pour toutes les entreprises de livraison.

Selon « le baromètre 2023 de la livraison du dernier kilomètre » (ce baromètre compile les résultats d'une étude réalisée par Woop[14], en coopération avec InfoPro Digital[15], sur un ensemble de 100 professionnels du « *retail* » français. Il s'agit de la deuxième édition du baromètre qui avait été initié en 2022), 6% des enseignes du *« retail »* interrogées proposaient un service de livraison collaborative en 2023 contre 1% en 2022. Si cette pratique reste encore marginale elle est néanmoins en plein essor et représente une solution d'avenir.

Gestion des espaces de livraison

La gestion efficace des emplacements réservés aux livreurs est une composante cruciale pour garantir la fluidité des opérations de livraison en centre-ville. Les emplacements réservés

[12] Pickme est une plateforme de livraison collaborative entre voisins se reposant sur réseau de 120.000 voisins-relais en France

[13] Yper est également une plate-forme de livraison collaborative ayant développé son application mobile au même titre que Cocolis, Shopopop Myboxman….

[14] Créée en 2019, Woop a développé la première plateforme complète d'orchestration et d'optimisation de solutions de livraison du « dernier kilomètre »

[15] Infopro Digital est un groupe B2B (business to business) expert en information, data et technologies.

permettent aux livreurs de stationner temporairement à proximité des points de livraison, réduisant ainsi la distance parcourue à pied pour la distribution.

Leur bon dimensionnement est primordial pour assurer leur utilisation, une étude réalisée à Lyon en 2010 indique que sur 1300 aires de livraison, seules 220 permettraient une bonne accessibilité pour des véhicules de livraison (Filleul & Herzog, 2022).

Plusieurs idées de solutions sont explorées ou testées afin d'optimiser l'utilisation de ces emplacements. Une des plus populaires est la réservation numérique. Des applications mobiles ou des plateformes en ligne permettent aux livreurs de réserver des emplacements de livraison pour des périodes spécifiques. Cela évite la congestion due à un grand nombre de véhicules de livraison cherchant une place pour stationner aux mêmes horaires et optimise l'utilisation de l'espace disponible.

C'est le cas des solutions digitalisées *Parkunload* et *Parkingmap*, des applications de gestion intelligente des espaces de stationnement et de livraison en ville.

L'application Parkunload[16] permet la gestion digitalisée des espaces de stationnement et de livraison qui fonctionne à partir de capteurs Bluetooth. Lorsqu'un usager souhaite utiliser un espace, l'application détecte, via le « Bluetooth », la durée maximale de stationnement de l'aire considérée. L'usager indique ensuite qu'il utilise la zone, ce qui permet aux autres usagers de disposer de cette information et à la ville d'obtenir le taux d'occupation des aires de livraison chaque jour ainsi que les types de véhicules concernés. Plusieurs agglomérations européennes testent ou utilisent *Parkunload* pour réguler la gestion de leurs aires de livraison (Vic, Majadahonda, Cerdanyola del Vallès et Rubi en Espagne, Stuttgart en Allemagne, Ankara en Turquie, Dublin en Irlande, Argenteuil en France …) (Filleul & Herzog, 2022). La ville de Paris a lancé une expérimentation de cette application dans le 10ème arrondissement sur 160 aires de livraisons (Dias A. , 2022).

Image 5 – Panneaux d'information sur l'expérimentation de l'application mobile PARKUNLOAD à Paris

[16] Parkunload est une application mobile développée par la startup espagnole Parkunload qui a été sélectionnée pour participer au programme scale-up 2023 de l'EIT Urban mobility.

L'application *Parkingmap*[17] comporte un volet destiné aux usagers de la voirie et un autre destiné aux gestionnaires. Elle permet d'une part d'informer les usagers sur les places disponibles en temps réel et d'autre part, à partir de détecteurs ultrasons, magnétiques ou visuels, d'évaluer l'occupation ou l'utilisation d'un espace de stationnement ou d'une aire de livraison. Cet outil de supervision et de contrôle du stationnement en temps réel permet à la collectivité de mieux analyser les flux de stationnement et, en conséquence, d'adapter son offre de stationnement ou d'aires de livraison. Parkingmap est utilisé actuellement par des acteurs privés (Carrefour Market) et des collectivités territoriales (Paris, Orléans Métropole, Communauté d'agglomération de la Porte de l'Isère, Ville de Soissons...) (Filleul & Herzog, 2022).
La ville de Paris expérimente depuis septembre 2021 dans le 4ème arrondissement l'utilisation de ces deux dispositifs de manière complémentaire, sur 133 aires de livraison (sur 168 aires au total) (N'tsia, 2021).

Bien sûr, ces évolutions nécessitent une cartographie interactive et mise à jour, ainsi que des formations pour les livreurs sur l'utilisation de cette base de données et des applications correspondantes (Filleul & Herzog, 2022). Les plateformes numériques et les systèmes de réservation doivent être conviviaux et interopérables pour faciliter l'adoption par les livreurs et les entreprises.
La ville de Barcelone, en Espagne, oblige les chauffeurs-livreurs à utiliser une application numérique afin de faciliter les contrôles pour la police via l'enregistrement préalable des plaques d'immatriculation. Cette approche n'est pas exactement un système de réservation, mais sert plus comme une base d'information sur la disponibilité et le temps d'occupation des places (INTERLUD[18] 2023).

Régulation par la règlementation

Concernant le cadre légal, une règlementation stricte des heures de livraison, des types de véhicules autorisés et des durées de stationnement peut aider à limiter la congestion des centres-villes par une meilleure régulation des flux.

[17] Parkingmap est une application développée depuis 2017 par la startup française Parkingmap
[18] Le programme INnovations TERritoriales en Logistique Urbaine Durable est financé par le ministère des transports (gouvernement français) : son objectif de créer un cadre pérenne de dialogue entre les acteurs publics et privés et de déployer 50 chartes dans des communautés d'agglomération de toutes tailles, mais aussi de sensibiliser les collectivités territoriales sur les enjeux de la logistique urbaine durable.

Les horaires décalés

La promotion des livraisons de nuit est par exemple un sujet exploré par plusieurs sources (Dablanc, 2012) (Zunder, 2021). Dans le souci constant de préserver le cadre de vie des riverains (utilisation de véhicules plus silencieux), cette approche permet de décongestionner les centres-villes dans la journée et de réduire les conflits entre les livreurs et les autres usagers de la route. Une étude orientée sur l'avis des livreurs démontre que 70% des livreurs seraient plus intéressés par le travail de nuit, et que 80% ressentent une anxiété plus importante durant les livraisons de jour (Dias, Yoshizaki, Favero, & Geraldo Vidal Vieira, 2019).

En 2021, La Ville de Paris, la Mairie du 13e, le club Demeter[19], Certibruit[20] et Bruitparif ont co-piloté une expérimentation destinée à évaluer les atouts et les limites des livraisons de commerces à horaires décalés (entre 21h et 7h), dans une optique de déploiement sur le territoire parisien. Cette expérimentation a fait l'objet de mesures précises de bruit et sera évaluée selon plusieurs critères et des préconisations seront formulées sur les conditions à réunir pour un déploiement (Mairie de Paris, 2023).

La ville de Bordeaux a également effectué une expérimentation sur la livraison de nuit orchestrée par le club Demeter en 2016. L'expérimentation a impliqué 20 points de vente urbains pour lesquels les livraisons ont été réalisées entre 22h00 et 7h00 du matin avec des moyens logistiques parfois plus grands et optimisés. Pour l'ensemble du panel, cela représentait environ 50 livraisons par semaine. La condition sine qua non a été d'utiliser un matériel adapté et de respecter scrupuleusement la tranquillité des riverains. Le scénario faisant intervenir un changement d'horaires, de moyen et de process et de gabarit des véhicules présente un bilan très positif, dû à l'optimisation du gabarit des véhicules qui passe de 7.5 T à 26 T (illustration du concept de massification) : pour un volume identique le nombre de livraisons passe de 10 à 3 par semaine, les distances parcourues diminuent de 53%, l'émission de CO_2 de 38%, l'occupation de la voirie de 24%, l'émission de particules de 3% (Cloutet, 2016).

La règlementation environnementale

Les moteurs thermiques considérés comme trop polluants sont peu à peu bannis des villes. L'électrique est présenté aujourd'hui comme la solution pour lutter contre la pollution

[19] Depuis 2002, le Club Déméter Environnement et Logistique est une plate-forme de référence et d'échange pour organiser des expérimentations à caractère opérationnel tout en promouvant l'innovation dédiée à la chaîne d'approvisionnement et à la maîtrise des impacts environnementaux.

[20] Association loi 1901, CERTIBRUIT a pour objet l'échange d'information, la communication et la coordination des actions réalisées en commun par ses membres, dans le domaine du bruit dans l'environnement, particulièrement dans le cadre des activités de transport de fret et de livraison en milieu urbain.

atmosphérique. À Copenhague et à Oslo, il est interdit de rouler avec des véhicules diesels. À Bruxelles, les voitures Euro 3 et plus anciennes, c'est-à-dire immatriculées avant 2006, sont interdites depuis le 1er janvier 2020. À Paris et à Barcelone, les voitures immatriculées il y a plus de 20 ans ne peuvent plus rouler en semaine et journée. Enfin, à Londres les conducteurs de voitures à essence généralement fabriquées avant 2006 (norme Euro 4) et de véhicules diesel généralement fabriqués avant 2015 (norme Euro 6) doivent payer 12,50 livres (14,80 euros) par jour pour entrer dans cette zone. Pour les camions et cars, le montant est de 100 livres (116 euros) par jour (Chamerois, 2021).

Concernant la restriction sur les types de véhicules, à Strasbourg par exemple, une nouvelle réglementation concernant les livraisons est instaurée depuis 2019. Les nouvelles mesures donnent une priorité aux véhicules propres (selon les vignettes Crit'Air) sur les plages horaires de livraison ainsi qu'une meilleure cohabitation entre les livreurs, commerçants et citoyens (Strasbourg.eu, 2019). Les véhicules de livraison opérant au diesel sont totalement interdits dans la zone à circulation restreinte, ou ZCR, de la Grande Ile en 2022 (RRA - Roland Ribi et associés, 2018). Ces règles environnementales sont de plus en plus contraignantes (cf. Tableau 1 ci-dessous).

Métropoles	Véhicules exclus au 1er janvier 2022	Prochaines échéances
ZFE Métropole du Grand Paris	Tous types de véhicules Crit'Air 4 et plus, en semaine de 8h à 20h (sauf jours fériés) pour les véhicules particuliers.	**- Juillet 2022 :** extension aux véhicules Crit'Air 3 **- Janvier 2024 :** extension aux véhicules Crit'Air 2 **- 2030 :** objectif 100 % de véhicules propres
ZFE Grand Reims	Voitures, véhicules utilitaires et poids lourds Crit'Air 5 et non classés	**- Janvier 2023 :** extension aux véhicules Crit'Air 4 *(après 4 mois de pédagogie)* **- Janvier 2024 :** extension aux véhicules Crit'Air 3 *(après 4 mois de pédagogie)*
ZFE Eurométropole de Strasbourg	Tous les véhicules motorisés Crit'Air 5 et non classés	**- Janvier 2023 :** sanctions pour les véhicules Crit'Air 5 et non classés, début de la pédagogie pour les véhicules Crit'Air 4 **- Janvier 2024 :** sanctions pour les véhicules Crit'Air 4, début de la pédagogie pour les véhicules Crit'Air 3 **- Janvier 2025 :** sanctions pour les véhicules Crit'Air 3, début de la pédagogie pour les véhicules Crit'Air 2 **- Janvier 2028 :** interdiction définitive pour les véhicules Crit'Air 2
ZFE Métropole de Lyon	Véhicules de transport de marchandises Crit'Air 3 et plus	**- Eté 2022 :** extension aux véhicules de particuliers Crit'Air 5 et non classés. **- Entre 2023 et 2026 :** extension progressive aux véhicules Crit'Air 4, 3 puis 2
ZFE Grenoble-Alpes-Métropole	Véhicules utilitaires légers et poids lourds Crit'Air 4 et plus	**- Juillet 2022 :** extension aux véhicules utilitaires légers et poids lourds Crit'Air 3 **- Juillet 2025 :** extension aux véhicules utilitaires légers et poids lourds Crit'Air 2
ZFE Rouen-Normandie	Véhicules utilitaires légers et poids lourds classés Crit'Air 4 et plus	**Septembre 2022 :** extension à tous les véhicules Crit'Air 4, et plus, y compris aux véhicules de particuliers
ZFE Toulouse Métropole	Véhicules utilitaires et poids lourds Crit'Air 5 et non classés	**- 2022 :** extension aux véhicules utilitaires et poids lourds Crit'Air 4 **- 2023 :** extension aux véhicules légers et deux roues Crit'Air 4 et plus **- 2024 :** extension à tous les véhicules Crit'Air 3

Tableau 1 – Classification des véhicules autorisés dans les ZFE françaises[21]

[21] Source URL : www.aft-dev.com/actualites/livraison-dernier-kilometre-mise-defi-transition-ecologique-villes)

Le contrôle

Pour consolider l'efficacité de ces règles, il faut néanmoins instaurer des systèmes de surveillance qui assurent leur respect.

À Paris, un disque livraison Marchandises, a été instauré à partir de 2007 pour indiquer son horaire d'arrivée sur l'aire de livraison et préciser la motorisation de son véhicule, informant de sa qualité environnementale. Il est aussi possible d'utiliser le disque européen de stationnement disponible dans le commerce (Mairie de Paris, 2023).

La ville de Genève tente de remédier au dépassement du temps d'arrêt autorisé sur ses cases de livraison en testant un système de bornes lumineuses. La borne est équipée de capteurs qui détectent le véhicule au moment de son arrivée sur la case. Un voyant lumineux tourne au rouge une fois que les 20 minutes autorisées sont dépassées. Cette action a un objectif dissuasif (*République et Canton de Genève, 2018)*.

Les applications *Parkingmap* et *Parkunload* que nous avons décrites précédemment permettent aux services de surveillance de la voirie de détecter et verbaliser les mauvais comportements.

Les réglementations urbaines doivent être adaptées pour soutenir la mise en place d'emplacements réservés aux livreurs et d'autres solutions de livraison, tout en réprimandant les abus.

La verbalisation doit être dissuasive pour garantir le bon fonctionnement du système en instaurant un régime de sanction prévenant de manière suffisamment efficace l'utilisation illicite des aires de livraison par des véhicules individuels. En effet c'est bien ce type d'infraction et non pas le dépassement du temps d'arrêt règlementaire par des véhicules de livraison qui est le plus pénalisant. Selon le Cerema[22], une enquête réalisée à Paris en 2004 montrait que les aires de livraison étaient occupées seulement 6 % du temps par des véhicules de transport de marchandises, contre 47 % du temps de manière illicite. Le Cerema indique que le taux de verbalisation n'était pourtant que de 1 % (Cerema, 2014). Un véhicule occupant une place de livraison étant juridiquement considéré à l'arrêt et non en stationnement, la règlementation doit circonscrire précisément ce type d'infraction et les pénalités y afférentes.

En Suisse, les amendes pour stationnement sur une case interdite au parcage *(Annexe 1 Ordonnance sur les amendes d'ordre, 256*) sont définies ainsi :

- Jusqu'à deux heures : CHF 40.-

[22] Le Cerema, établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, accompagne l'État et les collectivités territoriales pour l'élaboration, le déploiement et l'évaluation de politiques publiques d'aménagement et de transport

- Au-delà de deux heures, mais moins de quatre heures : CHF 60.-
- Au-delà de quatre heures : CHF 100.

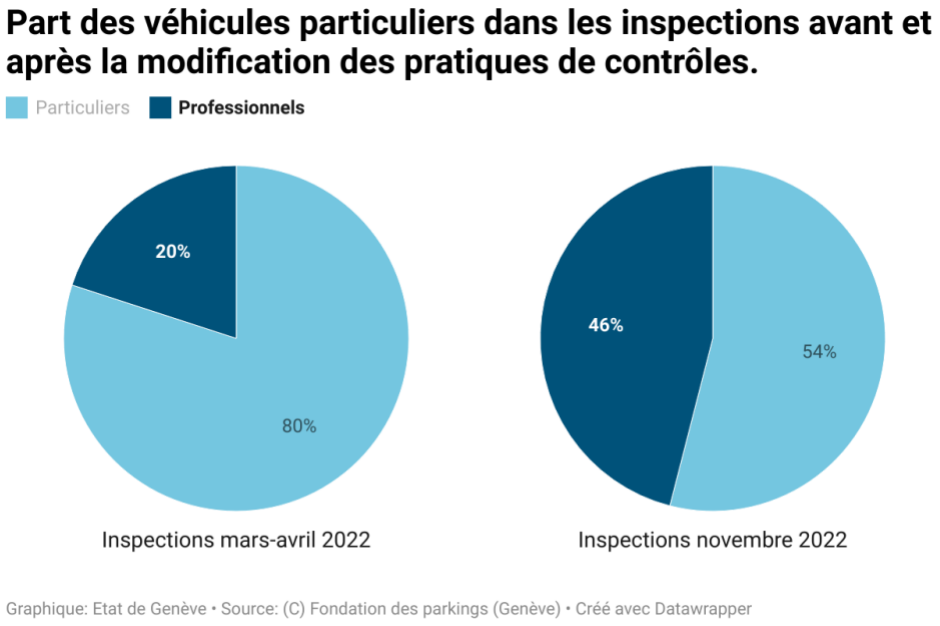
Encore faut-il être en mesure de mesurer les temps de dépassement.

L'information

Les campagnes d'informations auprès des professionnel et des particuliers concernant le bon usage des places de livraison et son impact sur la qualité de la vie en centre-ville représentent un processus facile à mettre en place et générateur de progrès rapides comme l'illustre l'exemple de la ville de Genève.

Une action de sensibilisation est menée par l'État de Genève et la Fondation des parkings depuis septembre 2022 pour restaurer le bon usage des cases de livraison, qui sont nécessaires à l'activité des professionnels. La Ville de Genève relaye cette campagne, qui s'inscrit dans sa volonté de faciliter la mobilité des entreprises, notamment au moyen de panneaux disposés dans plusieurs rues ou quartiers du centre-ville, d'un affichage spécifiques sur les sites répertoriés les plus sensibles de la distribution d'un flyer sur les parebrises des voitures et la mise en ligne d'une vidéo sur le rappel des règles (Ville de Genève, 2022).

Cette action semble couronnée de succès puisqu'une première évaluation de novembre 2022 montrait que le taux d'occupation des cases de livraison est passé de 80% à 54% entre avril et novembre 2022 (cf. Graphique 1 ci-après).



Graphique 1 – Évolution du taux d'occupation des cases de livraison à Genève, avant et après la campagne de sensibilisation (Ville de Genève, 2022)

La gestion adéquate et réfléchie des emplacements réservés aux livreurs se démarque comme un élément clé de planification pour assurer une distribution efficace et respectueuse de l'espace urbain (Garrutik & Jonction, 2021). Pour ce faire, la collaboration étroite entre les municipalités et les entreprises locales est essentielle pour identifier les zones appropriées pour les emplacements réservés aux livreurs ainsi que pour adapter ces zones en fonction des flux logistiques changeants. En effet, la création d'infrastructures adaptées nécessite des investissements financiers importants et une planification soignée. De plus, les citoyens doivent être sensibilisés aux avantages environnementaux et économiques des solutions proposées pour garantir leur acceptation. Pour mieux gérer les nombreux objectifs, parfois incompatibles entre eux, d'une localité au niveau de l'organisation de son espace public, il est nécessaire de mettre en place un processus de concertation entre tous les acteurs impliqués : les villes, leurs citoyens et associations, les entreprises de transport et les acteurs du monde économique (commerces, services) (Dablanc, 2012).

2.2 Un focus particulier sur les cases de livraison

Cases de livraison : typologie, signalisation, règles d'utilisation

En Suisse, on entend par « cases de livraison » les emplacements sur la voie publique spécialement marqués pour l'arrêt temporaire et interdits au stationnement. D'après l'article 79a de l'ordonnance sur la signalisation routière (Ordonnance sur la signalisation routière (OSR), 1979), ces espaces sont réservés au déchargement et au chargement de marchandises ou de personnes. Le temps d'arrêt autorisé est de 20 minutes au maximum. Les véhicules professionnels de transport sont traditionnellement prioritaires sur ces espaces, mais aucune indication ne le précise. Les particuliers peuvent aussi utiliser les cases de livraison, du moment qu'une des deux actions suivantes est en cours, et toujours dans le respect des 20 minutes d'arrêt :

- Chargement ou déchargement de marchandises (ex : courses, petit mobilier).
- Montée ou descente de passagers.

Pour les cases réservées aux livraisons, deux types de signalisation au sol sont possibles : les cases jaunes avec deux diagonales qui se croisent et les lignes jaunes interrompues par des X.

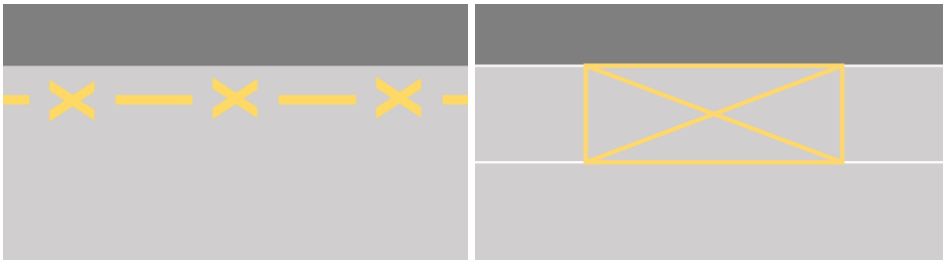


Image 6 – Signalisations au sol 6.22 et 6.23 de l'OSR pour les emplacements interdits au stationnement

La signalisation verticale permettant l'arrêt pour les livraisons correspond au signal d'interdiction de stationnement. Le panneau signalétique 2.50, répertorié dans l'annexe 3 de l'Ordonnance sur la signalisation routière, est dépeint ci-dessous :

Image 7 – panneau signalétique 2.50 de l'OSR, indiquant l'interdiction de stationner

Il est souvent accompagné d'un signal complémentaire, si le parcage est autorisé pour une certaine tranche horaire par exemple :

Image 8 – Photo prise sur le terrain, illustrant le panneau accompagné du signal complémentaire mentionné

Les dimensions communes des cases de livraison respectent les dimensions minimales du stationnement proposées dans les normes. La largeur minimale de 1.90 mètres doit être respectée, même si une largeur de 2.20 mètres ou supérieure reste préférable pour accommoder les différents gabarits des véhicules de livraison. Les longueurs peuvent varier : la case de livraison aura un minimum de 5 mètres, mais dans certains cas où la fréquence de livraison est soutenue, on pourra pousser la longueur jusqu'à 15 mètres.

Les véhicules effectuant des livraisons de marchandises pour des établissements peuvent, dans le cas où toutes les autres options d'arrêt réglementé ne sont pas disponibles, s'arrêter en double-file sur la voirie. Si un véhicule est arrêté en double-file, le conducteur doit être en mesure de déplacer son véhicule dès qu'une personne gênée par la situation le lui demande. Ce type d'arrêt est cependant à éviter. En effet, il n'est autorisé qu'en dernier recours et uniquement s'il n'entrave pas la circulation et ne met pas en danger les autres usagers de la voirie. Cependant, il est évident que ces conditions ne sont que rarement remplies. Les livreurs ne peuvent pas se permettre d'aller chercher une place plus éloignée ou de tourner pour en trouver une autre par souci de ponctualité. Ce genre de manœuvre entraîne une perte de temps et donc une perte de revenu pour la compagnie. Similairement, l'arrêt sur un trottoir n'est autorisé qu'en dernier recours pour le chargement ou déchargement de marchandises et/ou passagers. Cependant, le véhicule parqué sur le trottoir doit laisser un passage d'une largeur de 1.50 mètres pour ne pas entraver la circulation piétonne.

Les zones piétonnes sont régies par une différemment, car l'espace entier est majoritairement réservé pour les piétons et exclut toute circulation de véhicules motorisés, à l'exception des véhicules d'urgence. Tout d'abord, les véhicules de livraison doivent suivre un sens de circulation imposé, comme à Lausanne par exemple où de nombreuses rues piétonnes ne sont pas assez larges pour permettre le trafic dans les deux sens. Des horaires restreints pour l'accès sont aussi décidés afin d'éviter les heures de pointe du trafic piétonnier. Généralement, les horaires de livraison sont indiqués sur le panneau annonçant la zone piétonne. Les accès restreints sont généralement laissés à la discrétion des administrations de chaque ville. Par exemple, l'accès à la vieille-ville de Genève n'est autorisé que jusqu'à 11h30, et il n'est autorisé que pour des véhicules légers, dû à l'étroitesse des rues (Fondation des parkings, 2022).

A Lausanne, on relève une interdiction de stationner devant une vitrine de magasin en cours d'activité, ainsi que l'obligation de laisser un espace libre de circulation pour les piétons entre la

façade des bâtiments et le véhicule (Office de la circulation et du stationnement , 2022). L'accès est restreint à des plages horaires qui diffèrent selon les rues, comme on peut le voir ci-dessous dans l'Image 9 :

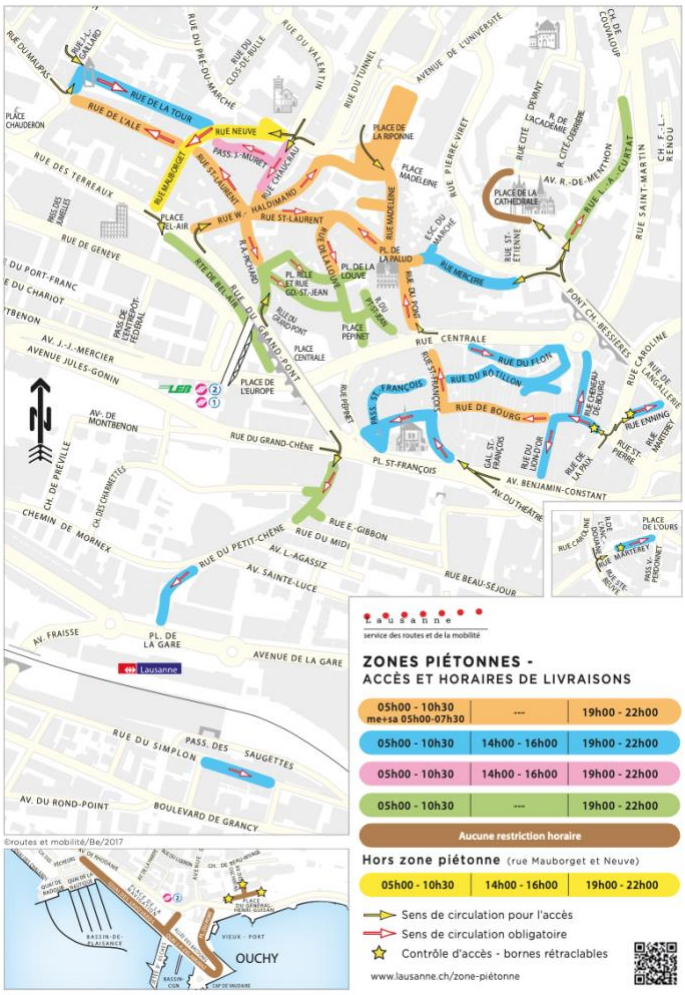


Image 9 – Plan et horaires d'accès des zones piétonnes pour les livraisons à Lausanne

Certaines dispositions physiques peuvent être installées afin d'assurer le respect des restrictions : des bornes d'accès rétractables, automatiques ou à badges par exemple. C'est le cas à Lausanne pour certaines rues, comme on peut le voir dans l'Image 10.

Image 10 – Photo prise sur le terrain : exemple de borne d'accès programmée pour les livraisons

Les cases de livraison à Lausanne : problématique de l'implantation

L'organisation des places destinées à la livraison a évolué au fil du temps pour répondre aux besoins croissants des entreprises et des consommateurs. Dans les grandes villes, l'aménagement des espaces publics a été adapté pour permettre la création de zones de livraison réservées aux professionnels. Ces zones sont généralement situées à proximité des commerces et des zones d'activité. En Suisse, on observe une situation similaire. Les autorités compétentes ont progressivement pris des mesures pour réglementer le processus de livraison et faciliter l'accès des livreurs aux zones urbaines. Des places de livraison ont été créées dans les centres-villes afin de permettre aux transporteurs de décharger leurs marchandises en toute sécurité et d'éviter les congestions. Cependant, on remarque que ces emplacements destinés à la livraison de marchandises ne sont pas soumis à des réglementations ou normes strictes en matière de dimensionnement, de localisation ou encore de quantification. Même s'il existe de nombreuses recommandations et d'outils d'aide à la décision, l'implémentation des espaces réservés à la livraison dans l'espace urbain reste à l'appréciation finale de la mairie ou de la municipalité (Schmid, Ruesch, & Bohne, 2019).

À la fin de l'année 2020, la Ville de Lausanne a mis à la disposition du public un total de 255 emplacements de livraison sur l'espace urbain, dont 97 se trouvent au cœur du centre-ville. Ces cases de livraison sont stratégiquement situées le long des voies publiques afin de répondre aux besoins des activités nécessitant des livraisons fréquentes, en particulier pour les établissements qui ont besoin d'un approvisionnement régulier. Aucune norme n'est disponible pour suivre des modalités d'implantation.

En effet, un employé de la ville de Lausanne (communication personnelle) a confirmé l'inexistence de méthodologie ou de norme à suivre lors de la création de cases de livraison, le dimensionnement des cases doit respecter celui du stationnement classique. Cependant, la Ville de Lausanne tient compte de manière systématique des besoins exprimés par les divers acteurs locaux, en respectant toutefois les limites des espaces disponibles.

Ces cases sont le plus souvent ajoutées pour répondre à une demande d'un ou plusieurs établissements. Il faut rappeler que ces emplacements publics dédiés à la livraison ne constituent qu'un aspect d'un ensemble plus vaste de mesures visant à garantir cette fonction. En effet, les livraisons peuvent également être prévues sur des terrains privés. Cette disposition est d'ailleurs une exigence pour les nouveaux projets immobiliers (Chappaz, Massard, Jaquet, & Guisan, 2014), et certaines surfaces commerciales en font déjà l'application. Le sujet de la livraison est automatiquement considéré lors de la planification des projets de réaménagement, et elle fait l'objet de discussions approfondies avec les parties prenantes locales. L'objectif constant est de

réduire au minimum les effets néfastes liés à la circulation des véhicules de livraison, tout en facilitant le fonctionnement économique optimal du centre-ville (Ville de Lausanne - Sécurité et économie, 2022).

Pour une vue d'ensemble des cases de livraison disponibles, une carte interactive mise à jour en continu est accessible via le portail cartographique de la Ville de Lausanne : map.lausanne.ch. Les localisations des cases de livraison peuvent être consultées dans le menu de gauche sous les sections "Mobilité", "Stationnement des véhicules motorisés", "Stationnement public voirie" et "Livraisons".

En France, le guide de recommandations du CERTU comme référence

En France, on observe des réglementations similaires. L'aménagement d'emplacements réservés aux véhicules de livraison de marchandises est laissé libre à chaque commune, mais un guide de recommandations rédigé par le Centre d'études sur les réseaux, les transports l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU) est le document référence depuis 2009 (CERTU, 2009). Ce guide méthodologique regroupe une liste de recommandations, où l'on retrouve des caractéristiques communes à la Suisse, comme les dimensions, l'aménagement des aires de livraison selon les abaissements de trottoir existants, la signalisation routière. Le dimensionnement des places de livraison doit être déterminé selon la taille des véhicules de livraison et prendre en compte la méthode et les manœuvres d'accès à la place, ainsi que l'espace nécessaire pour le déchargement. En conséquence, le document recommande une longueur totale pouvant osciller entre 12 et 15 mètres, et une largeur de marquage au sol comprise entre 2,20 et 2,50 mètres. Une méthodologie de quantification est aussi proposée pour estimer le nombre de cases de livraison nécessaires sur un tronçon commercial : cette méthodologies s'appuie sur la détermination des différentes catégories d'activités existantes sur le secteur concerné (14 catégories sont référencées) et le nombre moyen de livraison que chacune génère par semaine.

Ce document se focalise sur la bonne accessibilité des aires de livraison pour améliorer les conditions des livreurs et inciter à leur utilisation ; ainsi que sur une implantation pertinente dans les centres-villes où la densité commerciale est importante et les pressions sur le stationnement et la circulation sont les plus fortes.

Les aires réservées à la livraison sont accessibles en priorité par les livreurs de marchandises et de colis. Contrairement à la Suisse, un justificatif comme un disque de stationnement spécial peut être demandé selon les villes comme à Lyon (Garrutik & Jonction, 2021). Le partage des aires de livraisons dans le temps est possible notamment la nuit selon le code de la route français (Article

R. 417-10, modifié par le décret n°2010-1581 du 16 décembre) sous réserve d'un arrêté municipal correspondant.

Lien avec l'amélioration de la qualité de l'air

Les dernières modifications des réglementations ont un lien étroit avec le désir de limiter au maximum les émissions nuisibles, notamment les émissions de gaz à effet de serre. Comme vu précédemment pour Strasbourg, mais encore à Paris, où des zones à faibles émissions (ZFE) ont été mises en place. Dans ces zones, le souci de préservation de l'environnement et d'une meilleure qualité de l'air pour les Parisiens est mis en avant grâce à des restrictions de circulation basée sur les vignettes Crit'Air (Mairie de Paris, 2023).

L'agglomération de Lausanne-Morges, dans son Plan des mesures OPAIR, adopté par le conseil d'État en 2018, a intégré des mesures à adopter pour la logistique urbaine. La mesure LO-2 cible notamment l'amélioration de la qualité de l'air par la réduction des nuisances liées au transport logistique. Dans les propositions d'action, on note spécialement une optimisation du réseau de plateformes logistiques le dimensionnement d'un réseau de places de livraison (Muller, Rodriguez, & Niquille, 2018).

En conclusion

Ces récentes évolutions sont étroitement liées à la volonté de résoudre les problèmes les plus courant du système de cases de livraison. En effet, on note que certaines zones urbaines denses voient une pénurie d'espaces dédiés à la livraison, ce qui complique la tâche des livreurs de marchandises et induit un stress supplémentaire au trafic du centre-ville. La non-disponibilité des aires de livraison peut être due au mauvais dimensionnement des aires de livraison, mais elle est aussi liée à l'occupation illégale par des véhicules non-autorisés. Les abus par les particuliers sont nombreux et ne sont pas assez verbalisés à ce jour pour garantir la disponibilité des places pour les livreurs.

Ces opérations de livraison, lorsqu'elles sont effectuées aux heures de pointe sans garantie d'un emplacement pour le livreur, impactent négativement l'ensemble du système. Par les retards dans les livraisons source de mécontentement des destinataires, par l'encombrement des rues, l'augmentation des nuisances sonores et des émissions de gaz et particules à effet de serre, c'est tout l'équilibre harmonieux de la vie en centre-ville qui est remis en cause.

Certains conflits d'usage sont observés, surtout dans les zones souvent fréquentées par les modes actifs, tels que les piétons et les cyclistes. Ces usagers sont considérés comme les plus

sensibles, il faut donc penser à leur sécurité lors de tout aménagement qui pourrait impacter leur quotidien.

Le développement et la promotion de pratiques de livraison durables est donc une nécessité impérieuse qui s'impose comme un défi majeur pour que la vie dans les quartiers des centres-villes favorise l'épanouissement de la population.

3. Questions de recherche

- Quelle est la demande enregistrée sur les cases de livraison au centre-ville de Lausanne ? L'offre actuelle est-elle satisfaisante ?
- Quels sont les principaux problèmes identifiés ?
- Une fois ce diagnostic effectué, quelles solutions de planification et de gestion des cases de livraison apparaissent-elles comme les plus pertinentes pour Lausanne ?

4. Méthodologie

4.1 Méthodologie d'enquête

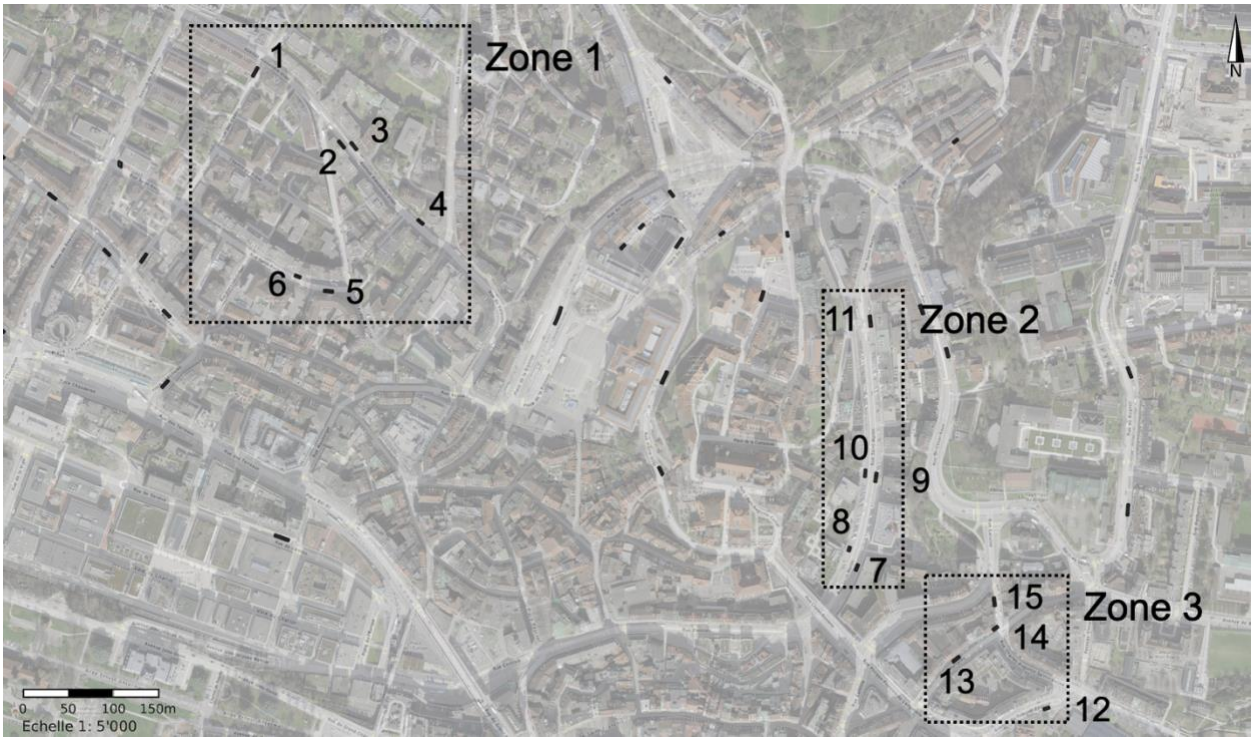
Afin de répondre aux problématiques relevées dans le chapitre précédent, un diagnostic de l'offre et de la demande des cases réservées à la livraison de marchandises au centre-ville de Lausanne doit être réalisé.
Dans le cas présent, l'offre est représentée par le nombre de cases de livraison, ainsi que leur répartition dans la ville et leur régulation d'utilisation. La demande est représentée par le taux d'occupation, le taux de rotation et le temps moyen d'arrêt.

La ville de Lausanne s'étend sur environ 41 km^2 et on y recense plus de 250 cases de livraisons, dont près d'une centaine sont localisées dans le centre-ville. Ce vaste parc de cases de livraison est trop large à couvrir dans son entièreté. Un périmètre d'étude est donc établi pour affiner la sélection et concentrer l'étude sur les cases de livraisons situées dans des quartiers de typologie différente, à proximité directe du centre-ville piéton lausannois. Les différentes zones ont un niveau d'activités commerciales qui diffère, cela permet d'extrapoler une représentation du fonctionnement des cases de livraison sur toute la ville. Le choix du périmètre d'étude est réalisé en collaboration avec la ville de Lausanne, après discussion du sujet et des problématiques soulevées.

Trois zones de typologie différentes sont choisies :

1. Zone 1 → Un quartier avec quelques activités commerciales éparses, de l'habitation et du service tertiaire, situé au nord-est du carrefour Chauderon et au sud-est du palais de Beaulieu.
2. Zone 2 → Un tronçon commercial situé sur un axe important d'accès au centre-ville : la rue Saint-Martin. Cette zone se trouve aussi à proximité directe des zones piétonnes actuelles et est relié à la future zone piétonne de la rue Centrale.
3. Zone 3 → Une zone directement connectée au centre-ville piéton par la rue Marterey, au sud de la station de métro Ours, très commerciale et à proximité directe de quartiers résidentiels tels que Mon-Repos.

Les trois zones et les quinze cases de livraison sont numérotées sur la Carte 1 ci-dessous.



Carte 1 – Plan des zones étudiées et numérotation des cases de livraison

Dans chaque périmètre choisi pour l'étude, les cases de livraisons ont été recensées. Pour chaque case de livraison du secteur, les établissements situés dans un périmètre de 50 mètres de la case ont été relevés et listés. Ceci permet d'établir une typologie plus précise de la zone et d'obtenir un taux de réponses au questionnaire. Le choix du périmètre de 50 mètres autour de la place de livraison est réalisé en se basant sur le document référence de la CERTU, où il est démontré que les chauffeurs livreurs se garent au plus proche de la zone à livrer et qu'ils utilisent « une aire de livraison tant que celle-ci se situe à moins de 50 mètres du point qu'ils doivent desservir » (CERTU, 2009).

Pour chaque zone, les établissements relevés sont ensuite classés selon leur secteur d'activité, en utilisant la nomenclature NOCA 2008. Un profil de chaque zone est donc dressé, et chaque entreprise répertoriée appartient à un groupe d'activités. Le Tableau 2 regroupe tous les établissements recensés sur les trois zones d'étude, et les regroupe selon leur codes et titres NOCA.

Code et titre NOCA	**Nombre d'établissements**
47 - Commerce de détail, à l'exception des automobiles et des motocycles	27
96 - Autres services personnels	18

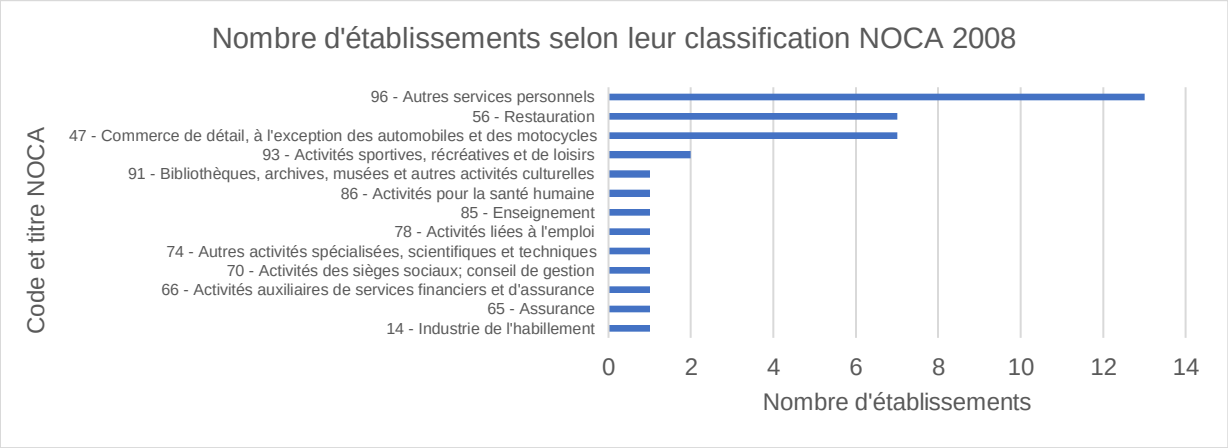
56 - Restauration	15
10 - Industries alimentaires	3
93 - Activités sportives, récréatives et de loisirs	3
14 - Industrie de l'habillement	2
66 - Activités auxiliaires de services financiers et d'assurance	2
78 - Activités liées à l'emploi	2
85 - Enseignement	2
86 - Activités pour la santé humaine	2
88 - Action sociale sans hébergement	2
18 - Imprimerie et reproduction d'enregistrements	1
33 - Réparation et installation de machines et d'équipements	1
55 - Hébergement	1
65 - Assurance	1
69 - Activités juridiques et comptables	1
70 - Activités des sièges sociaux ; conseil de gestion	1
71 - Activités d'architecture et d'ingénierie ; activités de contrôle et analyses techniques	1
74 - Autres activités spécialisées, scientifiques et techniques	1
90 - Activités créatives, artistiques et de spectacle	1
91 - Bibliothèques, archives, musées et autres activités culturelles	1
Total	88

Tableau 2 – Types d'établissements dans le périmètre étudié selon leur code NOCA

Les activités les plus fréquentes sur tous les établissements étudiés sont : les entreprises de commerce de détail, les établissements délivrant d'autres services personnels (coiffeurs, instituts de bien-être etc.) et les établissements de restauration. En effet, ces trois catégories à elles seules représentent environ 70% des entreprises recensées, pour 88 établissements et 21 catégories NOCA possibles. Un profil plus détaillé pour chaque zone est établi, dans le but de comprendre et de différencier le niveau d'activités entre les zones, ainsi que leur potentielle influence sur les résultats de l'enquête. De plus, les plans avec la localisation des cases de livraisons et leur zone d'influence de 50 mètres sont extraits pour une meilleure représentation visuelle.

Profil des zones

1. Zone 1



Graphique 2 – Nombre d'établissements selon leur classification NOCA pour la zone 1

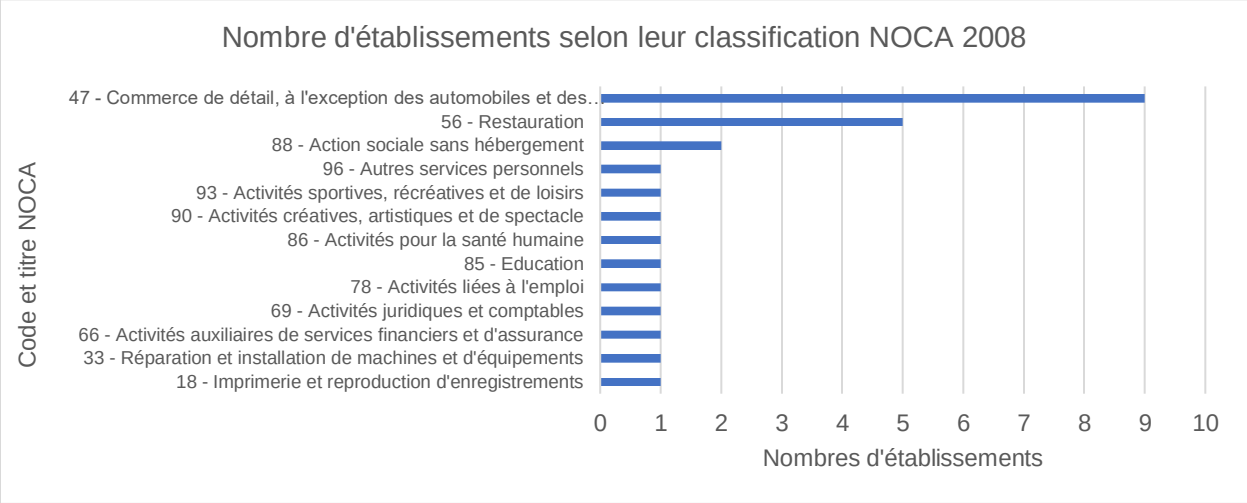
Cette zone a une grande diversité d'entreprises, avec 13 catégories différentes sur un total de 38 établissements. La catégorie dominante est la 96 – Autres services personnels. Cette catégorie regroupe les activités de service qui participent à l'activité commerciale, telles que les coiffeurs, spas et instituts de bien-être, tatoueurs, etc. La deuxième catégorie la plus représentée est la 56 – Restauration, à égalité avec la 47 – Commerce de détail.

Ce quartier comprend plus d'établissements offrant des services que de la vente de produits.

Carte 2 – Rayons d'influence des cases de livraison de la zone 1

La Carte 2 ci-dessus représente les emplacements des cases de livraison étudiées pour cette zone ainsi que leur périmètre d'influence, soit les cercles de rayon de 50 mètres. Pour les cas où deux cases de livraison sont situées au même niveau dans la rue mais à l'opposé l'une de l'autre (une dans chaque sens de circulation), on suppose que la case n'influence que son côté de chaussée. Ainsi, on évite de dédoubler les établissements dans leur recensement. De plus, devoir traverser une rue avec une charge de marchandises n'est pas idéal pour les livreurs et n'est d'ailleurs pas forcément possible en l'absence de passage pour piétons à proximité.

2. Zone 2



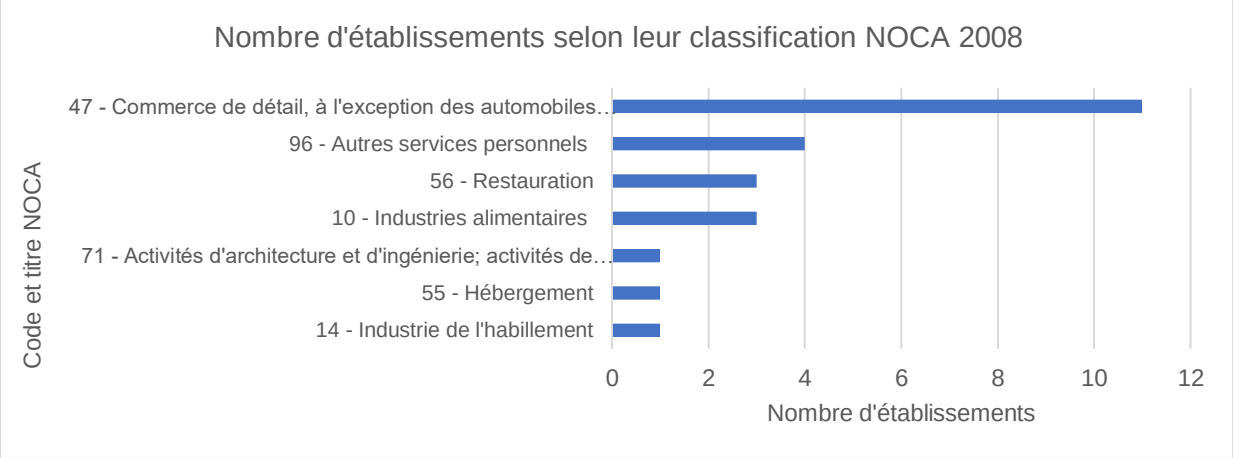
Graphique 3 - Nombre d'établissements selon leur classification NOCA pour la zone 2

Cette zone a une grande diversité d'entreprises, avec 13 catégories différentes sur un total de 26 établissements. La catégorie dominante est la 47 – Commerce de détail, à l'exception des automobiles et des motocycles. Cette catégorie au titre assez large regroupe tous les commerces qui vendent des produits finis aux particuliers. Les types d'enseignes appartenant à cette catégorie comprennent les kiosques, les magasins alimentaires spécialisés ou non spécialisés, les fleuristes, les boutiques de vêtements ou de bijoux, les magasins de jouets ou encore de multimédias. Cette liste n'est pas exhaustive. La deuxième catégorie la plus représentée sur ce secteur est la 56 – Restauration. Ce groupe rassemble toutes les enseignes qui servent des clients pour la consommation de nourriture et de boissons. Les restaurants, cafés, et bars font partie de cette catégorie.

Les périmètres d'influence des cases de livraisons sont représentés dans l'image ci-dessous.

Carte 3 - Rayons d'influence des cases de livraison de la zone 2

3. Zone 3



Graphique 4 - Nombre d'établissements selon leur classification NOCA pour la zone 3

Cette zone a un nombre important de commerces de détail. Cette catégorie représente pratiquement la moitié (11 sur 24) de tous les établissements recensés pour le quartier. De nouveau, les établissements de services personnels et les établissements de restauration sont les plus présents. La Carte 4 liste les cases de livraison étudiées pour cette zone, ainsi que leur périmètre d'influence.

Carte 4 - Rayons d'influence des cases de livraison de la zone 3

Enquête quantitative et questionnaire

Après avoir quantifié les cases de livraisons, les établissements et leur catégorie de commerce pour établir une image plus claire de chaque zone, une enquête quantitative par questionnaire est dessinée. Le choix d'aller sur le terrain pour rencontrer directement les commerçants est favorisé pour assurer un meilleur taux de réponse et un meilleur délai de réponse qu'avec des enquêtes proposées en ligne, comme vu dans l'enquête nantaise sur la livraison instantanée (Dablanc, Proulhac, & Raimbault, 2022).

Un questionnaire d'enquête est rédigé à destination des commerçants. Ce questionnaire comporte à l'origine plusieurs questions relatives à la livraison de l'établissement. L'enquête comprend des questions sur type de véhicule de livraison, la fréquence de livraison, les dates de livraisons ainsi que le temps moyen de déchargement. L'enquête prend la forme d'un simple questionnaire réalisé sur Google Forms. La saisie des réponses et assurée par moi-même sur téléphone pendant que le questionnaire était administré en direct.

Un premier essai d'enquête est réalisé à la fin du mois de mai pour une des zones d'étude. Ce premier test se révèle non concluant et souligne des soucis dans les choix de questions et de leurs réponses. Un manque d'information est aussi relevé après concertation avec le superviseur à la ville de Lausanne. Le simple questionnaire est donc remanié et transformé en entrevue dirigée, connue sous le nom de *« directed interview »*. Ce type d'entrevue permet plus de liberté d'adaptation selon les réponses obtenues au fil du questionnaire, et donc une meilleure collecte d'information adaptée à la variabilité des établissements questionnés. Une structure bien précise est suivie pour assurer une méthodologie similaire entre les établissements et permettre la comparaison à la fin de la récolte d'information. Ces entrevues sont réalisées via prise de notes pour une meilleure fluidité. Un exemple de réponse au questionnaire est disponible en Annexe A – Exemple de réponse au questionnaire

Ces entrevues dirigées ont été réalisées sur plusieurs jours ouvrés entre juin et juillet, pendant les horaires d'ouverture des établissements. Sur les 88 établissements interrogés, 64 ont accepté de participer à l'enquête, soit un taux de réponse de 73%. Les résultats d'enquête seront analysés dans le chapitre 5.

Au début des réflexions sur le type d'enquête à produire, un questionnaire à destination des chauffeurs-livreurs avait aussi été conçu. La réflexion derrière ce questionnaire était d'obtenir des informations du point de vue des employés directement impliqués dans le problème de la gestion des cases de livraison. Par souci de simplicité, les questions étaient gardées courtes et précises, pour ne pas engendrer une perte de temps pour les livreurs interrogés. Les questions portent sur le fournisseur, le temps d'arrêt, la provenance et le trajet général des véhicules de livraison. Malheureusement, l'application du questionnaire se révèle très compliquée une fois testée sur le terrain. Il est vite compris que les livreurs sont préoccupés par leur travail et peu sont ouverts à répondre au questionnaire. Le souci de ponctualité se révèle comme le frein principal d'obtention d'information sur les chauffeurs/livreurs. Après quelques essais non fructueux et la réalisation que chaque zone est trop large à couvrir pour assurer les rencontres avec les livreurs, ce questionnaire est abandonné.

Difficultés rencontrées

De nombreuses difficultés sont rencontrées lors de la réalisation de cette enquête. Tout d'abord, malgré une sélection affinée de trois zones comprenant 14 cases de livraison, les visites sur le terrain pour questionner les établissements se sont révélées coûteuses en temps. Les distances à couvrir entre les zones n'étaient pas négligeables, sans oublier la volonté de respecter des

horaires adaptés pour s'entretenir avec les établissements (horaires d'ouverture mais pas les heures de pointe). Certains établissements étaient fermés au moment de la visite, pour vacances ou autre raison non mentionnée. Des retours sur les lieux ont donc été nécessaires pour plusieurs établissements sur les trois zones d'étude. Un autre problème rencontré sur le terrain est la non-maîtrise du français ou de l'anglais de certaines personnes interrogées. Après quelques minutes de dialogue non fructueuses ou parfois un simple refus de réponse, l'établissement était marqué comme non-répondant. Certains répondants ont simplement refusé de prendre part à l'enquête.

4.2 Méthodologie de traitement des données

Une fois que toutes les réponses sont recueillies, la phase de traitement des données peut débuter. Tout d'abord, les réponses aux entrevues sont dépouillées et les données obtenues sont retranscrites sur ordinateur pour être téléchargées et traitées sur le logiciel Excel.
Les réponses non numériques sont transformées en données binaires quand cela est applicable, soit « oui » = 1 et « non » = 0. La création de nouvelles variables est nécessaire pour effectuer ces modifications. Par exemple, pour la question « quel type de véhicule livre votre établissement ? », les réponses possibles étaient « camion », « camionnette », « voiture de livraison », « voiture privée », « mode actif », « service de poste/colis – véhicules variables », ou une combinaison de plusieurs de ces options. Pour permettre le traitement de données, chaque option de réponse devient une variable binaire. Ensuite, les données obtenues sont classées, dénombrées puis servent de base dans la confection des tableaux, des graphiques et des matrices d'analyse.

Une analyse statistique des données pour les variables numériques non-binaires est réalisée afin de vérifier la validité des données récoltées lors de l'enquête. Dans le cas présent, les seules variables numériques sont la fréquence de livraison et le temps moyen de déchargement. Les paramètres utilisés pour interpréter les résultats de validation sont le calcul de la moyenne, le calcul de l'écart-type, le calcul de l'écart-type relatif et le calcul de l'intervalle de confiance. Chaque paramètre est décrit ci-dessous.

Moyenne

La moyenne arithmétique d'un échantillon de données est un outil statistique simple et utilisé le plus couramment. La moyenne est calculée en prenant la somme de toutes les données, et en divisant cette somme par le nombre total de données dans l'échantillon. La moyenne, ou $\bar{X}$, est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i$$

Avec n le nombre de données de l'échantillon, et X_i la valeur individuelle des données.

Écart-type

L'écart-type est la mesure de l'écart des valeurs dans l'échantillon. Il est calculé en mesurant la différence entre la moyenne des données et les valeurs individuelles dans l'échantillon. Il est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_i (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Avec n le nombre de données de l'échantillon, X_i la valeur individuelle des données, et $\bar{X}$ la moyenne.

Écart-type relatif

L'écart-type relatif est calculé en multipliant l'écart-type de l'échantillon par 100 % et en le divisant par la moyenne. L'écart-type relatif est exprimé en pourcentage. Généralement, les critères d'acceptation pour la précision et la répétabilité des données sont exprimés avec l'écart-type relatif : %RSD, calculé comme suit :

$$RSD = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\%$$

Avec S l'écart-type de l'échantillon et $\bar{X}$ la moyenne de l'échantillon.

Intervalle de confiance

Les intervalles de confiance sont utilisés pour indiquer la fiabilité d'une estimation. Les intervalles de confiance fournissent des limites autour de la moyenne de l'échantillon pour prédire l'étendue de la population réelle. La prédiction est habituellement fondée sur une probabilité de 95 %. L'intervalle de confiance dépend de l'écart-type de l'échantillon et de la moyenne de l'échantillon :

$$IC = \bar{X} \pm \frac{z \times S}{\sqrt{n}}$$

Avec n le nombre de données de l'échantillon, z une constante statistique, S l'écart-type de l'échantillon et $\bar{X}$ la moyenne. Pour un intervalle de confiance de 95%, z = 1.96.

Analyse détaillée des données

Une fois que la première analyse statistique de ces variables est réalisée, l'analyse détaillée de toutes les données est possible. A l'aide de tableaux croisés dynamiques, les variables peuvent être filtrées et mises en relation. Cet outil peut calculer, synthétiser et analyser les données recueillies lors des entrevues dirigées. L'utilisation de tableaux croisés dynamiques permet de comparer, d'identifier des explications et des tendances dans les données. Ainsi, on peut obtenir

des informations qui mettent en relation deux ou plusieurs variables et cela permet d'obtenir des réponses aux questions telles que : « quel le type de commerce reçoit le plus de livraisons dans la semaine ? », ou « quels véhicules de livraison ont le plus long temps moyen de déchargement ? », ou encore « dans quelles rues observe-t-on le plus d'arrêts hors case de livraison ? ». Des graphiques illustrant les résultats sont extraits.

Enfin, après avoir identifié des tendances et exprimé des hypothèses de cause et de corrélation entre certaine variables, une dernière vérification est effectuée à l'aide de matrices de corrélation. Cet outil permet d'illustrer les coefficients de corrélation linéaire entre deux variables. Ainsi, s'il existe une dépendance entre deux variables, elle est confirmée par la matrice de corrélation. Cette étape conclut l'analyse des données.

5. Analyse des données et présentation des résultats

5.1 Analyse de la demande

Dans un premier temps, nous allons tenter de répondre à la première question de recherche de ce projet. Le but était d'établir une appréciation de la demande en effectuant un diagnostic sur l'utilisation des cases de livraison au centre-ville de Lausanne.

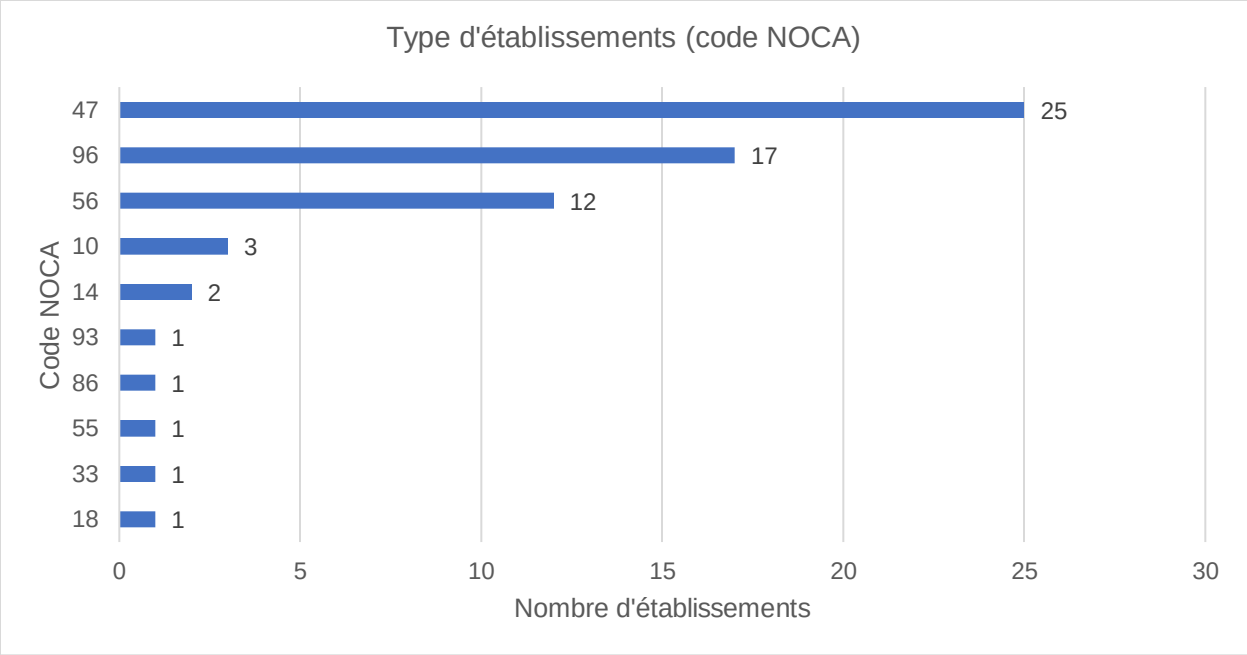
Type d'établissements recensés

Pour rappel, les types d'établissements sont classés selon leur activité économique à l'aide de la nomenclature NOCA. Le tableau ci-dessous recense les 10 types d'établissements représentant les répondants à l'enquête.

Code NOCA	Titre
10	Industries alimentaires
14	Industrie de l'habillement
18	Imprimerie et reproduction d'enregistrements
33	Réparation et installation de machines et d'équipements
47	Commerce de détail, à l'exception des automobiles et des motocycles
55	Hébergement
56	Restauration
86	Activités pour la santé humaine
93	Activités sportives, récréatives et de loisirs
96	Autre services personnels

Tableau 3 – Types d'établissements ayant répondu à l'enquête

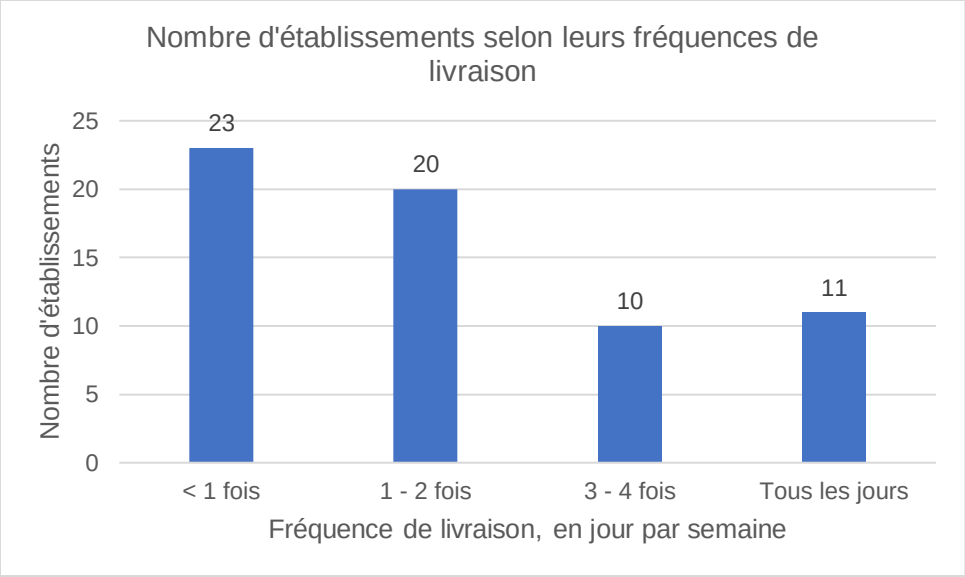
L'analyse du Graphique 1 fait ressortir trois types de commerce dominant dans la … composition des établissements ayant répondu à l'enquête : 47 – Commerce de détail, 96 – Autres services personnels, et 56 – Restauration. En effet, ces trois catégories représentent 84% des réponses. En comparant ces données avec celles récoltées par la ville en 2013 pour le quartier du Centre, on voit qu'il y a une surreprésentation de ce type d'établissements. Cependant, les zones étudiées correspondent à des concentrations de ce type de commerces qui se révèlent beaucoup plus disponibles pour participer à l'étude via le questionnaire et les échanges d'informations.



Graphique 5 – Répartition des types d'établissements selon leur code NOCA

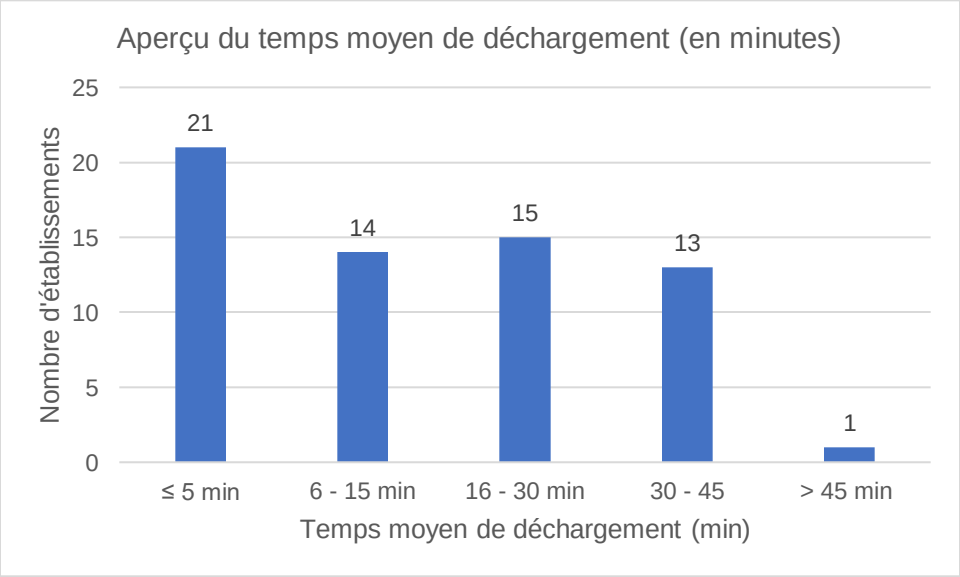
Fréquence de livraison, par semaine

Le Graphique 6 synthétise sous forme d'histogramme la distribution des fréquences de livraison sur les établissements interrogés. On voit que plus d'un tiers des établissements interrogés sont livrés moins d'une fois par semaine. Cette valeur représente les livraisons toutes les deux, trois ou quatre semaines. Un autre tiers des établissements est livré une à deux fois par semaine. Enfin, le dernier tiers représente tous les établissements recevant des livraisons entre 3 fois par semaine et tous les jours. Ces résultats démontrent une grande variabilité des fréquences de livraison sur les trois zones étudiées qui peut s'expliquer par la différence entre les types de commerces, la différence de surface de stockage, la différence de produits vendus et le nombre de prestataires de livraisons utilisés.



Graphique 6 – Nombre d'établissements selon leurs fréquence de livraison

Temps moyen de déchargement

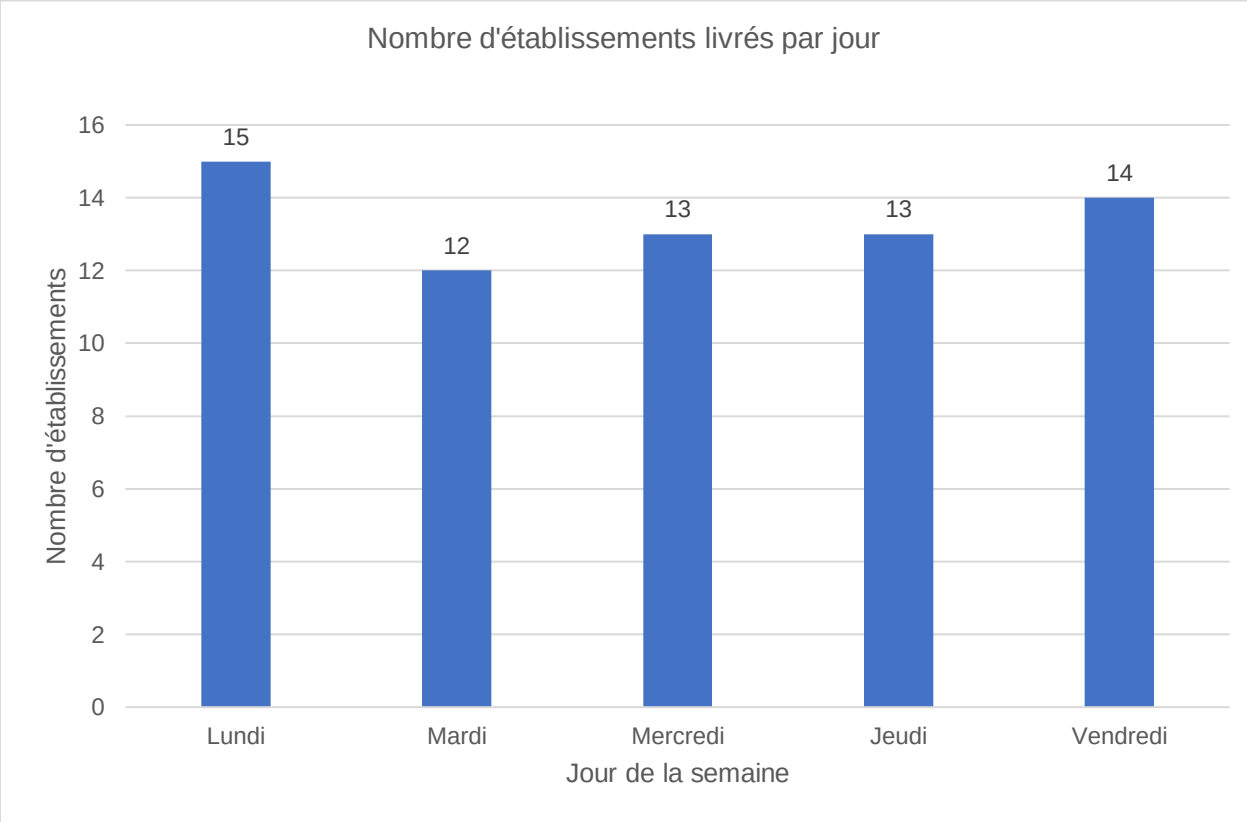


Graphique 7 – Nombre d'établissements selon leurs temps moyens de déchargement

Le Graphique 7 illustre la distribution du temps de déchargement moyen pour les établissements interrogés. Pour un tiers des établissements livrés, le temps de déchargement moyen est de 5 minutes ou moins. Pour le reste des établissements, on relève une distribution égale entre les temps de déchargement de 6 – 15 minutes, 16 – 30 minutes et 30 – 45 minutes. Il existe donc un nombre significatif de livraisons dépassant la durée réglementaire actuelle de 20 minutes.

A nouveau, le temps de déchargement varie entre les différents établissements, avec un minimum de 1 minute (livraison par colis pour un établissement de services personnels) et un maximum de 60 minutes (livraison par camion dans un magasin de literie). Ces variations sont directement liées au volume de livraison à décharger, qui varie généralement selon le type de commerce livré et sa capacité de stockage.

Jours de livraison

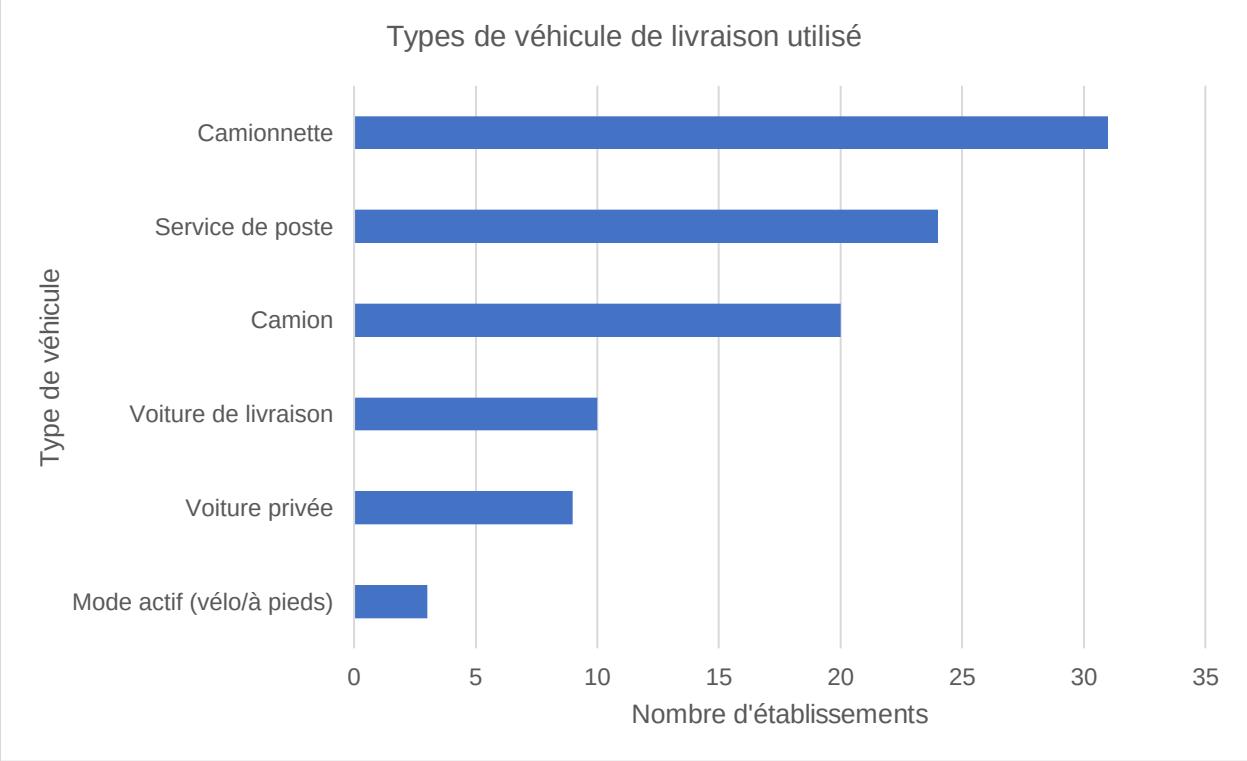


Graphique 8 – Nombre d'établissements livres par jour, sur les jours ouvrés de la semaine

Le Graphique 8 présente la distribution du nombre d'établissements livrés sur les jours ouvrés de la semaine. On relève une distribution très homogène avec un maximum de 15 atteint le lundi, et un minimum de 12 atteint le mardi. Cette distribution homogène est pourtant la résultante de programmes de livraisons très variables sur la semaine pour la majorité des établissements concernés par l'étude (48). Quelques précisions sont à noter : un établissement livré plusieurs fois un même jour n'est compté qu'une fois sur ce jour ; sur tous les établissements interrogés, aucun n'est livré les week-ends ; et enfin, sur tous les établissements interrogés, aucun n'est livré de nuit.

Ce résultat demande à être consolidé par une étude spécifique approfondie car c'est un élément très important pour la planification future des cases de livraison.

Types de véhicule de livraison



Graphique 9 – Types de véhicules (ou méthode) de livraison utilisé, en nombre d'établissements

Avant d'analyser le Graphique 9, il faut préciser que plusieurs types de véhicules de livraison peuvent être répertoriés pour un seul établissement. De plus, le type de véhicule répertorié comme « service de poste » représente la variabilité des véhicules utilisés lors de ce type de livraison. En effet, lors de l'enquête, les répondants mentionnent plusieurs types de véhicules, sans pour autant être sûr de quel véhicule est utilisé lors de la livraison de leur établissement. Sur le terrain, on relève une part élevée de camionnette appartenant aux entreprises de livraison, ainsi que de quelques vélos cargos électriques.

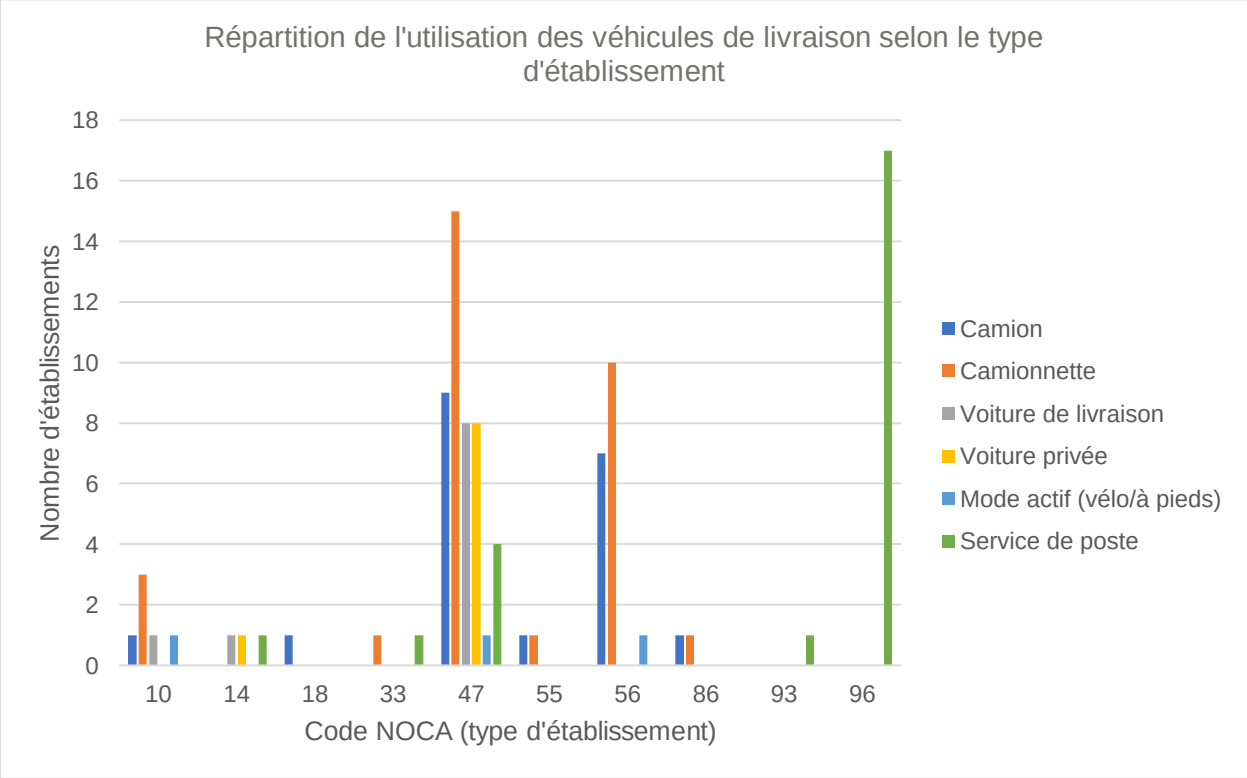
Le type de véhicule le plus utilisé pour la livraison des établissements répondants de l'enquête est la camionnette, avec environ la moitié des établissements l'ayant répertoriée.

Ensuite, plus d'un tiers des établissements se font livrer par colis (service de poste). Les prestataires varient : les livraisons peuvent être assurées par la poste, par DHL, ou encore par FedEx. Comme mentionné auparavant, les véhicule utilisés varient, allant du vélo cargo, au

motocycle ou encore à la camionnette. Ce genre de livraison n'est pas fixe et varie beaucoup dans le temps. Il est très compliqué de prédire le besoin d'un espace d'arrêt pour ce type de livraison.

Enfin, un peu moins d'un tiers des établissements sont livrés par camion. Ces établissements ont des volumes de marchandises plus importants.

Il est pertinent de noter que le mode actif est le mode de livraison le moins utilisé sur les commerces interrogés, malgré leur proximité au centre-ville. C'est une opportunité importante pour le futur de la livraison en ville pour les commerces pouvant adapter leurs habitudes.



Graphique 10 – Type de véhicule (ou méthode) de livraison selon le type de l'établissement (code NOCA)

Le Graphique 10 détaille la fréquence d'utilisation de chaque type de véhicule de livraison selon le type d'établissement.

Pour les commerces de détail ainsi que pour les établissements de restauration (codes NOCA 47 et 56, respectivement), on voit que les deux véhicules de livraison les plus fréquemment utilisés sont les camionnettes et les camions.

On observe que les établissements se faisant livrer par colis sont majoritairement les établissements de services personnels (code NOCA 96). Ce type d'établissement regroupe les

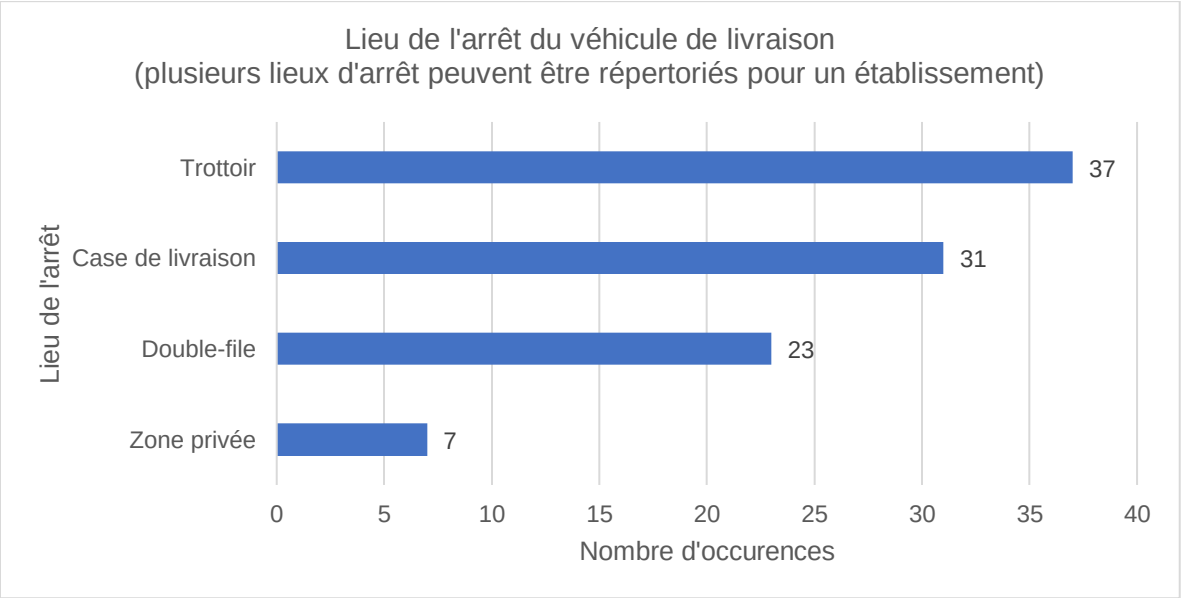
coiffeurs, les salons de tatouage, les instituts de beauté et de bien-être, et autres. Ces établissements, relativement plus petits en surface, commandent leurs produits en fonction de leur stock. Chaque établissement gère différemment sa fréquence de commandes mais la majorité des répondants arrangent leurs commandes pour que la livraison coïncide avec l'épuisement de leur stock.

A ce stade de l'analyse il apparait très clairement que les principaux véhicules utilisés pour la livraison dans le centre de Lausanne (camion, camionnette, voitures) ne correspondent pas à la stratégie d'amélioration de la qualité de l'air et de réduction des nuisances sonores voulue par la ville. La mise en place de mesures telles que l'établissement de Zones à Faible Émissions, l'instauration d'une restriction sur les niveaux sonores autorisés (labellisation Certibruit par exemple), ou l'adoption d'horaires décalés pour les camions seraient pertinentes.

5.2 Y a-t-il adéquation entre offre et demande sur les cases de livraison ?

Dans ce chapitre, nous allons continuer le diagnostic lausannois de l'utilisation des cases de livraison et plus particulièrement nous intéresser à la disponibilité de l'offre par rapport à la demande présentée dans le chapitre précédent.

Lieux d'arrêt des véhicules de livraison



Graphique 11 – Lieu d'arrêt du véhicule de livraison

Bien que la majorité des répondants affirment que lorsque la case de livraison est libre, leur livreur se parque à cet emplacement, on relève que plus de la moitié des établissements avouent que le trottoir devant leur établissement est souvent le lieu privilégié par le véhicule de livraison. En effet, même lorsque la case de livraison n'est pas occupée illégalement par des particuliers, les livreurs privilégient un emplacement, sur le trottoir ou en double-file, situé directement à côté de l'établissement livré. Ces occurrences sont illustrées en Annexe C – Photos prises sur le terrain. Les cases de livraison sont parfois mal localisées pour des livraisons de marchandises lourdes comme des palettes, et selon la topographie du terrain, elles peuvent être inintéressantes pour les livreurs.

Les répondants observent également un grand nombre d'utilisations abusives des cases de livraison qui sont rarement disponibles aux moments des livraisons.

En conséquence la case de livraison n'est utilisée que dans 30% des actes de livraison : il y a là un gros potentiel d'amélioration.

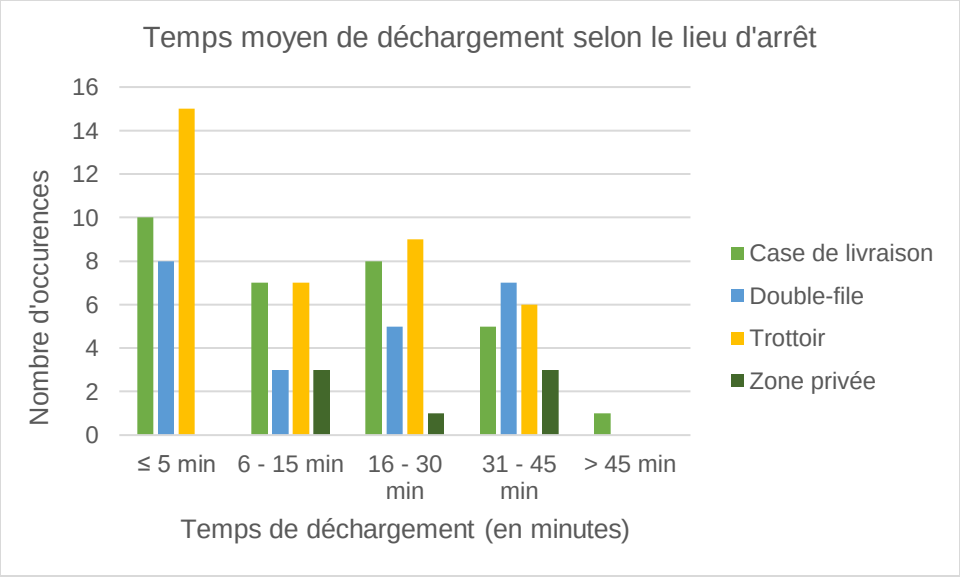
Enfin, on note que quelques établissements ont une zone privée dédiée à l'accueil des véhicules de livraison. Cette solution est efficace car ces zones sont assurées d'être libres et de ne pas gêner les autres utilisateurs de l'espace public.

Temps de déchargement

Le Graphique 12 illustre le temps de déchargement moyen selon le lieux d'arrêt des véhicules de livraison. On observe une grande variété de temps de déchargement, sur les différents emplacements d'arrêt. Les arrêts sur trottoir et en double-file, qui sont les plus gênants, ne concernent pas que les arrêts les plus courts et peuvent aller jusqu'à plus d'une demi-heure. Cela signifie que la motivation première des livreurs est essentiellement l'optimisation de leur temps de travail et ne prend pas en compte la gêne occasionnée au trafic.

Cette occupation gênante de l'espace public est ce qu'on cherche à éviter, et la ville de Lausanne doit trouver des solutions pour empêcher ce type d'arrêt en proposant des alternatives attractives.

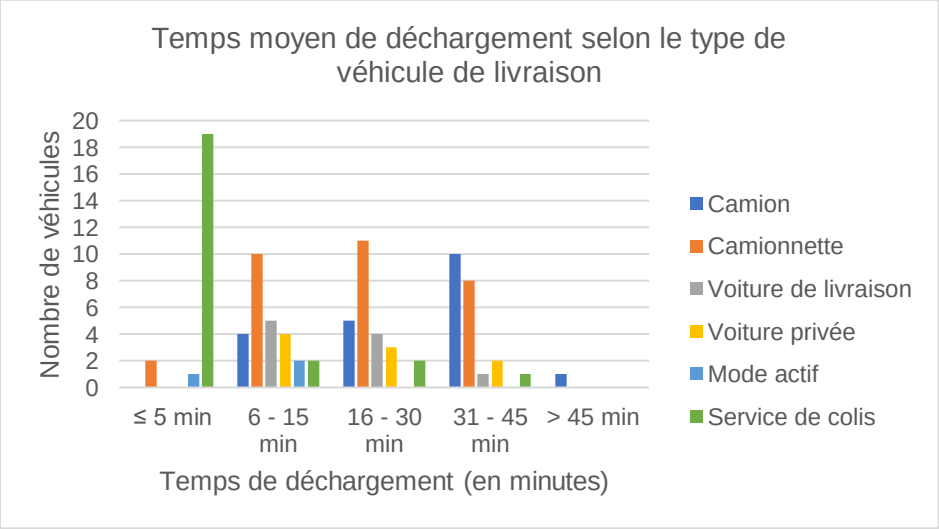
On note aussi des dépassements du temps d'arrêt autorisé (20 minutes) sur les cases de livraison. Ceci peut être expliqué par le type de livraison effectué, et le volume de marchandises à décharger.



Graphique 12 – Temps moyen de déchargement selon le lieu d'arrêt

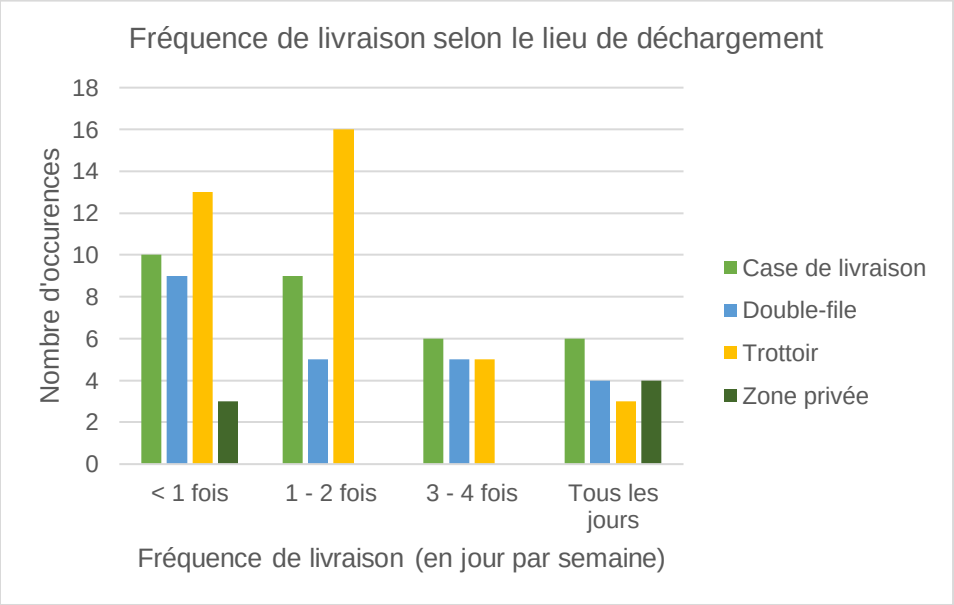
Le Graphique 13 recense le temps de déchargement selon le type de véhicule de livraison utilisé. Logiquement, les véhicules avec les temps moyens de déchargement les plus longs sont les camions et les camionnettes, ces véhicules ayant une capacité volumétrique plus importante, augmentant en conséquence le temps de déchargement des marchandises. Le Tableau 4 en Annexe B – Analyse statistique des données pour validation indique une relation linéaire positive entre le temps de déchargement et le camion.

On notera également que la livraison des marchandises par les différents services de livraison de colis prend le plus souvent moins de 5 minutes, ces livraisons se résumant à des dépôts de colis plus légers, nécessitant parfois une signature.



Graphique 13 – Temps moyen de déchargement selon le type de véhicule de livraison

Fréquence de livraison



Graphique 14 – Fréquence de livraison selon le lieu d'arrêt

Le Graphique 14 analyse la relation entre la fréquence des livraisons et les lieux d'arrêt choisis. On peut voir qu'il y a une utilisation homogène de tous les lieux d'arrêt listés dans cette enquête notamment dès qu'on dépasse la fréquence de 1 à 2 par semaine.

La question que nous posions sur l'adéquation entre l'offre et la demande des cases de livraison doit être légèrement reformulée : y a t'il adéquation entre la demande et l'offre de cases de livraison ***disponibles*** ? La réponse est clairement négative. En effet, ce chapitre a illustré les nombreux arrêts hors cases de livraison que les véhicules de livraison effectuent jour après jour lors de leurs tournées. Les arrêts peuvent durer dans le temps, allant même jusqu'à 45 minutes en double-file ou encore sur le trottoir (cf. Image 12). Bien que rien au niveau légal n'empêche ces arrêts hors case (tant qu'ils ne créent pas de dangers, à l'inverse du véhicule dans l'Image 11), les chauffeurs livreurs sont confrontés à un espace public non adapté, soit par l'occupation des cases de livraison ou par le mauvais dimensionnement et la mauvaise localisation de ces cases, les forçant à s'arrêter hors des cases pour respecter leur agenda.
Si la ville peut agir en améliorant le nombre et le dimensionnement des cases il existe également un fort besoin d'information, au niveau des livreurs pour leur faire prendre conscience de l'impact de leur comportement (notamment lorsqu'ils délaissent une case libre pour un arrêt en double-file) et au niveau des particuliers qui encombrent les cases de livraison. Le modèle d'action informative de la ville de Genève que nous avons cité précédemment doit être pris en considération.

Image 11 – Photo prise sur le terrain, véhicule de livraison arrêté sur une piste cyclable

Image 12 – Photo prise sur le terrain, véhicule de livraison arrêté sur le trottoir

6. Discussion

Après avoir réalisé un état de l'art sur la logistique du dernier kilomètre et une enquête sur l'utilisation des cases de livraison au centre-ville de Lausanne, l'analyse des données et les résultats en découlant me permettent de proposer des réponses aux questions de recherche qui ont motivé ce travail :

- Quelle est la demande enregistrée sur les cases de livraison au centre-ville de Lausanne ? L'offre actuelle est-elle satisfaisante ?
- Quels sont les principaux problèmes identifiés ?
- Une fois ce diagnostic effectué, quelles solutions de planification et de gestion des cases de livraison apparaissent-elles comme les plus pertinentes pour Lausanne ?

Le centre-ville de Lausanne est sujet à un nombre important de livraisons chaque jour, effectuées essentiellement par des véhicules à moteurs thermiques, allant de la voiture de livraison au camion de marchandises. Ce constat n'est pas une surprise, il correspond à celui que l'on retrouve dans la littérature concernant l'ensemble des villes. La migration vers des modes de livraisons plus vertueux sur le plan environnemental semble représenter selon nos observations un phénomène encore marginal à Lausanne. La livraison de marchandises contribue ainsi fortement aux émissions de gaz nocifs et de particules fines dans la ville et à la pollution sonore. Malgré ses faiblesses, notre étude démontre clairement que l'offre actuelle en cases de livraison disponibles (précision rajoutée pour différencier l'offre de la vraie disponibilité des cases à cause des occupations illicites) sur les zones étudiées n'est pas satisfaisante, la majorité des arrêts étant effectués hors cases de livraison lors du déchargement des marchandises. Les véhicules de livraison occupent la chaussée (lorsque les véhicules sont garés en double-file) ou le trottoir. Cette prédation de l'espace public est souvent gênante pour les autres utilisateurs, et parfois dangereuse dans les pires scénarios. Elle se traduit par de nombreuses nuisances, notamment la congestion des rues source de pollution supplémentaire et par des situations de stress pour l'ensemble des usagers, livreurs compris.

Cet engrenage de la prédominance du thermique et d'un maillage de cases de livraison inadapté dégrade la qualité de vie en centre-ville de Lausanne et ne peut que s'amplifier si des actions concrètes ne sont pas menées par la Ville.

Les recommandations exposées dans les paragraphes suivants sont des propositions qui, parce qu'elles ont fait leurs preuves ailleurs, pourraient améliorer la situation lausannoise au cours des prochaines années. Bien que ces recommandations soient indépendantes les unes des autres, elles pourraient être mises en œuvre soit ensemble ou successivement selon les choix de la Ville de Lausanne et pourraient être circonscrites dans l'espace urbain (au niveau d'une rue, ou d'un quartier) en fonction des ressources allouées.

6.1 Recommandations

Recommandation 1 – Campagne d'information et de sensibilisation des usagers

Le but de cette action est d'améliorer la disponibilité des cases de livraison dans le centre-ville lausannois en induisant un changement de comportement chez les utilisateurs. En effet, on a vu que les cases étaient souvent occupées par des véhicules privés y stationnant de manière abusive. Les véhicules de livraison n'ont pas d'autres choix que de s'arrêter là où la place est disponible, soit sur le trottoir ou sur la chaussée en double-file. Cette campagne de communication serait à destination des commerçants, des professionnels du transport de marchandises et des particuliers utilisant un véhicule en ville et pourrait s'appuyer sur le modèle utilisé par la ville de Genève en 2022 qui s'est révélé performant.

Pour produire des effets à long terme cette campagne doit intégrer un protocole de contrôle du bon usage des cases de livraisons avec un volet informatif puis répressif.

Ces contrôles doivent se focaliser sur l'occupation abusive des cases de livraison par des véhicules privés, et non sur les quelques occurrences de dépassement des 20 minutes réglementaires par les livreurs. En effet, le premier but de cette mesure est d'assurer que le véhicule de livraison trouve une case de livraison libre lorsqu'il arrive sur site.

A la suite de cette campagne, une analyse de son impact sur la disponibilité des cases de livraisons devra être réalisée : dans la mesure où le résultat serait positif (comme il l'est à Genève) la Ville pourrait alors mieux évaluer la pertinence du nombre du dimensionnement et de la localisation des cases de livraison. Ce dernier travail sera essentiel pour supprimer du maillage les cases de livraisons qui sont inutilisées parce qu'inadaptées.

Recommandation 2 – Sanctuarisation de cases de livraison

Actuellement la règlementation lausannoise autorise les particuliers à utiliser les cases de livraison pour procéder à des opérations de déchargement limitées dans le temps, avec les dérives de comportement dont nous avons parlé. La sanctuarisation des cases, c'est-à-dire la limitation de leur utilisation strictement aux professionnels de la livraisons (qui pourraient être identifiés par un disque de stationnement ou une vignette spécifique) est une disposition règlementaire permettant d'améliorer la disponibilité des cases.

Cette sanctuarisation pourrait concerner l'ensemble de la journée (7h – 19h) ou être limitée à des plages horaires correspondant à la concentration des livraisons. Cette modification est de la compétence de la Ville, plus simple à intégrer qu'une modification au niveau cantonal ou fédéral. Cette action qui doit s'accompagner d'une campagne d'information du public devrait idéalement être intégrée à la recommandation n°1 pour limiter les coûts.

Recommandation 3 – Essai d'une application de gestion intelligente des espaces de livraisons en ville

La disponibilité des cases de livraison est un facteur décisif pour garantir leur utilisation par les véhicules de livraison. Leur non-disponibilité lors de l'arrivée d'un livreur sur le lieu de livraison peut entraîner une perte de temps, et donc des coût supplémentaires pour l'établissement livré ainsi que pour l'entreprise de livraison.

Une application numérique (telle que Parkunload ou Parkingmap que nous avons décrites précédemment), recensant toutes les cases de livraison d'une ville et leur occupation en temps réel, permettrait aux chauffeurs livreurs d'organiser leurs tournées de livraison selon la disponibilité des cases. Les mises à jour sur l'occupation des cases peuvent être réalisées directement par les livreurs lorsqu'ils arrivent sur place, ou par un système de détection automatique installé sur chaque case de livraison, cette dernière solution sera plus onéreuse selon le nombre de cases de livraison et selon la technologie choisie et pourrait n'être mise en œuvre que dans un second temps.

À Lausanne où la carte numérisée des cases de livraison devra être rendue interactive, cette solution pourrait être testée rapidement : elle devra être le fruit d'une étroite collaboration avec les professionnels du transport concernés pour remporter leur adhésion sans contrainte et s'accompagner d'un programme de formation des chauffeurs livreurs.

Une fois la transition vers les applications numériques réalisée, de nombreuses possibilités s'ouvrent : à la place d'une application qui met simplement à jour l'occupation des places, on peut imaginer un système de réservation des cases, où chaque véhicule peut réserver des créneaux horaires sur les case de livraison, s'assurant ainsi de leur disponibilité au moment de l'arrivée sur site.

Recommandation 4 – Instauration d'une Zone de Faibles Émissions de gaz, particules et bruits

Le secteur de la livraison de marchandises génère une pollution atmosphérique non négligeable. Sur les zones observées pendant l'enquête, la part de véhicules de livraison propres est faible, voire inexistante. Les mesures que nous préconisons auront beau produire leurs effets, tant que le verdissement du parc des véhicules de livraison ne sera pas effectif, l'impact environnemental de la livraison en centre-ville sera toujours très lourd.

Pour accompagner cette transition la Ville peut recourir à la création de zones à faibles émissions, avec des horaires d'accès favorisant les véhicules les moins polluants. Ces zones sont déjà largement utilisées dans de nombreuses villes européennes et les modèles ne manquent donc pas. Leur installation dans les zones les plus critiques de la ville permettrait de faciliter les livraisons et de réduire les nuisances associées.

Cependant la mise en place d'une ZFE ne se limite pas à la pose de panneaux signalisateurs :

Elle doit s'accompagner d'une politique publique favorisant la transition écologique vers les véhicule électriques (nous éliminons de l'équation lausannoise les véhicules à hydrogène et au GNV, trop peu représenté dans le parc de véhicules lausannois), grâce à des exemptions de taxes, des subventions ou encore un soutien financier à l'achat d'un nouveau véhicule. Le réseau de bornes électrique à recharge rapide doit également être adapté à cette stratégie.

Enfin la problématique du contrôle des ZFE outre son coût de développement, se pose également en terme juridiques : en effet le système de contrôle le plus efficient est le contrôle automatique où les éléments relatifs à la constatation sont collectés sans intervention humaine par un appareil de type radar, permettant de lire les plaques d'immatriculation ou des vignettes.

6.2 Limites

Pendant la réalisation de ce projet de master, des limites ont été rencontrées et sont détaillées ci-dessous.

La principale faiblesse de ce travail est liée à la méthode de récolte de données. En effet, le choix d'entrevues dirigées avec les commerçants était très coûteux en temps, et un nombre limité de réponses ont été recueillies, insuffisant notamment pour une analyse statistique valide.
Le choix d'un périmètre restreint répondait à la mobilisation d'une seule personne pour une collecte de réponses dans un délai maitrisé.
Cette option limite forcément le nombre de réponses potentielles, d'autant que les échecs sont nombreux (établissements qui ne répondent pas ou entrevues qui ne sont pas exploitables in fine).

Une analyse statistique a été réalisée et confirme que la taille de l'échantillon n'est pas satisfaisante et ne permet pas de tirer des conclusions scientifiques. Cette analyse statistique est jointe en Annexe B – Analyse statistique des données pour validation. Le temps estimé nécessaire pour récolter un nombre suffisant de données complémentaires a été jugé trop important au moment des résultats de l'analyse statistique.
L'analyse des données a cependant permis d'éclairer utilement la réflexion pour la détermination de propositions adaptées à la problématique lausannoise.

Dans la perspective d'un approfondissement du diagnostic des cases de livraison lausannoises, mon expérience me conduit à conseiller l'utilisation de plusieurs enquêteurs, ainsi que l'installation et l'utilisation de caméras pour avoir des données beaucoup plus précises sur l'occupation réelle des cases de livraisons.

7. Conclusion

Ce projet de master a permis de réaliser une revue de littérature détaillée sur les solutions de livraison pour le dernier-kilomètre, ainsi qu'un diagnostic autour des cases de livraison au centre-ville de Lausanne. La question de l'adéquation entre l'offre et la demande et l'identification des problèmes y afférents ont été traitées.

L'offre en cases de livraison disponibles sur le périmètre de l'enquête n'était absolument pas en adéquation avec les besoins des acteurs de la livraison durant le temps de l'étude. En effet, de nombreux arrêts hors cases (trottoir, double-file) ont été enregistrés lors de l'enquête, et ce même lorsque la case de livraison était disponible. Une réflexion sur le dimensionnement et l'accessibilité des cases existantes dans certaines rues doit être réalisée pour éviter ces occurrences. Les problèmes engendrés par cette occupation gênante de l'espace public ont été identifiés : pollution de l'air, pollution sonore, congestion routière, mise en danger d'autrui, stress sur les chauffeurs livreurs etc.

En s'inspirant de certaines idées et de notions abordées lors de la revue de littérature, des recommandations adaptées à la ville de Lausanne sont proposées pour répondre aux problèmes identifiés. Ces propositions sont présentées selon le degré de difficulté de leur mise en œuvre, difficulté liée au coût d'investissement nécessaire, au nombre d'acteurs à impliquer et aux potentiels obstacles liés à la règlementation et la législation. Elles vont d'une simple campagne de communication sur la bonne utilisation des cases de livraison, à la mise en place de ZFE sur certains quartiers de la ville. Bien qu'indépendantes, elles sont idéalement cumulables pour arriver à une solution idéale se traduisant par le renforcement de la qualité de vie en centre-ville et de l'attractivité de celui-ci.

Ce travail a été l'occasion pour moi d'approfondir mes connaissances sur le sujet de la logistique urbaine, qui s'est révélé passionnant même lorsqu'il est réduit à la problématique des cases de livraison. Ce domaine est une source permanente d'innovations pilotées à la fois par des collectivités, de grandes entreprises et de jeunes start-ups, ce foisonnement d'énergie et d'idée entièrement dirigé vers la transformation du monde urbain pour qu'une qualité de vie optimisée puisse s'y développer durablement.

J’ai de plus découvert les difficultés liées à la récolte de données par questionnaire et par entrevue. Cette méthode coûteuse en heures, n’a pas fourni un échantillon de données assez large pour que les résultats obtenus soient validés statistiquement.

Néanmoins, ce document ouvre des perspectives sur le sujet des livraisons au centre-ville pour la Ville de Lausanne, aussi bien pour la résolution de problèmes immédiats que pour l’amélioration de la mobilité durable et de la qualité de vie à moyen terme.

8. Bibliographie

Abu Khdair, S. (2019). *Master 2 MAE : Entrepreneuriat - La livraison par la foule.* Strasbourg: EM Strasbourg.

Académie de la mobilité. (2021, May 14). *Communiqué de presse - SMARGO : la combinaison de la mobilité partagée et de la logistique urbaine* . Retrieved from TCS: https://www.tcs.ch/assets/docs/presse/2021/communiqu-_de_presse_smargo.pdf

Bolzan, J.-J., Idrac, A.-M., & Jean, A.-M. (2021). *Mission LUD - Logistique urbaine durable.* Gouvernement français.

Bosona, T. (2020). Urban Freight Last mile Logistics - Challenges and Opportunities to Improve Sustainability: A Literature Review. *Sustainability*, 8-10.

Cerema. (2014, Janvier 15). *Utilisation des aires de livraison*. Retrieved from Cerema.fr: www.cerema.fr/fr/actualites/utilisation-aires-livraison

CERTU. (2009). *Aménagement des aires de livraison - Guide pour leur quantification, leur localisation et leur dimensionnement .* Lyon.

Chamerois, T. (2021, Novembre 15). *La livraison urbaine face à des défis multiples et interdépendants*. Retrieved from Sprint Project: https://www.sprint-project.com/avis-dexpert/2021/11/livraison-urbaine-face-a-des-defis-multiples-et-interdependants/

Chappaz, F., Massard, G., Jaquet, L., & Guisan, F. (2014). *Mise en œuvre de la démarche One Planet Living© OPL© pour la réalisation de quartiers durables en Suisse: Logistique urbaine du dernier kilomètre, quelles opportunités?* Genève: WWF Suisse.

Cloutet, P. (2016). *Expérimentation de livraisons de nuit sur la métropole de Bordeaux.* Bordeaux: Aquitaine Online.

Dablanc, L. (2012). La livraison des marchandises en ville : enjeux d'action locale . In *Droit et gestion des collectivités territoriales* (pp. 61-86). Le Moniteur.

Dablanc, L., Proulhac, L., & Raimbault, N. (2022). *Enquête sur les travailleurs nantais des plateformes de livraison instantanée.* Nantes.

Deloison, T., Hannon, E., Huber, A., Heid, B., Klink, C., Sahay, R., & Wolff, C. (2020). *The Future of the Last-Mile Ecosystem.* Geneva: World Economic Forum.

Dias, A. (2022). Paris se met au stationnement intelligent avec S+LOADZ. *Supply Chain Magazine*.

Dias, P. A., Yoshizaki, H., Favero, P., & Geraldo Vidal Vieira, J. (2019). Daytime or Overnight Deliveries? Perceptions of Drivers and Retailers in São Paulo City. *Sustainability* .

Filleul, M., & Herzog, C. (2022). *Rapport d'information fait au nom de la commission de l'aménagement du territoire et du développement durable sur les persectives de la politique d'aménagement du territoire et de cohésion territoriale, sur le volet "logistique urbaine durable".* Paris: Sénat .

Fondation des parkings. (2022, August). *Stationnement sur le domaine public - Guide pratique pour les professionnels .* Retrieved from Genève Parking: https://www.geneve-parking.ch/sites/default/files/2022-09/Guide-stationnement-FDP_web_interactif_2022.pdf

Garrutik, & Jonction. (2021). *Engagement volontaire en faveur de la logistique urbaine.* ADEME.

Gindroz, A. (2020, June 26). *Notre projet pilote "Colision" a reçu le label "Solar Impulse Efficient Solution"*. Retrieved from Actualités - tl: https://actualites.t-l.ch/clin-doeil/notre-projet-pilote-colision-a-recu-le-label-solar-impulse-efficient-solution/

Hauenstein, M. (2020, Octobre 22). *La logistique urbaine en Suisse : où en sommes nous à l'heure actuelle ?* Retrieved from Swissconnect: https://swissconnect.ch/fr/a-

propos/blog/articles-blog/la-logistique-urbaine-en-suisse-ou-en-sommes-nous-a-l-heure-actuelle
Heath, N. (2018, April 4). *Project Wing : A cheat sheet on Alphabet's drone delivery project*. Retrieved from TechRepublic: https://www.techrepublic.com/article/project-wing-a-cheat-sheet/
Jung, S., & Kim, H. (2017). Analysis of Amazon Prime Air UAV Delivery Service. *Journal of Knowledge Information Technology and Systems*, 253-266.
La livraison collaborative. (2022, Juin 15). Retrieved from Way to me: https://waytome.com/la-livraison-collaborative/
Labre, P. (2018, Septembre). *La Poste: un robot suiveur qui porte le courrier de facteur*. Retrieved from Technplay.com: https://technplay.com/la-poste-robot-suiveur-facteur/
Le Dantec, S. (2016, April). *Développer des modes actifs sur les territoitres étape par étape.* Retrieved from La librairie ADEME: https://librairie.ademe.fr/mobilite-et-transport/2797-developper-les-modes-actifs-sur-les-territoires-etape-par-etape.html
Machado de Oliveira, C., Albergaria De Mello Bandeira, R., Vasconcelos Goes, G., Neves Schmitz Gonçalves, D., & De Almeida D'Agosto, M. (2017). Sustainable Vehicles-Based Alternatives in Last Mile Distribution of Urban Freight Transport: A Systematic Literature Review. *Sustainability*.
Mairie de Paris. (2023, February 6). *Logistique, marchandises, livraisons*. Retrieved from Mairie de Paris: https://www.paris.fr/pages/logistique-marchandises-livraisons-4738
Maria Patella, S., Grazieschi, G., Gatta, V., Carrese, S., & Marcucci, E. (2020). The Adoption of Green Vehicles in Last Mile Logistics : A Systematic Review. *Sustainability*.
Mourad, A., Puchinger, J., & Woensel, T. (2021). Integrating autonomous delivery service into a passenger transportation system. *International Journal of Production Research*, 2116-2139.
Muller, C., Rodriguez, S., & Niquille, A. (2018). *PLAN DES MESURES OPAIR DE L'AGGLOMÉRATION LAUSANNE-MORGES.* Direction de l'environnement industriel, urbain et rural.
Muñoz-Villamizar, A., Montoya-Torres, J. R., & Faulin, J. (2017). Impact of the use of electric vehicles in collaborative urban transport networks: A case study. *Transportation Research Part D : Transport and Environment*, 40-54.
N'tsia, S. (2021, Octobre 06). *Comment la ville de Paris teste les aires de livraison connectées*. Retrieved from Journal du net: https://www.journaldunet.com/ebusiness/commerce/1505865-comment-la-ville-de-paris-experimente-les-aires-de-livraisons-connectees/#:~:text=Les%20capteurs%20enregistrent%20et%20analysent,observer%20en%20fonction%20du%20paramétrage.
Office de la circulation et du stationnement . (2022, November 10). *Autorisation de parquer hors des cases de stationnement* . Retrieved from Ville de Lausanne: https://www.lausanne.ch/prestations/police/autorisation-parquer-hors-cases.html
Ordonnance sur la signalisation routière (OSR), RS 741.21 (Le Conseil fédéral suisse September 5, 1979).
Patier, D. (2002). *La Logistique dans la ville .* Celse.
Pouponneau, M., Forestier, B., & Cape, F. (2020, Septembre). *Zones à faibles émissions (Low Emission Zones - LEZ) à travers l'Europe (Les).* Retrieved from La librairie ADEME: https://librairie.ademe.fr/air-et-bruit/27-zones-a-faibles-emissions-low-emission-zones-lez-a-travers-l-europe-les.html
Rajaa, M., & Ibnoulkatib, G. (2019). La logistique urbaine : Identification des Condepts Clés (Revue de Litttérature). *European Scientific Journal*, 64-69.
Ranieri, L., Digiesi, S., Silvestri, B., & Roccotelli, M. (2018). A Review of Last Mile Logistics Innovations in an Externalities Cost Reduction Vision. *Sustainability*.

République et Canton de Genève. (2018). *Plan d'action marchandises et logistique urbaine 2019-2023.* Genève: République et Canton de Genève.

RRA - Roland Ribi et associés. (2018). *Synthèse de l'étude fondant une ZCR "livraison" sur le périmètre de la Grande Ile de Strasbourg.* Strasbourg: Eurométropole de Strasbourg.

Schliwa, G., Armitage, R., Aziz, S., Evans, J., & Rhoades, J. (2015). Sustainable city logistics — Making cargo cycles viable for urban freight transport. *Research in Transportation Business & Management*, 50-57.

Schmid, T., Ruesch, M., & Bohne, S. (2019). Les marges de manoeuvre des villes das la logistique urbaine. Bern: Conférence des villes pour la mobilité (CVM).

Shen, Y., Xu, X., Zou, B., & Wang, H. (2021). Operating policies in multi-warehouse drone delivery systems. *International Journal of Production Research*, 2140-2156.

Sheth, M., Butrina, P., Goodchild, A., & McCormack, E. (2019). Measuring delivery route cost trade-offs between electric-assist cargo bicycles and delivery trucks in dens urban areas. *European Transport Research Review*.

Starship Technologies. (2023). *Delivery by Starship*. Retrieved from Starship xyz: https://www.starship.xyz/delivery-by-starship-delivery-as-a-service/

Strasbourg.eu. (2019). *Evolution des règles de livraison au centre-ville*. Retrieved from Strasbourg.eu Eurométropole: https://www.strasbourg.eu/nouvelles-regles-de-livraison-au-centre-ville#:~:text=Depuis%20le%201er%20septembre%202018,seront%20désormais%20interdits%20de%20circulation.

Tomislav Letnik, K. H. (2022). Impact of Logstics trends on Freight Transport Development in Urban Areas. *Sustainability*, 4-6.

Ville de Genève. (2022, Septembre 07). *Places de livraison en faveur des professionnels* . Retrieved from Ville de Genève - Site officiel: https://www.geneve.ch/fr/actualites/places-livraison-faveur-professionnels

Ville de Lausanne - Sécurité et économie. (2022). *Réponse au postulat de Mme Aude Billard « Les trottoirs ne sont pas des parkings » Rapport-préavis No 2022/06.* Lausanne.

Zones à faibles émissions mobilité : les mesures pour lutter contre la pollution de l'air. (2022, Octobre 24). Retrieved from Ministères Ecologie Energies Territoires: https://www.ecologie.gouv.fr/zones-faibles-emissions-mobilite-mesures-lutter-contre-pollution-lair

Zunder, T. H. (2021). A semi-systematic literature review, identifying research opportunities for more sustainable, receiver-led inbound urban logistics flows to large higher education institutions. *European Transport Research Review*.

Annexe A – Exemple de réponse au questionnaire

Questionnaire sur l'utilisation des cases de livraisons

Court questionnaire pour récolte de données pour mon projet de Master à l'EPFL. Documentation de l'utilisation des places de livraisons à ce jour.

1. Numéro de case

   4 (Alex. Vinet)

2. Nom de l'établissement

   Epicerie du Valentin

3. Votre établissement est-il livré en marchandises par des prestataires externes?

   Une seule réponse possible.

   - [x] Oui
   - [ ] Non

4. Utilisez-vous la case de livraison ?

   Une seule réponse possible.

   - [ ] Oui
   - [x] Non

   ↳ utilisation du trottoir devant le magasin

5. Si non, comment restockez-vous votre établissement?

Une seule réponse possible.

- ( ) Mode actif (à pied, à vélo)
- ( ) Par colis (poste)
- ( ) Transport en commun
- ( ) Autre : _____

6. Si oui, à quelle fréquence est-elle utilisée?

ici, l'établissement est livré mais n'utilise pas le cas de livraison

Une seule réponse possible.

- ( ) Tous les jours
- ( ) 3 à 4 fois par semaine
- (X) 2 fois par semaine → mardi et vendredi
- ( ) 1 fois par semaine
- ( ) 1 fois toute les 2 semaines
- ( ) 1 fois par mois

7. Quel type de véhicule de livraison utilisez-vous pour votre établissement?

Plusieurs réponses possibles.

- [ ] Voiture privée
- [ ] Voiture de livraison
- [X] Camion / Véhicule articulé lourd
- [X] Camionnette
- [ ] 2 - roues (vélo, moto)
- [ ] Autre : _____

} varie selon le fournisseur

8. A quel type de carburant fonctionne le véhicule?

Une seule réponse possible.

- [x] Essence ou diesel
- [ ] Hybride
- [ ] Electrique
- [ ] Autre : _____

9. A chaque utilisation, estimez le temps d'utilisation (d'occupation) de la case par le véhicule de livraison:

Une seule réponse possible.

- [ ] < 15 minutes
- [ ] 15 - 20 minutes
- [x] 20 - 30 minutes
- [ ] 30 - 45 minutes
- [ ] > 45 minutes

10. Vos livraisons sont-elles effectuées par 1 seul même prestataire?

Une seule réponse possible.

- [ ] Oui
- [x] Non, plusieurs
- [ ] Autre : _____

11. Est-ce que cette case est utilisée autrement que pour la livraison de votre établissement?

~~Une seule réponse possible.~~

- [x] Oui, par d'autres commerçants/restaurants
- [ ] Oui, par moi même ou mes employés
- [ ] Non, pas que je sache
- [x] Par des privés (illégalement ou avec la carte PMR)
- [ ] Autre : _____

12. Autres commentaires

Livraisons effectuées généralement le matin, entre 9h30 et 10h30.

Ce contenu n'est ni rédigé, ni cautionné par Google.

Google Forms

Annexe B – Analyse statistique des données pour validation

Fréquence de livraison, par semaine

Moyenne	2.078125 fois
Écart-type	1.734269 fois
Écart-type relatif	83%
Intervalle de confiance	0.433207

Sur l'ensemble des répondants de l'enquête, la fréquence de livraison moyenne enregistrée est d'environ 2 fois par semaine.

Avec un écart-type est de 1.73 pour une moyenne de 2.08 et un écart-type relatif de 83%, on considère que l'échantillon utilisé n'est pas assez large pour obtenir des résultats statistiquement significatifs. Les données de l'échantillon sont réparties trop largement autour de la moyenne.

L'intervalle de confiance, compris entre 1.645 et 2.511, signifie qu'il y a 95% de probabilités que la fréquence de livraison moyenne pour les établissements (tant qu'ils sont représentés dans l'échantillon) du centre-ville de Lausanne soit comprise entre 1.645 et 2.511 fois par semaine.

Temps moyen de déchargement

Moyenne	16.25 minutes
Écart-type	11.78 minutes
Écart-type relatif	72%
Intervalle de confiance	2.94

Sur l'ensemble des répondants de l'enquête, le temps de déchargement moyen enregistré est d'environ 16 minutes.

L'écart-type est de 11.78, ce qui indique une dispersion importante autour de la moyenne. Les valeurs de la base de données sont très dispersées sur une grande échelle. En effet, on relève un minimum de 1 minute et un maximum atteint une fois de 60 minutes. Pour construire une base de données plus consistante qui couvre toutes ces variations, il aurait fallu récolter beaucoup plus de réponses. L'écart-type relatif de 73% nous donne une conclusion similaire.

L'intervalle de confiance, compris entre 13.31 et 19.19, signifie qu'il y a 95% de probabilités que la temps de déchargement moyen pour les établissements (tant qu'ils sont représentés dans l'échantillon) du centre-ville de Lausanne soit compris entre 13.31 et 19.19 minutes.

Les résultats de cette analyse statistiques ne sont pas concluants. Nous n'avons pas assez de réponses de la part des commerces, causant une dispersion très importante dans les réponses qui varient amplement selon le type et la taille des établissements etc.

Un échantillon beaucoup plus large est nécessaire pour que les résultats de cette enquête soient statistiquement signifiants. Idéalement, toutes les cases de livraison devraient être incluses dans une future enquête.

Matrice de corrélation

	Fréquence de livraison, ramenée à la semaine	Temps moyen de déchargement	Camion	Camionnette	Voiture de livraison	Voiture privée	Mode actif (vélo/à pieds)	Livraison par service de colis	Case de livraison	Double-file	Trottoir	Zone privée
Fréquence de livraison, ramenée à la semaine	1											
Temps moyen de déchargement	0.33872302	1										
Camion	0.58161497	0.60563766	1									
Camionnette	0.61012934	0.31094964	0.42579662	1								
Voiture de livraison	-0.0320435	0.04602015	-0.2901294	0.01345443	1							
Voiture privée	-0.1555055	0.1297795	-0.2727273	-0.0323212	0.69244223	1						
Mode actif (vélo/à pieds)	0.0758536	-0.1754981	-0.1495149	0.08089183	0.31174798	0.12293444	1					
Livraison par service de colis	-0.5275458	-0.6240333	-0.522233	-0.6861759	-0.3333333	-0.3133398	-0.1717795	1				
Case de livraison	0.13315526	0.02474223	0.02107904	-0.0009775	-0.0726539	0.05761604	-0.2149412	0.08879924	1			
Double-file	0.04169525	0.03134235	-0.0834289	-0.074324	0.03643516	-0.021955	-0.1660993	0.09248924	0.18631912	1		
Trottoir	-0.2554126	-0.2226322	-0.2431704	-0.0583622	0.01906112	-0.0184866	0.03975947	0.20422628	-0.2482865	-0.4152087	1	
Zone privée	0.19502674	0.21950395	0.51978403	0.16121779	-0.1508046	-0.1417593	-0.0777154	-0.2714484	-0.1393047	-0.2624724	-0.410233	1

Tableau 4 – Matrice de corrélation

Le tableau ci-dessus illustre la matrice de corrélation obtenue pour les variables suivantes : fréquence de livraison, temps moyen de déchargement, véhicules utilisés et lieux de l'arrêt. Les coefficients de corrélation obtenus sont interprétés. Pour rappel, ces coefficients de Pearson varient entre -1 et 1. Plus la valeur absolue du coefficient est proche de 1, plus la relation linéaire entre cette paire de variables est forte.

Une relation linéaire positive existe entre les paires de variables suivantes :

- Camion et Temps moyen de déchargement → 0.606
- Camionnette et Fréquence de livraison → 0.610
- Voiture privée et Voiture de livraison → 0.692

Une relation linéaire négative existe entre les paires suivantes :

- Livraison par service de colis et Temps moyen de déchargement → - 0.624
- Livraison par service de colis et Camionnette → - 0.686

Certaines de ces relations paraissent logiques, comme la relation linéaire positive modérée entre Camion et Temps moyen de déchargement.

D'autres relations sont plus floues, plus de de données sont nécessaires pour conclure avec certitude sur l'existence de corrélation entre les variables.

Annexe C – Photos prises sur le terrain

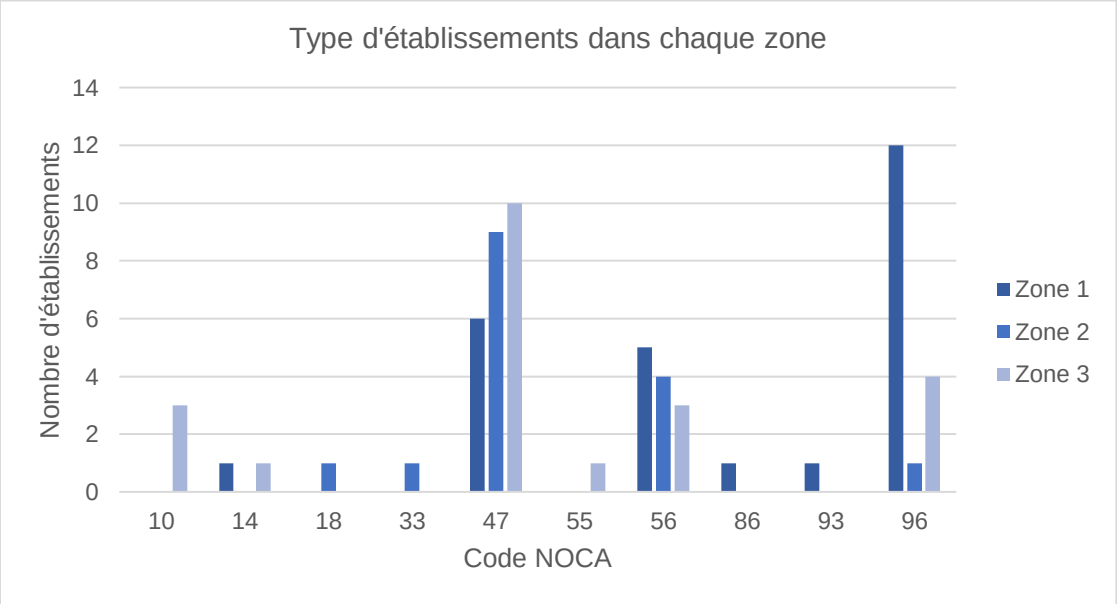
Occupation abusive de la case de livraison

Arrêts hors case

Annexe D - Analyse spatiale (par zone)

La ville de Lausanne a exprimé un intérêt dans l'analyse spatiale des résultats de l'enquête lors des dernières réunions. Dans ce chapitre, les résultats sont donc analysés selon leur zone.

Profil des zones - types d'établissements



La zone 1 peut être considérée comme la plus commerciale, car elle regroupe quelques commerces de détail (6), un grand nombre d'établissements de restauration (5) et un maximum d'établissements de services personnels (12).

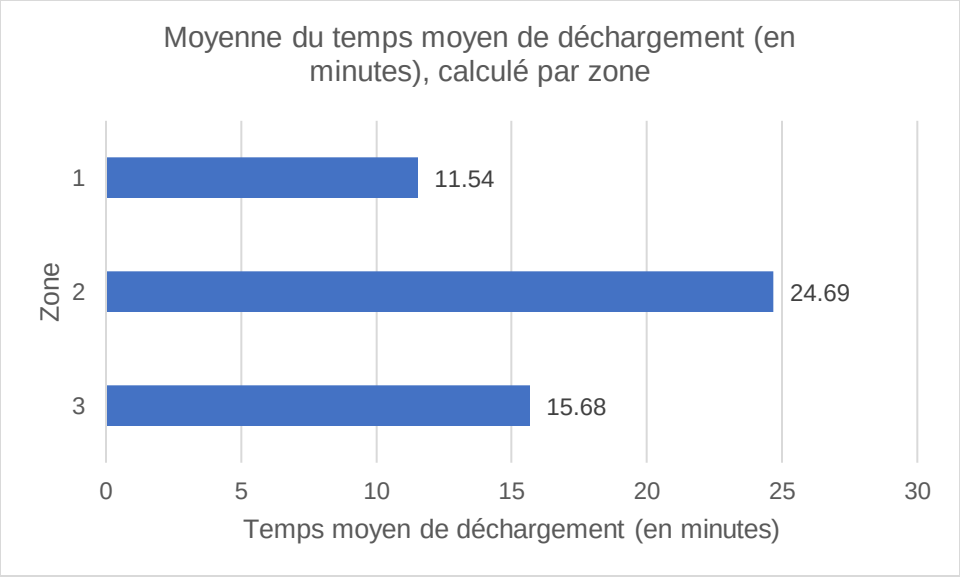
Dans la zone 2, on recense un nombre important de commerces de détail (9) et d'établissements de restauration (4), mais peu d'établissements de services personnels (1).

Enfin, la zone 3 est composée majoritairement de commerces de détail (10), de quelques établissements de services personnels (4) et de restauration (3).

Il sera intéressant de relier ces données aux fréquences de livraison et aux temps de déchargement, pour identifier les potentielles corrélations entre ces variables.

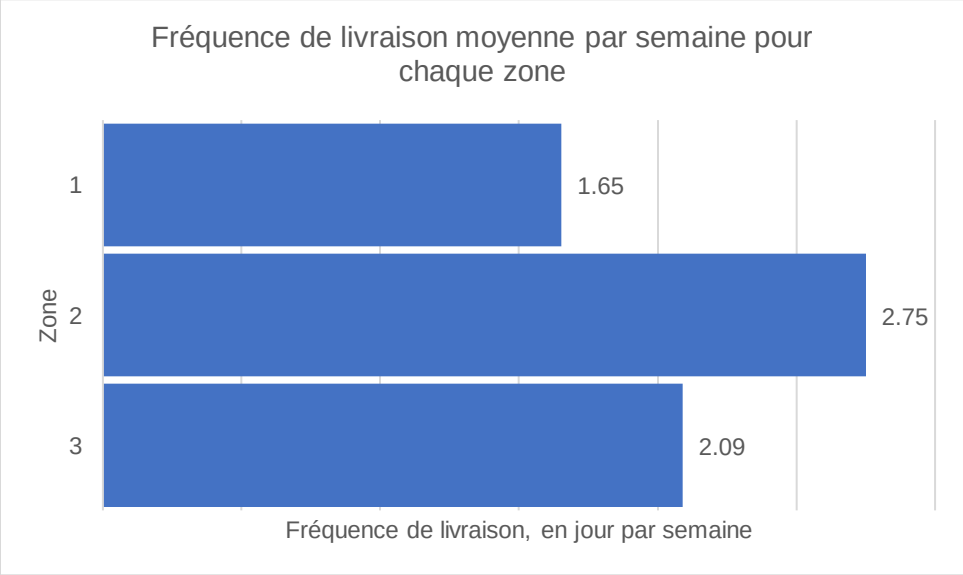
Temps de déchargement moyen

Le graphique ci-dessous démontre que la zone 2, avec un temps moyen de déchargement moyen d'environ 25 minutes, est la zone où les arrêts pour livraison sont les plus longs. Cela peut être dû au nombre important de commerces de détail dans cette zone, qui comme on l'a vu dans la partie précédente, engendre des temps de déchargement plus longs, conséquence du volume de livraison plus important.



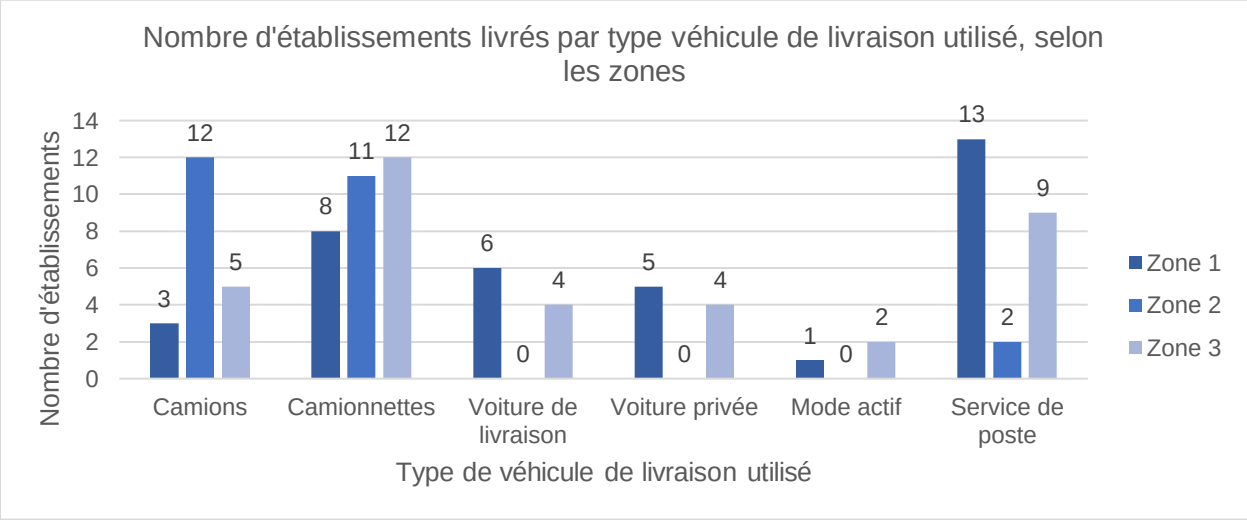
Fréquence de livraison

Le graphique ci-dessous démontre que la zone 2, avec une fréquence de livraison moyenne de 2.75 jours par semaine, est la zone où les livraisons sont les plus fréquentes. Cependant, on voit que les fréquences de livraisons sur les trois zones sont relativement rapprochées. La zone 1 a la fréquence de livraison moyenne la plus basse, avec 1.65 livraison par semaine. Ce chiffre peut être justifié par la forte concentration d'établissements de services personnels. En effet, comme expliqué précédemment, ces établissements commandent leurs produits en fonction de leur stock, résultant à des livraisons peu fréquentes et non régulières.



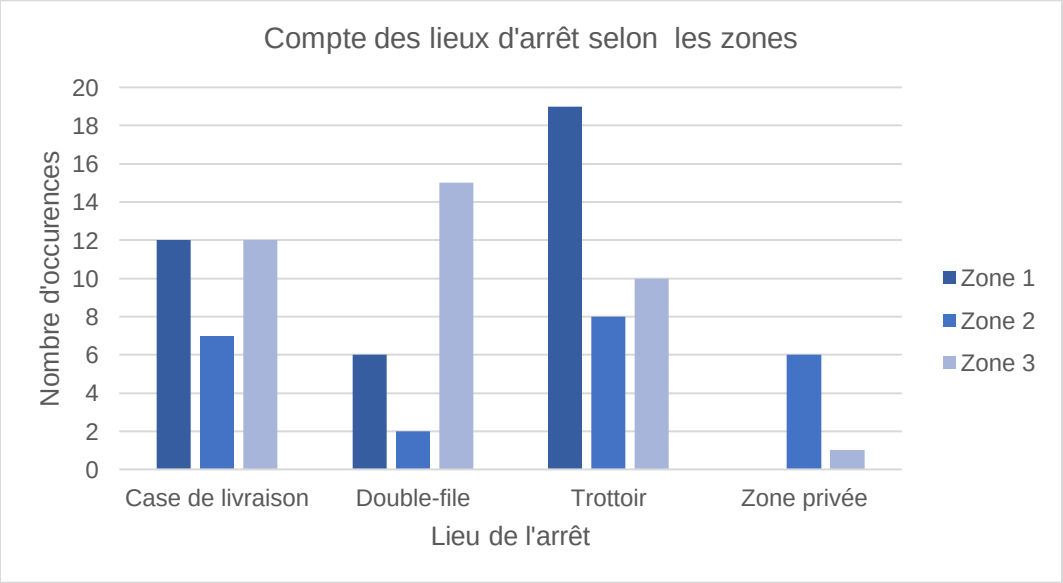
Type de véhicule utilisé

L'histogramme ci-dessous recense les véhicules de livraison utilisés dans chaque zone. On note une utilisation homogène des camionnettes sur les trois zones. Les camions sont surtout utilisés en zone 2, et les livraisons par colis en zones 1 et 3.



Lieu de l'arrêt

Dans l'histogramme ci-dessous, on relève que la zone 1 est sujette à beaucoup plus d'arrêts sur le trottoir que les deux autres zones. Cette zone est la seule à ne pas avoir d'établissements avec une zone de déchargement privée. Dans la zone 3, on observe un grand nombre d'arrêts en double-file. La zone 2 est partagée entre les arrêts sur case et les arrêts sur le trottoir.



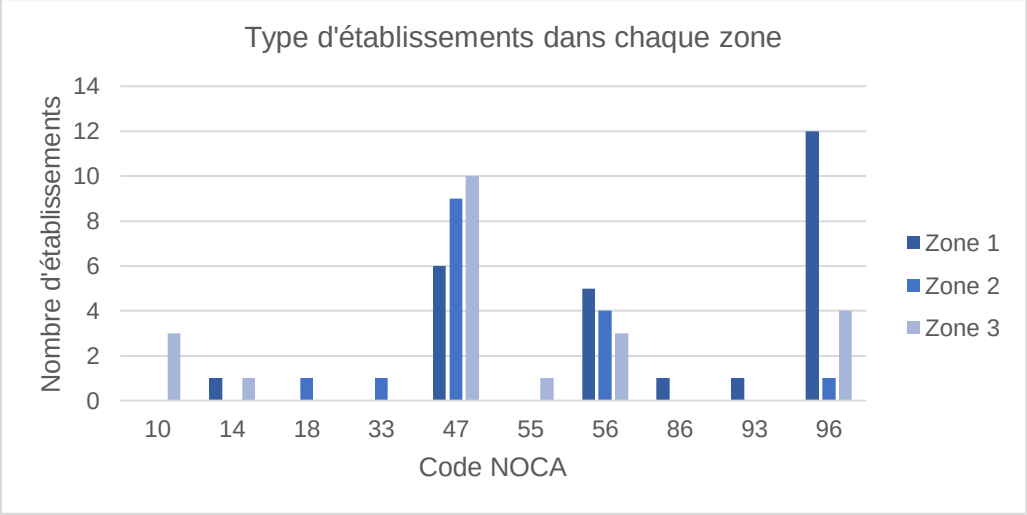
Annexe E – Graphiques et résultats générés, non-utilisés dans le rapport

Résultats généraux, pour tous les établissements

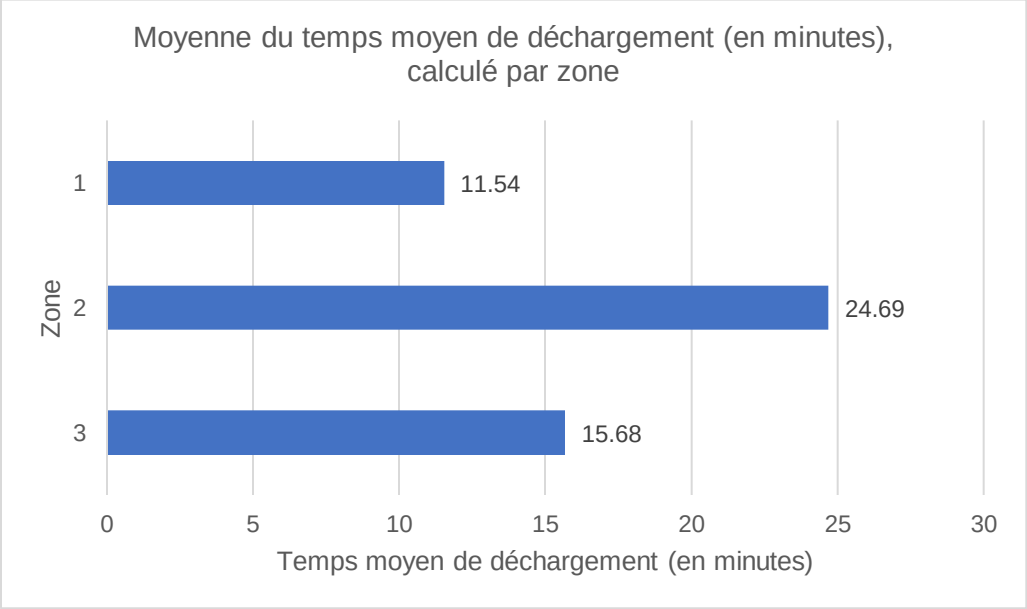
Taux de réponse de 73% (64 établissements sur 88)

Statistiques pour chaque zone

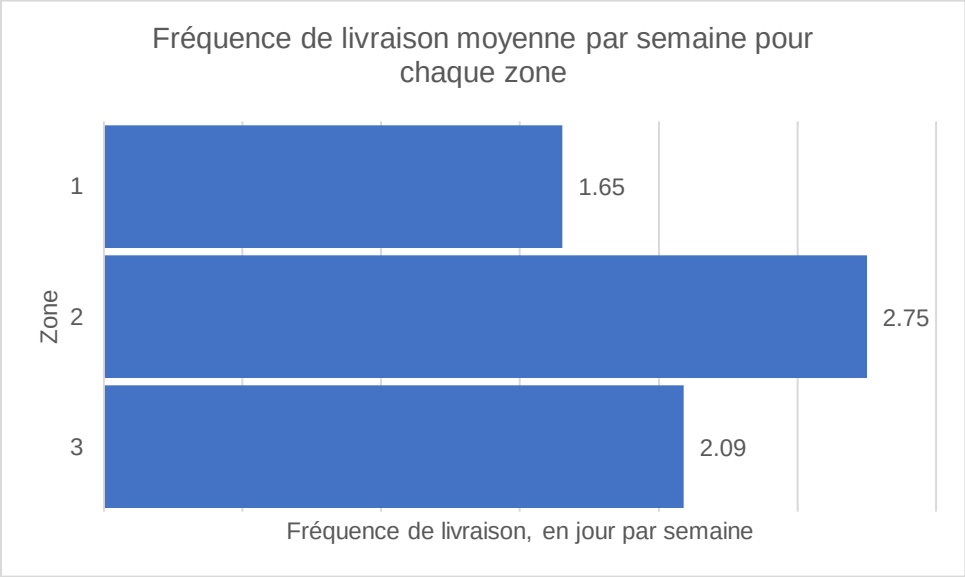
- Profil des zones



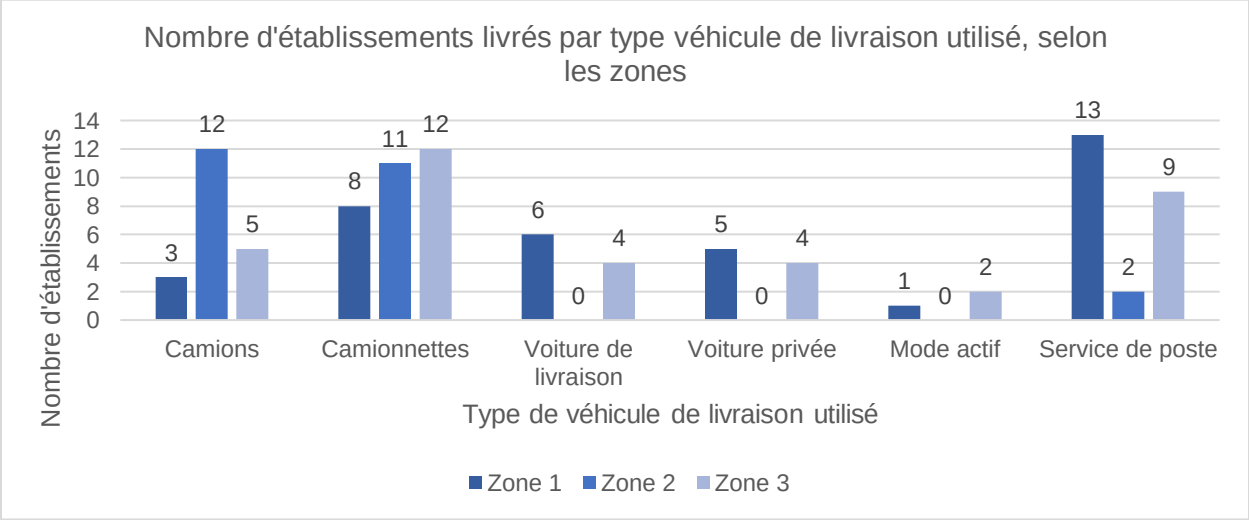
- Temps de déchargement moyen



- Fréquence de livraison

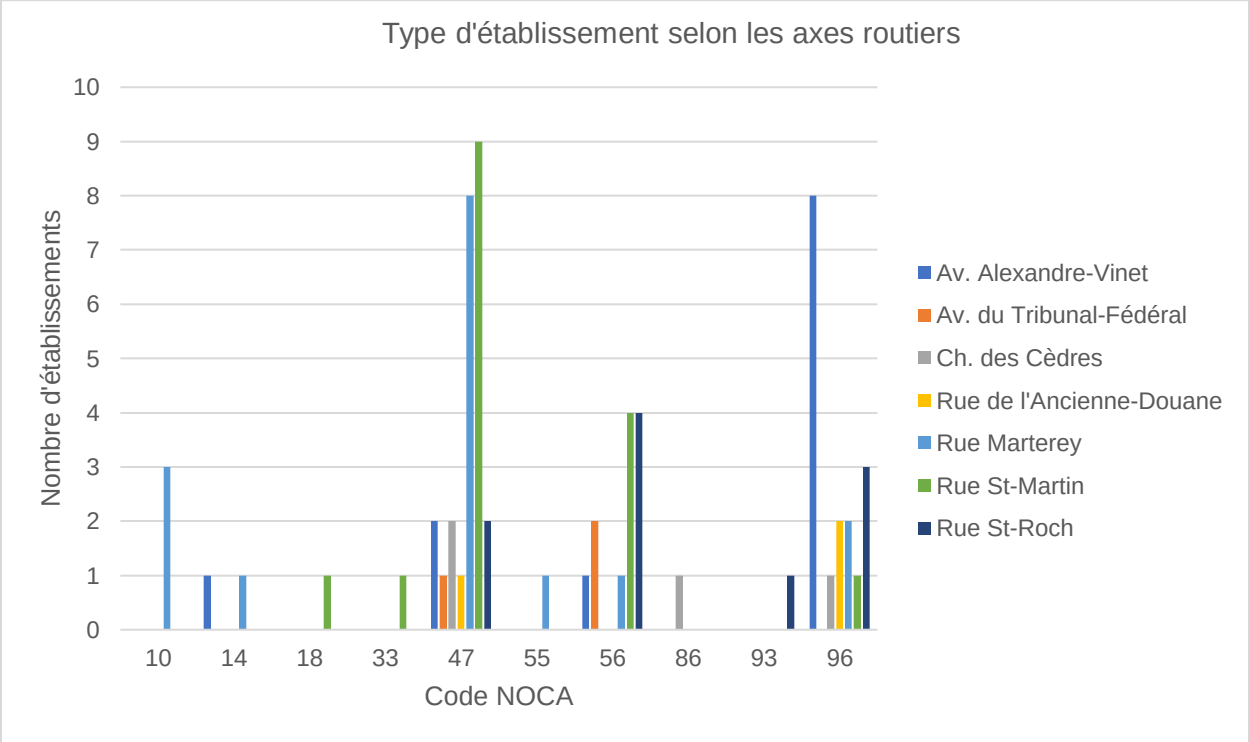


- Type de véhicule utilisé

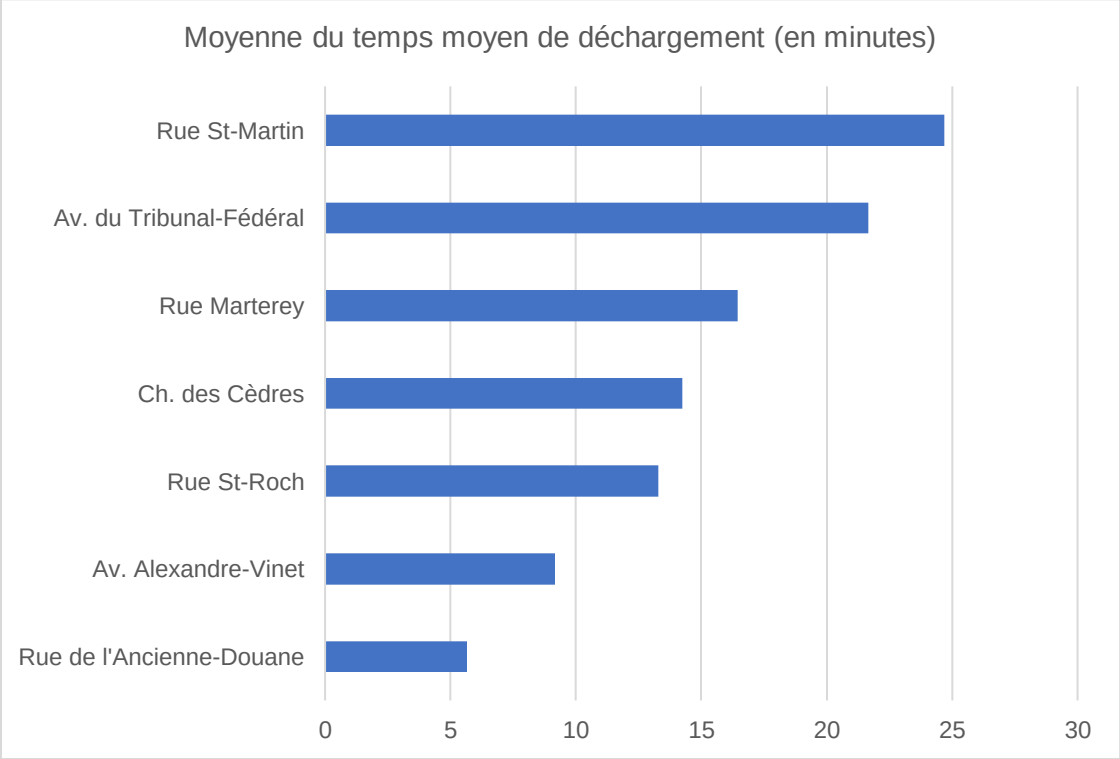


Statistiques pour chaque rue

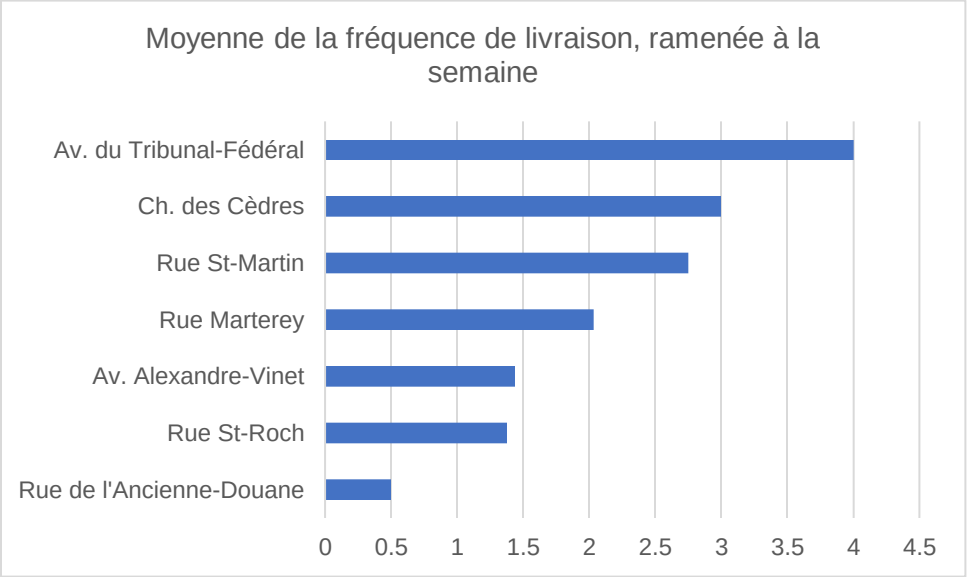
- Profil des rues



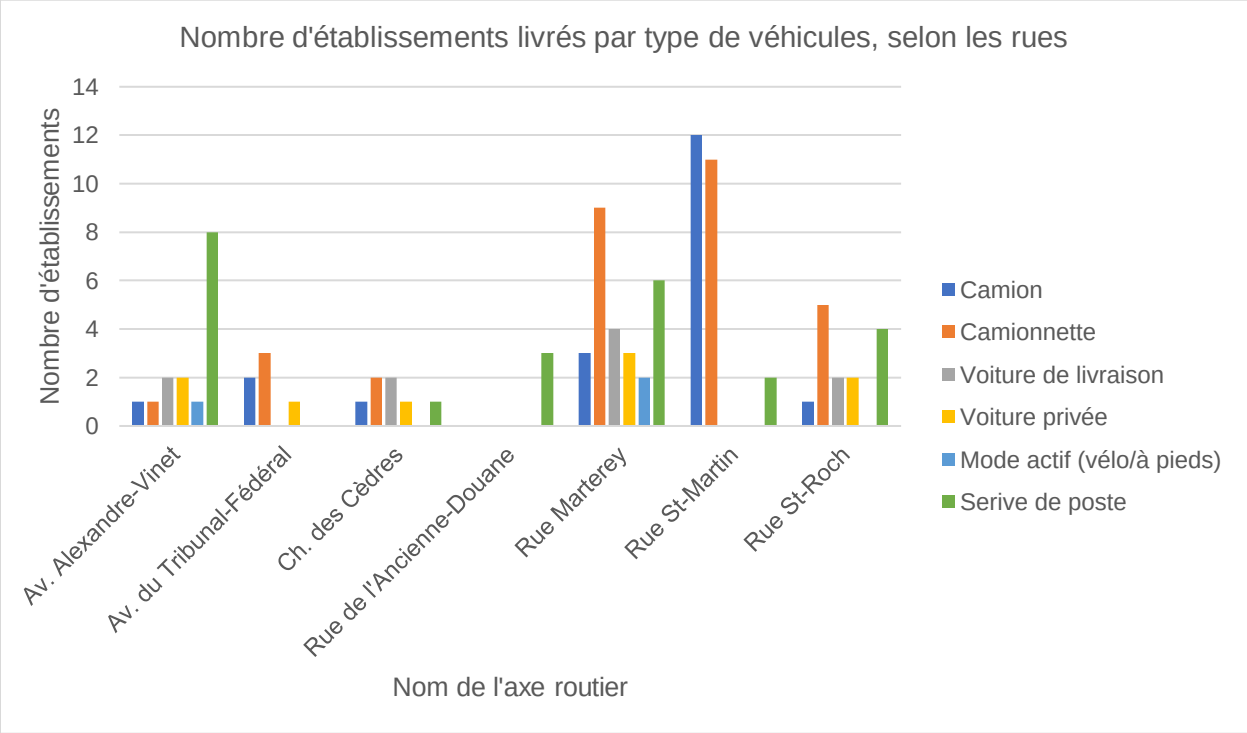
- Temps de déchargement moyen



- Fréquence de livraison

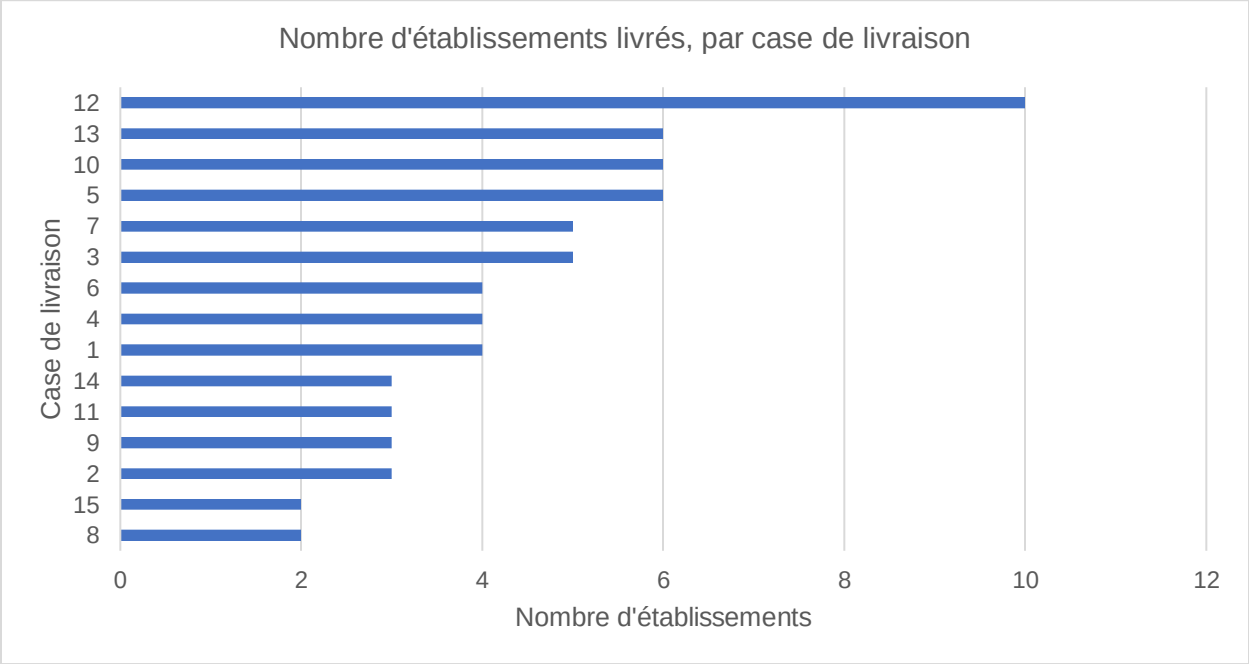


- Type de véhicule utilisé

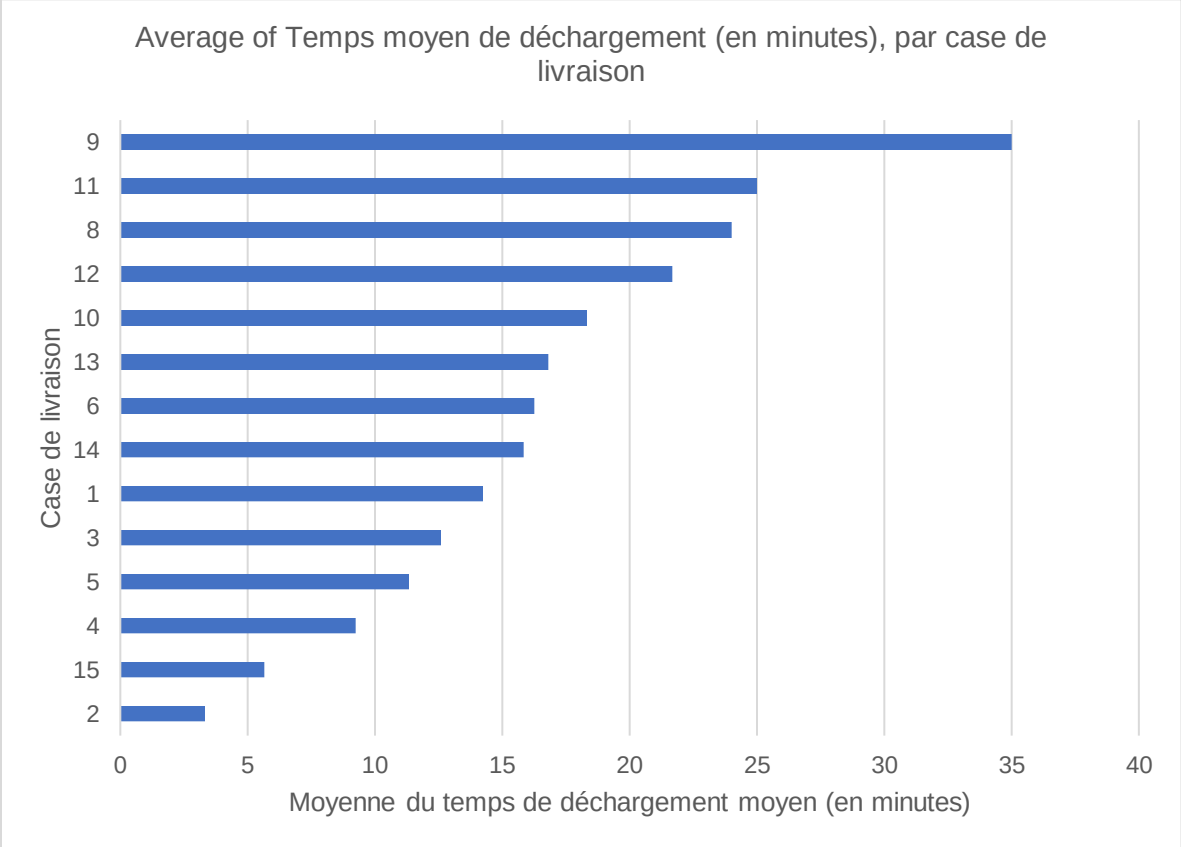


Statistiques pour chaque case

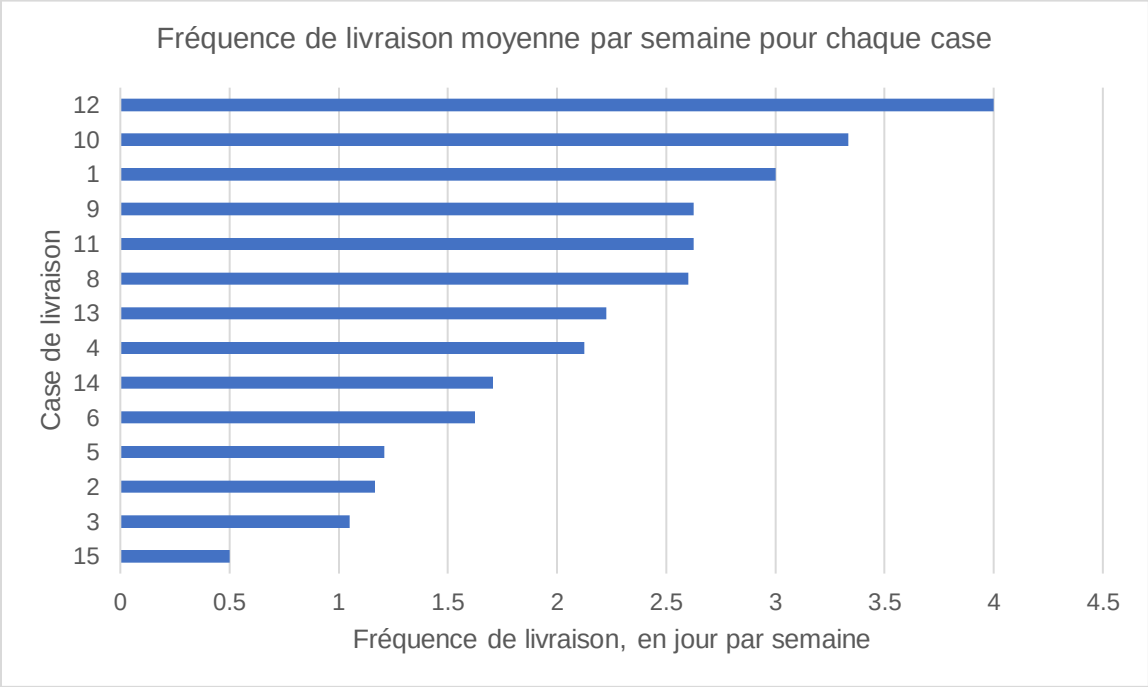
- Profil des cases



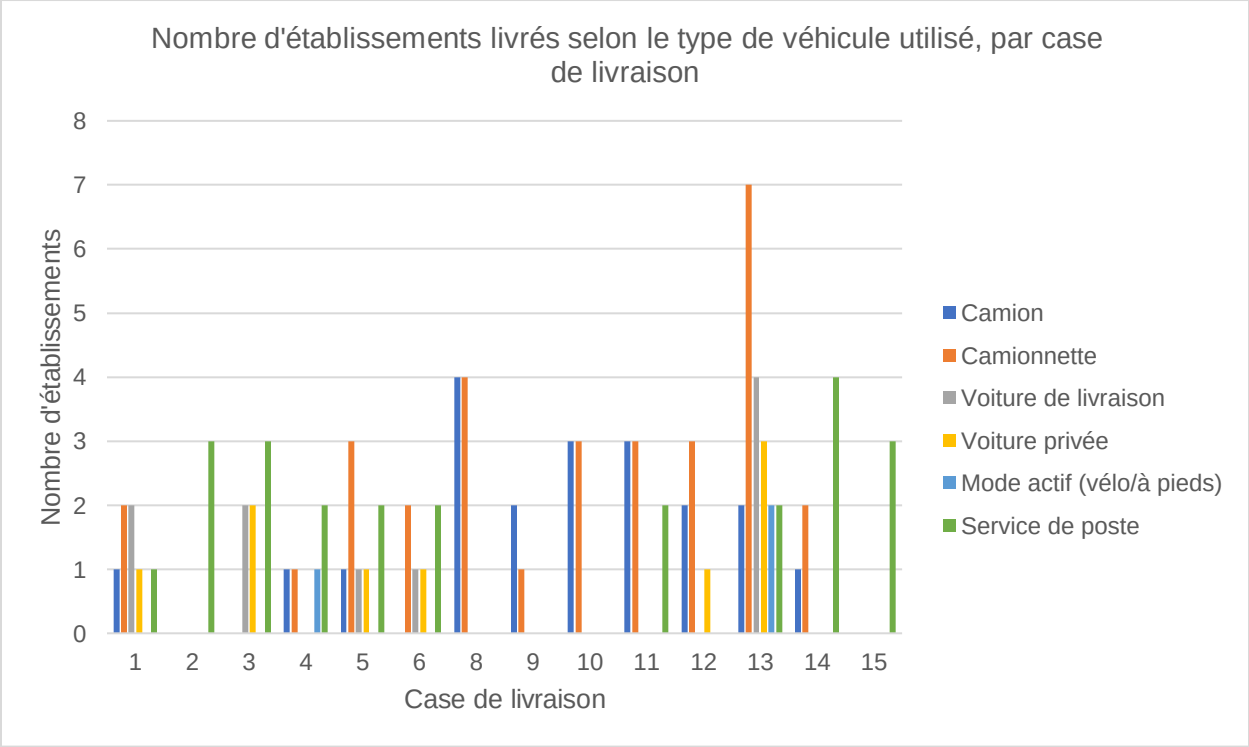
- Temps de déchargement moyen



- Fréquence de livraison

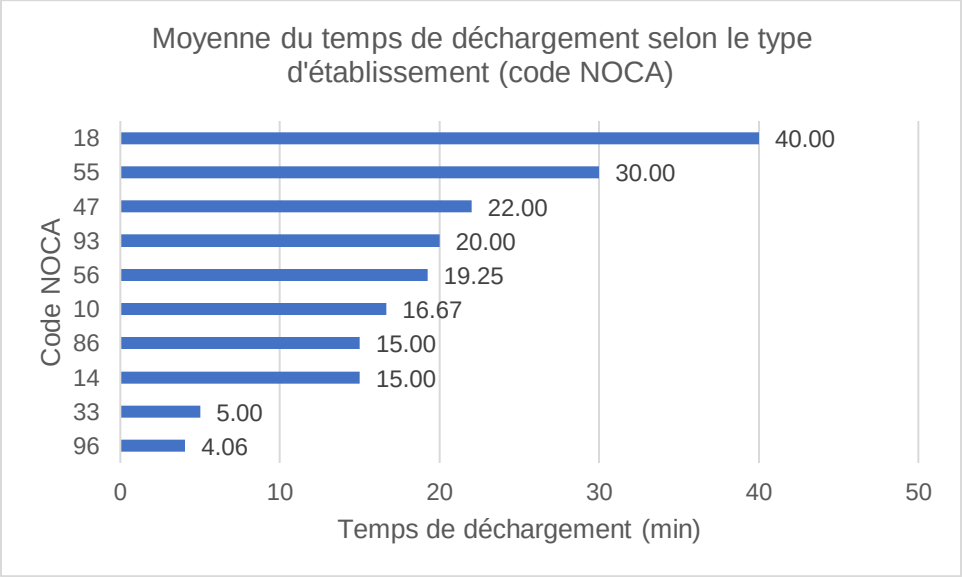
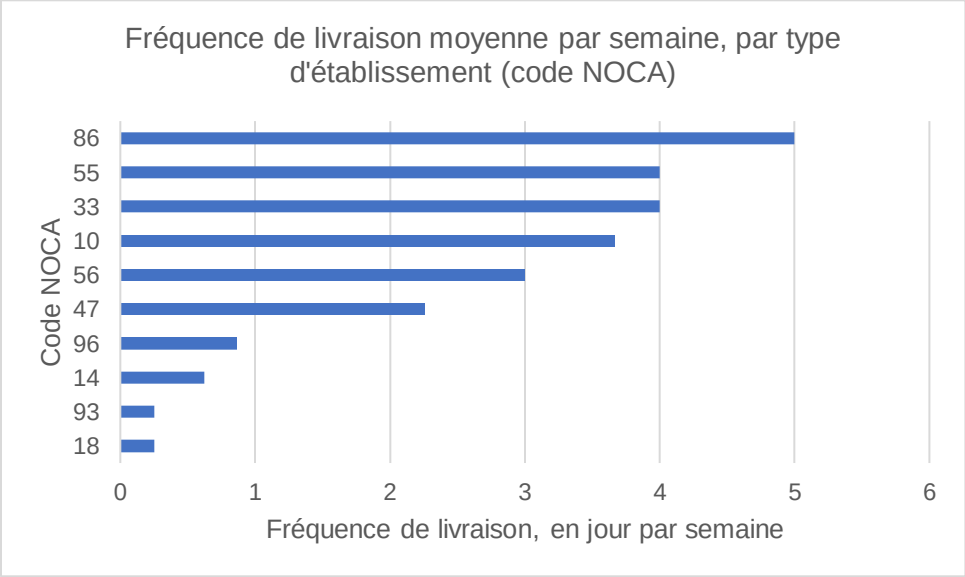


- Type de véhicule utilisé



Statistiques par type de commerce

- Temps de déchargement moyen



- Fréquence de livraison