

Chaire
LOGISTICS
CITY



Université
Gustave Eiffel

sogaris
La logistique urbaine
du Grand Paris



hyperlieux®
mobiles

VEHICULES DE LIVRAISON AUTONOMES

Une solution pour l'avenir ?

Sabrina TOUAMI



Mémoire du Master 2 « Urbanisme et Aménagement »,
Parcours Transport et mobilité de l'École des Ponts
ParisTech et l'École d'Urbanisme de Paris

Stage effectué dans le cadre de la chaire Logistics City à
l'Université Gustave Eiffel et l'Institut pour la ville en
mouvement/VEDECOM, encadré par Laetitia DABLANC et
co-encadré par Heleen BULDEO RAI

Soutenu le 27 novembre 2020



La chaire Logistics City est dédiée à la recherche sur la logistique urbaine avec un focus sur deux axes scientifiques : un premier axe portant sur l'immobilier logistique urbain et périurbain ; un second axe portant sur les tendances et les nouvelles pratiques de consommation et leur impact sur la logistique urbaine et son immobilier. Elle a été lancée en 2019, en partenariat entre l'Université Gustave Eiffel (UPEM et IFSTTAR) et Sogaris puis rejointe par Poste Immo en 2020.

<https://www.lvmt.fr/chaieres/logistics-city/>



Table des matières

1.	Introduction	6
2.	Problématique : la notion de livraisons « autonomes »	8
2.1	Revue de littérature.....	10
2.1.1	La logistique urbaine et les défis du dernier kilomètre.....	10
	<i>Caractéristiques et déterminants des innovations du dernier kilomètre</i>	<i>11</i>
2.2	Logistique urbaine et livraisons autonomes.....	13
2.2.1	Le véhicule autonome, concept général	13
2.2.2	Les véhicules autonomes de livraison en ville	15
2.2.3	Typologie des véhicules autonomes de livraison	16
2.3	Acteurs influençant le marché de livraison autonomes.....	25
2.4	Livraisons autonomes, quels scénarios en milieu urbain ?	27
2.5	Réglementation des véhicules autonomes de livraison.....	30
2.6	Livraisons autonomes contre livraisons traditionnelles, quels avantages ?	33
2.6.1	Impact environnemental	34
2.6.2	Impact économique	36
2.6.3	Impact sur la sécurité.....	38
2.7	Conclusion.....	39
3.	Livraisons autonomes dans des circonstances ordinaires et exceptionnelles : cas d'étude français.....	40
3.1	Mise en contexte	40
3.2	Méthodologie	41
3.2.1	Questionnaire	42
3.2.2	Entretiens d'experts semis directifs.....	44
3.2.3	Analyse des résultats	46
3.3	Résultats et discussion	47
3.3.1	Véhicules autonomes pour la livraison dans des circonstances ordinaires.....	47
3.3.2	Véhicules autonomes pour la livraison dans des circonstances exceptionnelles	54
4	Conclusion générale et perspectives	62
	Bibliographie.....	66
	Annexes.....	72
Annexe 1	72
Annexe 2	73
Annexe 3	76
Annexe 4	80
Annexe 5	82

Liste des figures

Figure 1 : Classification des robots autonomes	16
Figure 2 : Le marché des véhicules autonomes de livraison.....	17
Figure 3 : Carte origine des entreprises et startups de livraison autonomes	19
Figure 4 : Typologie des véhicules autonomes de livraison.....	21
Figure 5 : Acteurs influents sur le marché des livraisons autonomes.....	27
Figure 6 : scénarios de livraison à partir de véhicules autonomes de livraison.....	28
Figure 7 : tests et expériences de livraison autonomes en France	48
Figure 8 : Schéma des opportunités et obstacles pour le marché de livraisons autonomes en France	53
Figure 9 : Véhicules autonomes de livraison durant la Covid-19 (en bleu les robots terrestres, en mauve drones).....	57

Liste des tableaux

Tableau 1 : Panel d'entreprises interrogées	43
Tableau 2 : concepteurs de robots de livraison interviewés	46
Tableau 3 : Tests et expériences de livraison autonomes en France.....	50
Tableau 4 : livraisons autonomes en crise sanitaire Covid-19.....	55

1. Introduction

Notre travail de recherche, ci-après, s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre la Chaire Logistics City et l'institut pour la ville en mouvement IVM-VEDECOM. Ce travail de recherche fait partie du projet Hyperlieux mobiles « logistique ».

Le projet Hyperlieux mobiles¹ est un projet de recherche action, à partir d'un programme d'observation et d'échanges international et multidisciplinaire. Ce projet vise à recenser et détecter les différents usages, émergences et pratiques actuelles dans les activités en mouvement, au-delà du simple transport de personnes et de marchandise pour :

- Mieux appréhender les mutations radicales en cours dans les activités mobiles,
- Définir les caractéristiques des nouveaux espaces induits par l'arrivée de ces véhicules hybrides et multifonctionnels : espaces en mouvement ou espaces physiques requalifiés et augmentés par la diversité des usages potentiels - commerce, loisirs, éducation, travail, santé, habitat... - que l'on pourra appeler « hyperlieux mobiles »
- Proposer, à partir de cas d'usage différents (du point de vue de la nature des activités comme de la diversité des contextes urbains nationaux et internationaux), des prototypes ou démonstrateurs de services ou de « micro-espaces urbains mobiles ».

Les hyperlieux mobiles de la logistique : avec l'évolution des nouvelles technologies et des fonctions des véhicules, on remarque une apparition d'un nouveau paysage logistique : entrepôts ou hub mobiles, des activités logistiques s'effectuant pendant le déplacement, des particuliers effectuant des livraisons pendant leurs trajets, la reconversion d'anciens bâtiments logistiques en hôtels logistiques à usage multiples.

Le véhicule autonome de livraison fait partie de ces hyperlieux mobiles et connectés de la logistique. Le travail de recherche que nous avons mené tout au long des six mois de stage porte sur ce concept de livraison autonome. Le but de notre recherche est de parvenir à un

¹ D'après le site : <https://www.ville-en-mouvement.com/fr/content/hyperlieux-mobiles>

recensement des différentes expériences de livraisons autonomes dans le monde à travers une typologie de ces véhicules, mais également en étudiant leur intégration dans le milieu urbain, dans un deuxième lieu malgré la situation sanitaire actuelle que vit le monde, nous avons pris le choix d'exploiter cette voix et étudier l'impact de la crise sanitaire actuelle sur l'évolution de ces véhicules autonomes de livraison en ville.

2. Problématique : la notion de livraisons « autonomes »

Dans une société qui ne cesse d'évoluer et qui se heurte en plus à une pandémie sévère, qui accélère certaines évolutions (nous le verrons plus tard), une tendance à la rapidité des mouvements de flux de marchandises en ville caractérise la situation du paysage logistique actuel. Le e-commerce en évolution croissante et les nouvelles offres de la distribution de produits par les détaillants affectent l'expérience achat. Le consommateur d'aujourd'hui dispose d'un large choix de solutions possibles qui répondent à ses exigences en termes de délais de livraison, mode de paiement, tarification et mode d'acheminement du produit.

L'accès aux nouvelles technologies et l'augmentation de leur utilisation présentent une opportunité pour le marché de la logistique. Depuis quelques années, l'intégration de nouvelles technologies en termes de livraisons urbaines suscite un grand intérêt auprès des différents acteurs du marché, dans le but d'améliorer leur productivité et répondre au mieux à la demande en relevant les défis du dernier kilomètre. Les véhicules autonomes font sans doute partie du futur de la livraison urbaine. Utilisés depuis longtemps en entrepôt, ces derniers augmentent les performances des entreprises en termes de rapidité, de coûts et de sécurité. Ces dernières années, ces solutions autonomes quittent les entrepôts afin de conquérir les zones urbaines en offrant un service de livraison innovant. Plusieurs expérimentations et tests ont été lancés dernièrement, les startups et les grands groupes de e-commerces s'investissent de plus en plus dans ces solutions.

L'année 2019 a été clôturée par l'apparition d'un nouveau virus mondial qui a causé énormément de pertes humaines. Cette crise sanitaire que nous vivons actuellement a changé notre façon de vivre et de consommer. La distanciation sociale imposée afin d'éviter la transmission du virus, les villes confinées, les commerces fermés, ont obligé les acteurs logistiques à sortir de leur zone de confort et penser « outside the box ». Les livraisons du dernier kilomètre qui étaient avant une option, pour certains, sont devenues une nécessité en cette période et le seul moyen pour les commerçants et restaurants afin de rivaliser et de satisfaire une demande croissante. Cette pandémie, dans plusieurs villes du monde, a favorisé un intérêt pour les livraisons autonomes. La perspective de livraisons sans contact et la réduction de l'exposition aux conducteurs et aux consommateurs sont devenues un objectif critique pour les livraisons. De grands groupes de e-commerçants, des détaillants et des

restaurants se sont lancés dans cette expérience de livraison autonome afin d'assurer une continuité à leur activité logistique en toute sécurité.

Ce travail de recherche a pour but d'identifier les différentes expériences de livraisons autonomes à travers une typologie de ces derniers, et leur inclusion dans le paysage urbain, tout d'abord en situation ordinaire. Par la suite, nous nous sommes penchée sur la situation de crise actuelle et plus précisément sur le cas français en essayant d'identifier l'impact qu'a eu cette crise sanitaire sur l'évolution de ces dispositifs de livraison autonomes en répondant à la question suivante : « **Quelles sont les solutions autonomes de livraison en ville et quel est l'impact de la situation de crise sur leur évolution ?** »

Afin de répondre à ces questionnements, une démarche méthodologique a été suivie. Dans une première partie, nous avons suivi une démarche d'analyse approfondie du marché en spécifiant et en définissant clairement notre sujet de recherche dans un premier lieu. Par la suite, une vaste recherche sur le marché des livraisons autonomes dans le monde a été lancée. A travers une revue de littérature sous toutes ses formes : revues professionnelles, techniques, rapports, revues scientifiques - ces dernières ne pouvant pas présenter pleinement l'actuelle situation du marché de véhicules autonomes de livraison, une recherche supplémentaire sur les forums technologiques, les sites spécialisés, les articles de presse, les magazines technologiques a été effectuée. Notre recherche bibliographique a été faite en différentes langues : français, anglais, allemand, chinois, japonais, dans le but d'avoir le plus d'informations sur notre thématique. Nous nous sommes basée sur un lexique de recherche : « logistique urbaine », « livraison du dernier kilomètre », « véhicules autonomes », « véhicules autonomes de livraison », « robots de livraison », « drones » « Covid 19 robots » « Covid 19 drones ». Dans un second temps, nous avons suivi une méthodologie d'études de cas en utilisant différents outils de collecte de données, questionnaires et entretiens et en se basant sur une méthode de triangulation afin d'analyser les résultats.

Notre travail de recherche a été scindé en deux parties :

Dans la première, nous analysons la situation du marché de livraisons autonomes selon les caractéristiques des véhicules. Dans cette même partie, un état des lieux de la situation des robots autonomes de livraison à travers les scénarios de livraison autonomes en milieu

urbain, la situation de la réglementation liée à ces véhicules autonomes de livraison et enfin une analyse comparative des différentes externalités liées à ces véhicules seront entamés.

En deuxième partie, nous analysons l'impact de la crise sanitaire actuelle sur les livraisons autonomes, précisément sur le cas français. Nous commencerons par une illustration de la démarche méthodologique utilisée, suivie d'une analyse des résultats obtenus. Le traitement de cette analyse s'intéressera à deux situations : situation ordinaire et situation exceptionnelle (crise sanitaire). Nous clôturerons notre rapport d'étude par une conclusion globale sur le sujet, les apports, les limites et des perspectives de recherche futures.

L'ensemble des figures et des tableaux présents dans ce mémoire, à part mention explicite, a été réalisé par nous.

2.1 Revue de littérature

2.1.1 La logistique urbaine et les défis du dernier kilomètre

Concepts clés

Le phénomène d'urbanisation a pris une grande ampleur ces dernières années, la population vivant dans les villes a plus que doublé ces quarante dernières années, elle devrait atteindre cinq milliards d'habitants et près de 55% de la population mondiale d'ici 2050 [1]. En combinaison avec ce phénomène, une croissance remarquable du e-commerce, un changement de comportement et des préférences des consommateurs, l'innovation et un besoin d'un monde plus durable sont des facteurs qui changent le paysage de la logistique urbaine.

La logistique urbaine définie comme étant « le processus d'optimisation des activités de logistique et de transport par des entreprises privées avec le support des systèmes d'information avancés en milieu urbain compte tenu de l'environnement du trafic, de la congestion du trafic, de la sécurité et des économies d'énergie dans le cadre d'une économie de marché » [2]. Par conséquent elle contribue à équilibrer la vitalité économique et améliorer l'environnement dans les zones urbaines dans le but de créer de villes plus durables et plus vivables. **Le transport urbain des marchandises** est une branche de la logistique urbaine. Elle est définie comme étant le mouvement des différentes marchandises dans, depuis et vers les zones urbaines. Elle est effectuée par les véhicules légers ou lourds. Le transport urbain

comprend la livraison de marchandises (BtoB et BtoC), les trajets de courses par les ménages, la logistique des retours, le service de maintenance, la fourniture et le retrait des pièces [3].

Le dernier kilomètre est une étape primordiale dans le processus de distribution du produit, Il s'agit du segment de la chaîne d'approvisionnement en aval qui constitue le lien entre le prestataire de services logistiques et le consommateur [4]. Elle implique une série d'activités et de processus nécessaires pour livrer un colis postal au point de dépôt final du consommateur, soit le domicile du destinataire ou le point de collecte. Cette dernière partie du processus logistique utilise généralement de plus petits véhicules de transport de marchandises pour livrer de faibles volumes à plusieurs destinations [5]. Alors que la logistique devient une importante source d'emplois et un générateur de richesse dans les villes [6], le dernier kilomètre est également décrit comme étant l'élément le plus coûteux, inefficace mais aussi le plus polluant de toute la chaîne [7]. La logistique du dernier kilomètre est à l'origine de diverses externalités, notamment les émissions de gaz à effet de serre, la pollution atmosphérique, le bruit et la congestion [8]. En plus de ces externalités se trouve un consommateur de plus en plus exigeant, qui demande plus de rapidité et d'efficacité à un moindre coût. Face à une concurrence croissante, les entreprises cherchent à améliorer l'expérience d'achat en permettant une livraison plus rapide et plus flexible au client.

La livraison des marchandises en milieu urbain a été assurée durant des années par des camions et des camionnettes, mais au vu de leur inefficacité pour les livraisons en ville et leur effet néfaste sur l'environnement, leur accès aux zones urbaines est devenu de plus en plus difficile, voire interdit dans certains cas. Plusieurs villes dans le monde ont adapté des décisions politiques visant à réduire les émissions de GES causées par le trafic routier. Ces dernières années, une apparition de nouveaux modèles innovants répondant aux multiples défis du dernier kilomètre émergent : vélos cargo, véhicules électriques, véhicules autonomes, tous ces modes de transport proposent chacun des modèles de distribution prometteurs pour le secteur.

Caractéristiques et déterminants des innovations du dernier kilomètre

Lorsque les entreprises veulent optimiser leur dernier kilomètre en mettant en œuvre des concepts innovants, les concepts les plus efficaces seront ceux qui anticipent certaines

caractéristiques. [9] énumèrent les plus importants paramètres à prendre en compte lors de l'innovation dans le dernier kilomètre :

- **Niveau de service client** : parmi les facteurs qui peuvent avoir un effet important sur l'efficacité du dernier kilomètre, les fenêtres temporelles de livraison trop étroites, les délais maximum convenus, la fréquence de livraison, les retours de marchandises.
- **Sécurité et type de livraison/réception** : Les caractéristiques de sécurité et le type de livraison sont déterminants. Selon le niveau de sécurité, certaines livraisons peuvent avoir lieu en remettant la marchandise à une personne physique, donc ils nécessitent la présence du destinataire, tandis que d'autres peuvent avoir lieu en laissant simplement la marchandise dans la boîte de réception du consommateur. Le type du produit livré représente un facteur déterminant, surtout quand les produits ont besoin d'un traitement spécifique.
- **Zone géographique et pénétration du marché** : Les sous-caractéristiques les plus importantes sont la densité de la région / du marché, la distance moyenne entre les différents points de réception et le pourcentage du nombre de marchandises pouvant être regroupées lors des itinéraires de livraison.
- **Flotte et technologies** : Les principales sous-caractéristiques de ce thème sont : le type de fourgons / matériel roulant et le type de technologies utilisées. Ils peuvent jouer un rôle important sur de nombreux paramètres influençant les coûts, tels que : la consommation de carburant, la capacité de charge (optimale), les méthodes de chargement et de déchargement, la sécurité, etc.
- **Environnement** : Les différents acteurs, s'intéressent de plus en plus à la question environnementale. Pour le dernier kilomètre, plus les livraisons ne sont pas rapides et les fenêtres temporelles étroites, plus les livraisons sont polluantes. Le choix du mode de livraison peut être également influencé par l'engagement de ces acteurs vis-à-vis de l'environnement.

Dans le cadre des solutions technologiques en réponse aux challenges du dernier kilomètre, ce rapport porte un intérêt particulier aux modes de livraisons autonomes et à leur émergence dans le domaine du dernier kilomètre.

2.2 Logistique urbaine et livraisons autonomes

2.2.1 Le véhicule autonome, concept général

Les technologies d'information et de communication TIC ont eu une influence substantielle sur notre mode de vie quotidien. Le secteur des transports de personnes ou de marchandises a été largement affecté par ces dernières. Beaucoup de chercheurs ont porté leur attention au paysage du transport qui évolue très rapidement. Le véhicule autonome fait partie de cette révolution technologique en transport, fonctionnant sans intervention humaine, les plus modernes peuvent sentir leur environnement local, classer les différents types d'objets qu'ils détectent, interpréter les informations sensorielles afin d'identifier les voies de navigation appropriés tout en obéissant aux règles de transport [10].

Le niveau d'autonomie des véhicules, qui décrit la capacité à exécuter les tâches prévues en fonction de l'état actuel et de détection, sans intervention humaine peut varier de zéro jusqu'à une autonomie totale du véhicule, la National Highway Traffic Safety Administration NHTSA classifie les véhicules selon cinq différents niveaux d'autonomie :

Niveau 0 : Non- automatisation : à tout moment le conducteur a la commande et le contrôle total du véhicule. Les assistances du véhicule n'interviennent jamais sur les fonctions de direction, d'accélération ou de freinage. La majorité des véhicules sur la route d'aujourd'hui sont de ce niveau, l'homme assure la tâche de conduite dynamique.

Niveau 1 : Automatisation de fonctions spécifiques : il s'agit du niveau d'automatisation le plus bas. Le véhicule dispose d'un seul système automatisé d'assistance au conducteur, tel que la direction, l'accélération (régulateur de vitesse). Malgré cela le conducteur garde toujours la commande de son véhicule et supervise constamment toutes les fonctions de conduite : accélération, freinage et direction.

Niveau 2 : Automatisation de conduite partielle : ce niveau d'automatisation est atteint lorsque des systèmes avancés d'assistance agissent au même moment sur la direction, le freinage et l'accélération. Le conducteur est à bord du véhicule et peut prendre à n'importe quel moment le contrôle.

Niveau 3 : Automatisation de la conduite conditionnelle : à ce niveau, les véhicules ont une capacité de détection environnementale et peuvent prendre des décisions, mais ils nécessitent toujours un dépassement humain, le conducteur doit rester veillant et prêt à reprendre le contrôle si le système est incapable d'exécuter une tâche.

Niveau 4 : Automatisation de conduite élevée : à ce niveau-là les véhicules peuvent prendre différentes décisions comme au niveau 3 mais la différence est qu'à ce niveau, en cas de problème rencontré par le véhicule, une assistance humaine n'est pas nécessaire dans la plupart des circonstances, cependant un humain a toujours la possibilité d'intervenir et de remplacer manuellement.

Niveau 5 : Automatisation totale de la conduite : à ce niveau-là les véhicules n'ont nullement besoin d'intervention humaine quel que soit la circonstance. Les véhicules à ce niveau d'autonomie n'ont pas besoin de volant ou de pédales d'accélération et de freinage, capables d'effectuer toutes les fonctions librement et sans intervention, l'intégralité de la conduite est effectuée par le système.

Pour mener à bien une navigation autonome dans de telles situations, combinant une variété de technologies de différentes disciplines qui couvrent informatique, génie mécanique, génie électronique, génie électrique et l'ingénierie de contrôle, etc. est importante [10]. Les véhicules sont munis de hautes technologies afin de reconnaître leur environnement et de circuler facilement en évitant les obstacles sans l'intervention du conducteur.

Les véhicules autonomes ne sont pas seulement dédiés au transport de personnes mais ils sont également conçus pour le transport de biens et de marchandises :

- Le transport de fret à travers de gros camions autonomes. Pour le moment, ces derniers ne sont pas totalement autonomes, ils doivent être contrôlés par un conducteur humain, ces camions adoptent lentement les caractéristiques de conduite autonome des niveaux 1, 2 et 3 [11].
- En villes, les livraisons seront assurées à travers des dispositifs autonomes plus petits que les précédents.

2.2.2 Les véhicules autonomes de livraison en ville

Ces dernières années, plusieurs start-ups ont identifié les multiples problèmes liés aux livraisons du dernier kilomètre et ont investi dans ce domaine. La logistique du dernier kilomètre est en tête de liste en termes de financement de l'industrie des technologies de détail. Pour le troisième trimestre de l'année 2019 le dernier kilomètre a marqué son plus grand score en terme de financement avec 36 milliards de dollars. Cela s'explique par l'adoption précoce de nouveaux modèles de livraisons autonomes dans les marchés développés ainsi que par une analyse de rentabilisation attrayante fondée sur la demande urbaine et les coûts salariaux élevés qui prévalent pour leur exécution [12]. L'intérêt porté aux véhicules autonomes de livraison du dernier kilomètre est de plus en plus exprimé ces dernières années, parfois même de façon irréaliste : selon un rapport du cabinet McKinsey 2016, d'ici à 2025, 80% des livraisons devraient se réaliser grâce à des véhicules autonomes.

Des pilotes ont été menés à travers plusieurs villes dans le monde dans le but de prouver l'efficacité de ces dispositifs de livraison autonomes. Avant de se pencher sur ces tests une définition de ces dispositifs s'avère nécessaire.

Les véhicules de livraison autonomes sont considérés comme un dispositif motorisé utilisé pour le transport d'articles, produits, ou tout autre matériel sur les trottoirs et les routes de la ville à des fins commerciales. Ils sont guidés ou contrôlés sans qu'un opérateur humain ne s'assoie ou ne contrôle activement et physiquement les mouvements de l'appareil [13]. (Hossain and Ferdous 2015) les définissent comme des dispositifs mécaniques programmables et multitâches, capables de se déplacer librement dans l'environnement et de surmonter les obstacles sans assistance².

Les robots de livraison appartiennent à la catégorie des robots de service, ils sont considérés comme étant une interface adaptable qui interagit, communique et fournit des services aux clients d'une organisation. Dans cette catégorie, il relève des robots de service professionnels avec des fonctions en logistique. La figure ci-dessous représente la classification des différents robots sur le marché [14].

² <https://doi.org/10.1016/j.robot.2014.07.002>

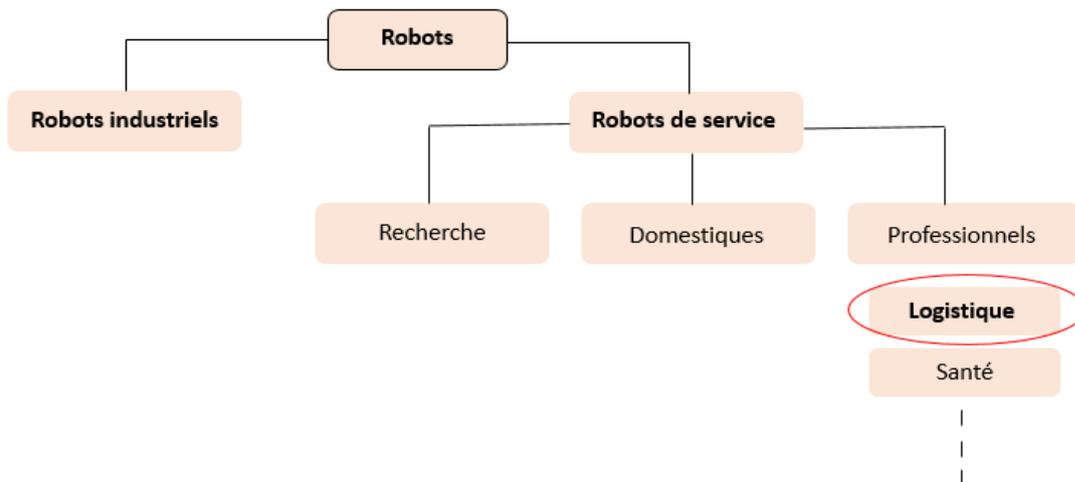


Figure 1 : Classification des robots autonomes

2.2.3 Typologie des véhicules autonomes de livraison

Le marché mondial

Lors de notre recherche bibliographique, nous avons établi un recensement des différentes expériences en termes de livraisons autonomes dans le monde (**Annexe 2**). A travers une revue de la littérature en toutes ses différentes formes – une analyse à la fois de la littérature scientifique et la littérature « grise », y compris les livres blancs, les rapports de tendances, les articles de journaux et les communiqués de presse, pour obtenir une vision globale et internationale. En s'appuyant sur plus d'une centaine de sources, nous avons complété un fichier de feuille de calcul avec toutes les initiatives de livraisons autonomes que nous pouvions trouver en classifiant les informations selon les caractéristiques suivantes :

- **Informations sur l'entreprise :** La compagnie (lanceur du projet), l'origine et son activité.
- **Informations sur la conception :** Type de véhicule autonome de livraison, niveau d'autonomie, infrastructure utilisée, date de lancement, phase du projet, ville d'opérations.
- **Informations sur la livraison :** Partenaires commerciaux, Types de livraison.
- **Informations techniques :** Vitesse du véhicule, type d'énergie, taille du véhicule, capacité de charge.

- **Coûts et financements** : Coûts de livraison, coût du véhicule, levées de fond et investissements.

Un nombre d'acteurs influents sur le marché des livraisons autonomes a été détecté à travers notre recensement. La figure 3 ci-dessous englobe toutes les compagnies ayant un ou plusieurs types de robots autonomes classifiés par type :

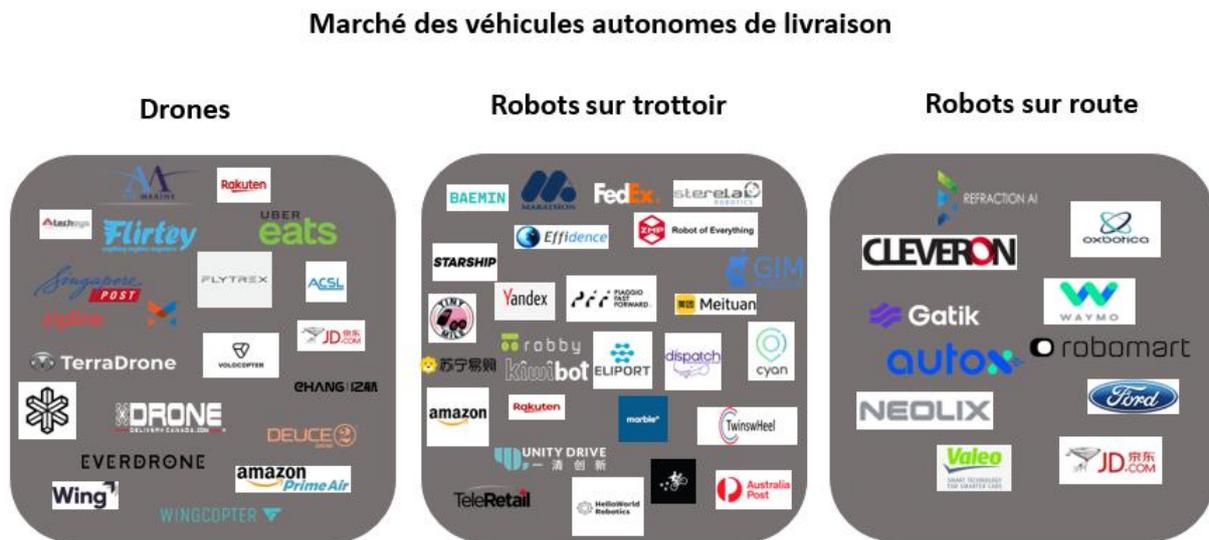


Figure 2 : Le marché des véhicules autonomes de livraison

D'après l'analyse de la figure, nous remarquons qu'un grand nombre de compagnies investissent dans les livraisons autonomes ces dernières années :

- Des **startups spécialisées** ayant débuté leur activité dans la conception de véhicules autonomes de livraison tel que Starship, kiwi Campus, TwinswHeel offrent une solution de **RaaS (Robot as a service)**. Des années avant, les grandes entreprises d'automatisation vendaient leurs robots à leurs clients, qui eux devaient acheter une flotte de robots de grande taille et des solutions logicielles en fonction de leur besoin. Aujourd'hui les startups offrent un service de flotte de robots dédié à la livraison, les logisticiens n'ayant pas assez d'expériences dans l'automatisation et la maintenance de ces robots n'auront pas besoin d'investir dans une flotte de robots. Au lieu de cela, ils achètent des services robotiques auprès des sociétés RaaS et sont facturés sur une base récurrente, en fonction de l'utilisation, du temps ou d'autres paramètres [15]. Ces

startups se chargent également de la maintenance de ces robots ce qui est considéré comme un plus pour les logisticiens.

- Des **concepteurs de robots autonomes** mais pour d'autres domaines : le militaire, la surveillance, les mines, tel que Sterela Robotics, Air Marine qui se sont intéressée au domaine de la logistique et des livraisons du dernier kilomètre.
- D'un autre coté **des géants du e-commerce** tels que Amazon, UPS, JD.com, Meituan, Rakuten se sont lancés dans la conception de ces véhicules autonomes de livraisons. Seuls à travers l'acquisition de petites startups de robotique, et dans d'autres cas en collaboration avec des concepteurs. En juin 2020, Amazon a acheté Zoox, une startup de véhicules autonomes. Il s'agit de l'une des plus importantes acquisitions jamais réalisées par Amazon. L'annonce d'Amazon a souligné l'intention de remplir la mission robotaxi de Zoox. La spéculation largement répandue porte sur le potentiel de la technologie d'auto-conduite de Zoox pour automatiser la livraison des colis d'Amazon [16].
- Un grand nombre de **détaillants alimentaires** investissent dans ce mode de livraison autonome, beaucoup de partenariats se sont créés ces dernières années. La chaîne de pizza Domino's était parmi les premiers à investir dans ces technologies. A travers un robot de livraison conçu par Marathon en 2016 ces robots ont été testés en Australie et en Nouvelle Zélande [17] la chaîne a également testé la livraison de pizza par drone en Nouvelle Zélande [18] et en 2019 Dominos conclut un partenariat avec la startup Nuro qui conçoit des robots sur route, le robot R2 livrait des pizzas à Houston dans le cadre d'un test pilote. L'un des objectifs pour ces startups dans le cadre de ce type de livraison et d'assurer l'acheminement le plus rapide possible, le dilemme dans la livraison des repas prêts c'est que les consommateurs l'attendent dans la demi-heure suivant la commande.

Nous avons également remarqué à travers notre travail de recensement que le plus grand nombre de robots qu'il soit en projet ou en tests pilote sont de type robots sur trottoir ou sur zones piétonnes. Nous pouvons lier cette différence au fait que le déploiement de ce type de robots est plus avantageux en terme de réglementation que les deux autres types. Les drones également rassemblent un grand nombre de projets, mais bien qu'ils puissent fournir des avantages distincts, ils se heurtent aux limitations réglementaires et aux restrictions de vol, ce

qui rend difficile leur utilisation en zone urbaine [19]. Enfin les robots autonomes de livraison sur route ne sont pas assez nombreux, Nuro est une des startups qui conçoit ce type de robots et qui les expérimente aux Etats-Unis. Certains sont juste en projet, ils ne sont pas encore déployés tel que le robot Cleveron de la startup estonienne, qui promet une expérience de livraison totalement autonome grâce à son véhicule sur route muni d'un bras automatique qui dépose le colis postal dans une boîte automatisée.

En ce qui concerne **l'origine de ces entreprises**, les recherches montrent que les Etats Unis d'Amérique sont un nid d'éclosion de ces conceptions. Le pays regroupe un très grand nombre de startups et de concepteurs de robots dédiés à la livraison. En termes d'application et de tests, à travers notre recensement nous remarquons que l'Amérique du nord est le pays qui a accueilli le plus de tests. La carte ci-dessous nous montre une concentration dans ce pays, puis vient en deuxième lieu la Chine et ensuite quelques pays d'Europe. A travers la figure ci-dessous nous avons cartographier les différentes startups selon leur origine.



Figure 3 : Carte origine des entreprises et startups de livraison autonomes

La communication et l'interaction avec les usagers et les consommateurs constituent un vrai sujet. Les robots sont équipés de plusieurs performances, parfois très originales afin d'interagir avec les êtres humains. Le robot japonais CarriroDeli par exemple a été conçu en prenant en considération des codes de la culture japonaise moderne. Ce dernier est doté

d'une voie de personnage manga, il interagit avec les usagers qu'il croise. Un design avec deux grands yeux LED est disponible en différentes couleurs. Des options pareilles sont une manière de faire accepter ces robots par les autres usagers. Une étude sur la perception des robots de livraison par les piétons [20] classifie les robots de trottoir en trois catégories en vue de leur forme : Les robots accessibles qui ont des formes douces et ont un écran ou des lumières distinctes qui sont facilement interprétées comme leurs yeux tel que le robot kiwi bot. Les deuxièmes sont les robots professionnels avec un design bien pensé, mais sont moins abordables, car ils ont moins d'éléments faciaux en exemple les robots starship ou le robot Amazon scout. Enfin les derniers, les robots fonctionnellement efficaces ont un langage de forme très rectangulaire. Leurs pièces mécaniques et capteurs sont souvent visibles et leur niveau d'humanité est très faible. Ces derniers n'accordent pas beaucoup d'importance au design mais plus à la capacité du robot.

Pour les **financements et investissements**, un aperçu plus approfondi de la scène des robots de livraison montre que des start-up comme Nuro, Teleretail, Dispatch ou Starship Technologies ont pu attirer des financements de l'ordre de plusieurs milliards de dollars. Un intérêt particulier à ces types de robots est exprimé par de multiples investisseurs venant de divers secteurs.

Classification des véhicules autonomes de livraison

Selon les informations recueillies sur le tableau, nous avons procédé à une analyse des résultats par classification des principales caractéristiques retenues pour les types de véhicules autonomes, La figure (5) classe les différents types de véhicules de livraison autonomes dans une typologie. Nous distinguons les différences en termes de (1) infrastructure, (2) niveau d'automatisation, (3) Vitesse, (4) taille et (5) capacité de charge.

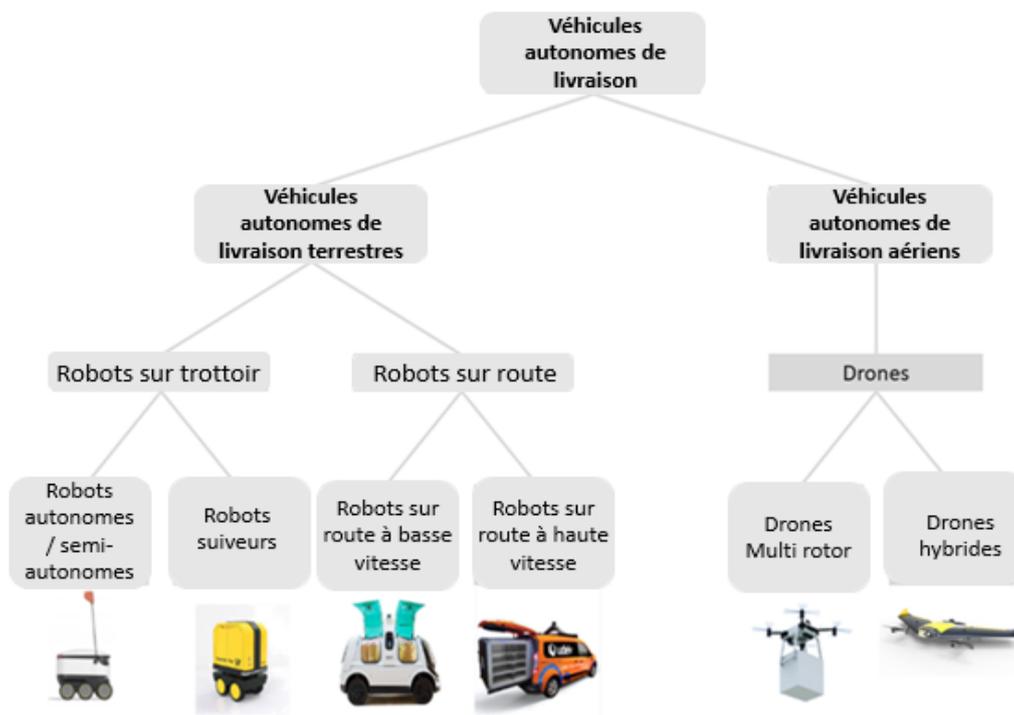


Figure 4 : Typologie des véhicules autonomes de livraison.

a) **L'infrastructure** : les véhicules de livraison autonomes se distinguent par le type d'infrastructure utilisée. Il existe deux types :

- **Véhicules autonomes de livraisons aériennes appelés notamment « drones »** : précédemment utilisés pour des fins de surveillance militaire et les domaines tactiques, aujourd'hui un grand nombre d'investisseurs s'y intéressent pour les livraisons aériennes. Deux principaux types de drones électriques sont testés pour la livraison: les drones multi rotor (quadricoptère / hexacoptère / octocoptère) et les drones hybrides équipés d'hélice et d'ailes [21]. La majorité des tests sur les drones ont été effectués en zone rurale, ils sont identifiés comme une option de livraison sérieuse pour les bassins de moins de 50 000 habitants [22]. Ce mode de transport est moins contraignant en termes de mouvements que les autres véhicules, ce qui permet d'effectuer des livraisons dans des zones en manque d'infrastructures, dans des zones inaccessibles ou dans des pays peu développés. Grâce à leur rapidité, ils sont souvent utilisés pour la livraison

de fournitures médicales. La société Américaine Zipline se concentre sur la création de dispositifs médicaux et a intégré l'utilisation de drones dans des pays d'Afrique tels que le Ghana, le Rwanda et la Tanzanie, ce qui en fait l'une des sociétés les plus importantes au monde pour le transport de médicaments et de produits sanguins [23]. La Poste suisse transporte des échantillons de laboratoire par drone vers les hôpitaux de Zürich, Bern, Lugano grâce à un drone conçu par Matternet. En pleine crise sanitaire, ils ont été une solution rapide pour transporter les tests vers les hôpitaux. En dehors du secteur médical, les drones gagnent également en importance. Le géant du e-commerce Amazon a lancé son programme « Prime Air Drone Delivery » : pour des distances allant jusqu'à 25 km et 30 minutes, et pour des colis postaux de moins de 2,27 kg [24]. De nombreuses sociétés internationales ont développé et testé des utilisations dans le monde réel, comme Alphabet (la société mère de Google), JD.com (un très grand e-commerçant chinois), Flytrex associée à AHA un grand e-commerçant islandais qui opère à Reykjavik, et des entreprises de livraison de colis comme Fedex, UPS et DHL. Bien que les drones puissent fournir des avantages distincts, ils se heurtent aux limitations réglementaires et aux restrictions de vol, ce qui rend difficile leur utilisation [19].

- **Véhicules autonomes terrestres:** Ils se distinguent en deux types différents : les robots sur trottoir et les robots sur route [25] : contrairement aux drones, une infrastructure routière sophistiquée et adéquate et une conception appropriée (largeur suffisante de trottoirs) sont nécessaires. Un premier type circule dans des zones denses piétonnes, où il partage les trottoirs avec les autres usagers pour les livraisons de repas prêts, d'alimentation et de colis postaux. Ces robots roulent généralement sur deux à six roues (et parfois même sur « jambes », qui permettent de prendre les escaliers comme le robot bipède Digit conçu par Agility Robotics). Les robots de livraison sur trottoir tels que les robots Starship, kiwi bot, partagent les zones piétonnes avec les autres usagers. Dans beaucoup de pays et spécialement aux Etats-Unis, les startups ciblent les

campus universitaires pour le déploiement de ces robots, ces milieux sont considérés comme avantageux pour la facilité de circulation mais aussi car les étudiants acceptent d'avantage ce type de livraisons. Des start-up ont élu les campus comme domaine d'action privilégié : Starship Technologies a inauguré la plus grande flotte de robots de livraison au monde à l'université George Mason en Virginie [26] ; Kiwi a vu le jour sur le campus universitaire de Berkeley [27]. Le deuxième type dans la catégorie des robots terrestres sont les robots sur route, ils partagent la route avec les autres véhicules conventionnels. On distingue deux types de robots sur la route à basse vitesse tels que le robot R1 et R2 de la startup américaine Nuro, l'une des rares compagnies à être autorisées à tester des robots sur les routes californiennes, ou les robots chinois sur les routes Neolix. Et en deuxième lieu les robots sur la route à haute vitesse tels que Udelv ou AutoX qui sont basés sur des véhicules/châssis conventionnels existants automatisés ou quelque peu modifiés pour s'adapter aux livraisons autonomes [28].

b) Niveau d'automatisation : Les robots de livraison peuvent avoir plusieurs niveaux d'automatisation. Ces robots sont équipés d'un outillage de hautes technologies pour parvenir à atteindre leur destination tout en évitant les obstacles susceptibles d'être rencontrés. Actuellement, les drones se situent entre le niveau trois et le niveau quatre d'automatisation, ce qui signifie qu'ils peuvent prendre certaines décisions. La supervision humaine reste nécessaire [29]. En ce qui concerne les robots de livraison terrestres, même s'ils sont considérés comme étant autonomes, ces robots sont surveillés par des opérateurs qui n'interviennent qu'en situation d'urgence, telle que lorsque le robot est face à une situation assez complexe sur la route, aider à traverser en cas de besoin, en cas d'obstacle sur la route tel est le cas des robots tels que : Starship, Postmates, ou les robots Kiwibots qui sont déployés sur les campus américains mais qui sont contrôlés à partir de Medellin en Colombie [30]. Dans la même catégorie, les « robots suiveurs » accompagnent le personnel de livraison, le soutiennent dans ses fonctions et augmentent la productivité en réduisant le temps nécessaire pour conduire et

gérer les véhicules. La start-up française Effidence a développé ce concept et travaille avec le groupe La Poste. Nommé Hectar, ce robot accompagnant le livreur a une capacité de charge pouvant atteindre 150 kg [31]. TwinsWheel, fabricant français de robots de livraison propose trois modèles de ce type de robots « follow me ». Un robot qui porte jusqu'à 50 kg de produits est testé avec la chaîne de supermarchés Franprix, un autre type de robot qui permet de livrer jusqu'à 150 kg et permet d'accompagner un technicien est testé avec Enedis. Enfin, un autre type de robot plus gros, qui mesure un mètre cube et porte 300 kg, permet d'accompagner un livreur de colis postaux ou de courses alimentaires [32]. Pour les robots sur route, quant à eux, qu'ils soient à basse vitesse ou à haute vitesse, ils atteignent le niveau quatre d'automatisation, ce qui signifie qu'ils ne nécessitent pas d'assistance humaine dans la plupart des conditions routières [33].

- c) **Vitesse** : la vitesse des véhicules de livraison autonomes diffère. Les drones multi rotors ont une vitesse maximale de soixante kilomètres par heure [21] tandis que les drones hybrides peuvent atteindre jusqu'à 120 kilomètres par heure [34]. Pour maintenir la sécurité des piétons sur la route, les robots de trottoir sont limités à six kilomètres à l'heure [35]. Les robots routiers sont plus rapides : les robots routiers à basse vitesse tels que Nuro voyagent à quarante kilomètres par heure tandis que les robots routiers à grande vitesse comme Udelv et Gatik ont une vitesse maximale de quatre-vingts kilomètres à l'heure [28].

- d) **Taille et capacité de la charge** : la taille et la capacité de la charge des véhicules autonomes sont étroitement liées. Ces caractéristiques jouent un grand rôle dans la manière à laquelle les véhicules opèrent, l'infrastructure autorisée, la vitesse. Alors que les drones ont une capacité de charge allant jusqu'à cinq kilogrammes [36], les robots de trottoir semi-autonomes ont généralement une capacité comprise entre 10 et 36 kilogrammes avec un maximum de cinquante kg [37]. Ces robots n'ont de place que pour un seul colis postal, ce qui leur permet de livrer à un seul consommateur à la fois. En revanche, les robots de trottoir suiveurs peuvent transporter une charge allant jusqu'à 300 kilogrammes. Les robots routiers à basse vitesse sont plus petits et plus légers que les fourgons ordinaires

et ont une capacité de charge plus élevée car ils ne nécessitent pas de siège pour le conducteur. La conception des robots routiers à grande vitesse est basée sur des fourgons réguliers, qui sont soit automatisés, soit modifiés pour accueillir des livraisons autonomes. Leur capacité de charge est également élevée. Le type de produits transportés par ces différents véhicules varie largement, depuis les plats cuisinés et les produits d'épicerie jusqu'aux colis non alimentaires et fournitures médicales.

2.3 Acteurs influençant le marché de livraison autonomes

Le marché de livraisons autonomes en ville est constitué de plusieurs parties prenantes qui influent sur son évolution. Cependant, ce profil des principales parties prenantes a pris une forme très différente dans le système de fret urbain du futur avec l'intégration de nouveaux modes de livraisons autonomes. De nouveaux acteurs apparaissent en raison des nouveaux besoins du marché. La figure 6 illustre ces différents acteurs :

➤ Les consommateurs :

Au fil des années avec les évolutions technologiques enregistrées, « l'expérience consommateur » change. Les consommateurs représentent les parties prenantes les plus complexes du système de fret urbain, car il est assez difficile de concevoir et de mettre en œuvre des politiques de fret pour influencer le comportement des destinataires. Leur sensibilité aux options de livraison dépend fortement du type de produits et influent son choix de livraison. L'expérience consommateur est à la recherche de l'option de livraison la plus efficace en termes de délais et la moins coûteuse en termes de coûts de livraison. Concernant la livraison autonome, ces consommateurs sont invités à interagir avec les robots de livraison à l'aide d'interface homme-machine, qui peut parfois s'avérer une étape assez complexe du processus de distribution et de ce fait influencer la perception de ces consommateurs face à cette technologie. La pénétration effective des technologies de livraisons autonomes sur le marché dépend de leur introduction d'une manière qui attire tous les types de consommateurs [14].

➤ Fournisseurs de systèmes autonomes

Le fournisseur de systèmes est un nouveau type de la partie prenante, qui sera responsable de la fabrication, de la fourniture et de l'entretien du matériel de fret automatisé, y compris la « mécatronique », les capteurs, le matériel informatique, le matériel de communication pour la connectivité et le micro logiciel et le logiciel qui fonctionnent et connectent le matériel. Cette catégorie comprend les développeurs, les fabricants et les fournisseurs de systèmes automatisés, connectés et électriques.

➤ **Les autorités réglementaires**

Les décideurs politiques stimulent et supervisent la conception et la mise en œuvre de nouvelles politiques et réglementations pour favoriser l'adoption de nouvelles technologies dans le secteur du fret, et leur intégration dans le tissu urbain, conformément aux objectifs qui, dans un contexte démocratique, sont généralement fixés ou influencés par les politiciens nationaux et locaux (p. qualité de l'air, réduction de la congestion routière, sécurité des usagers, amélioration de la qualité de vie dans les zones urbaines). Ils ont une très grande influence sur l'accessibilité au marché des livraisons autonomes.

➤ **Les usagers**

Les usagers sont ceux qui partagent l'infrastructure avec les véhicules autonomes de livraison, soit les piétons sur les trottoirs ou en zone piétonne pour les robots de trottoir, les cyclistes pour les robots qui roulent sur voie cyclable, et enfin les véhicules conventionnels pour les robots qui roulent sur la route. Ces acteurs sont souvent très sensibles aux externalités négatives dues au fret urbain (par exemple, congestion et pollution accrues, sécurité réduite). L'acceptation et l'adoption des véhicules autonomes de livraison en ville par les usagers est considéré comme un facteur clé pour la réussite de ce mode de livraison. Son intégration et la cohabitation entre les différents usagers pourrait faciliter l'implémentation de ces robots en ville et en même temps pourrait être un obstacle et une barrière à leur entrée sur le marché [14].

➤ **Les entreprises de transport**

Les entreprises de transport sont considérées comme étant un facteur important dans le marché de livraisons autonomes. Ils sont représentés par les sociétés de livraison établies, y

compris des prestataires de services logistiques traditionnels tels que DHL, UPS et autres. C'est eux qui exploitent cette technologie et l'intègrent à leur offre de livraison. Investir dans une flotte de robots ou se lancer dans les livraisons autonomes est un choix stratégique pour ces compagnies.

➤ **Investisseurs**

Ils sont la source de financement des startups de conception de solution autonomes pour la livraison. Ils apportent un soutien financier aux startups à travers une technique de financement appelée levée de fonds. Des investisseurs entrent dans le capital social d'une société. Les investisseurs apportent des fonds à la société et reçoivent des titres en contrepartie. Dans l'univers des start-up, la levée de fonds est un moyen incontournable [38].

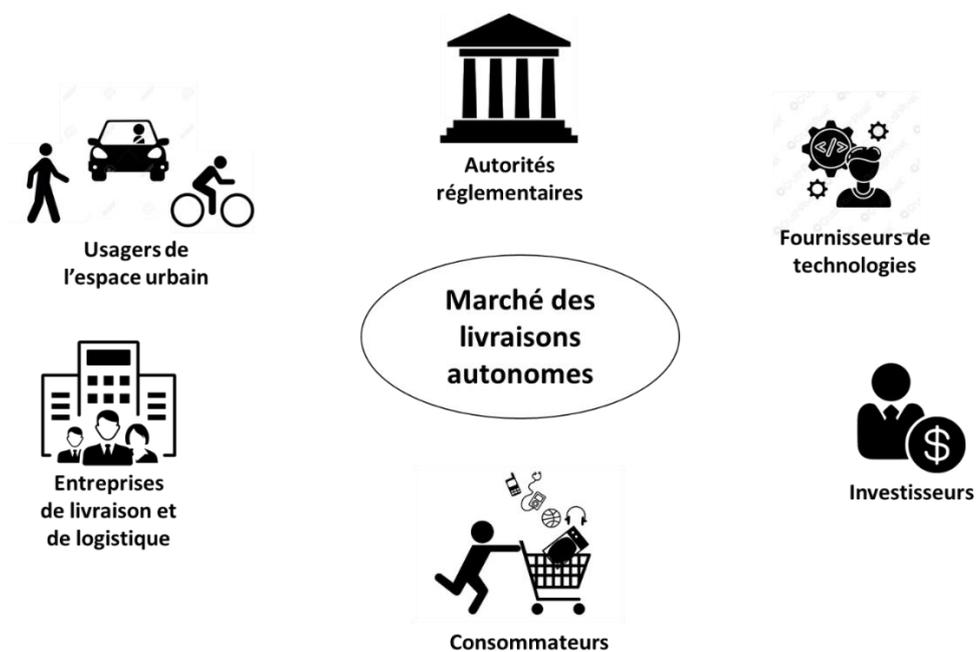


Figure 5 : Acteurs influents sur le marché des livraisons autonomes

2.4 Livraisons autonomes, quels scénarios en milieu urbain ?

Outre les différents types de véhicules des livraisons autonomes, les cas d'utilisation dans lesquels ces véhicules sont déployés diffèrent également. À partir de l'analyse de la littérature,

nous avons identifié huit scénarios de livraisons autonomes les plus utilisés et les mieux décrits, qui sont conceptualisés dans la figure. Chaque scénario comprend un véhicule ou une combinaison de véhicules ainsi que des destinations pour les consommateurs. Les points de départ des livraisons sont soit des bureaux de poste, des magasins ou des entrepôts, qui sont soit plus proches, soit plus éloignés des destinations des consommateurs. Cette proximité-éloignement est illustrée sur la figure 7.

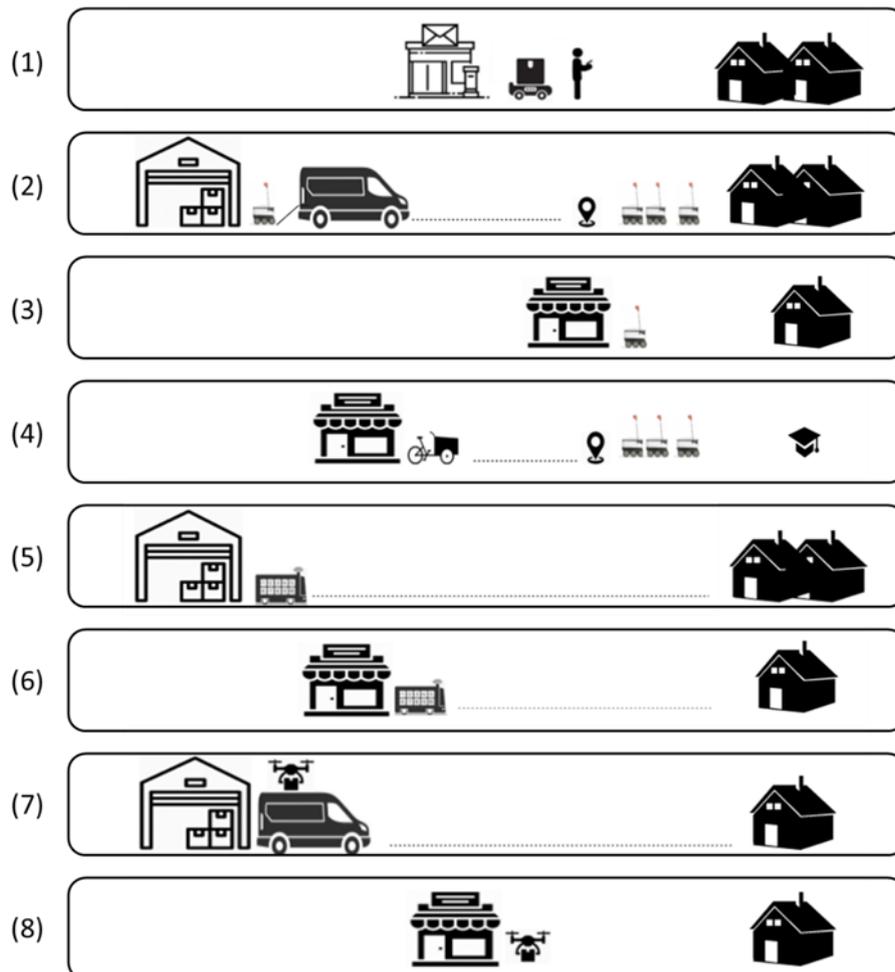


Figure 6 : scénarios de livraison à partir de véhicules autonomes de livraison

- Le scénario du robot suiveur de trottoir est visualisé dans le **scénario (1)**, le modèle du robot suiveur, qui montre le personnel de livraison assisté par des véhicules de livraison autonomes pour effectuer les livraisons des bureaux de poste locaux au domicile des consommateurs.
- Les robots de trottoir sont représentés dans **les scénarios (2) à (4)**. Le **scénario (2)**, le modèle van-robot, s'appuie sur des fourgons spécialement conçus pour transporter un

certain nombre de robots de trottoir. La camionnette est chargée dans un entrepôt à l'extérieur de la ville, se rend à un point spécifique dans un rayon de trois kilomètres des consommateurs, gare et déploie les robots. Tous les robots se déploient dans le rayon pour livrer un consommateur et retournent à la camionnette, qui retourne à son tour à l'entrepôt une fois que tous les robots sont rappelés. Appelé « le vaisseau-mère », le van fait office de hub mobile. De cette manière, ils évitent les coûts d'un entrepôt urbain permanent. Des exemples de ce modèle incluent la collaboration entre Mercedes-Benz et Starship [39] et entre Ford et Agility Robotics. La caractéristique notable du robot Digit d'Agility Robotics est sa capacité à monter les escaliers [40]. Dans le **scénario (3)**, le modèle de robot de trottoir, ces robots de trottoir effectuent des livraisons à partir d'entreprises locales, telles que des restaurants, des épiceries et des pharmacies, directement aux consommateurs dans un rayon de trois kilomètres. Généralement déclenchée par une commande client passée via une application smartphone, le personnel en magasin prépare la commande et charge le robot pour la livraison. Les exemples du modèle de robot incluent le robot Serve de Postmates aux États-Unis d'Amérique [41] et le robot de livraison de ZMP DeliRo au Japon [42]. Dans le scénario **Scénario (4)**, le modèle robot-cargobike, combine les robots de trottoir avec les cargobikes pour effectuer des livraisons d'entreprises locales. Dans ce modèle de livraison multimodal, un cargobike transporte quelques robots vers un point précis proche des consommateurs. Le projet KiwiCampus est un exemple en proposant des plats préparés dans des restaurants locaux aux étudiants du campus universitaire de l'UC Berkeley. Au départ, Kiwi Campus utilisait uniquement des robots de trottoir, par la suite, il a introduit des cargobikes pour augmenter son efficacité [43].

- Les robots routiers sont représentés dans les **scénarios (5) et (6)**. Ces robots peuvent voyager plus loin, plus vite et livrer plus de consommateurs à la fois. Leur grande capacité de charge permet de stocker différentes commandes dans des compartiments séparés. Ces scénarios ont deux points de départ différents, d'un entrepôt plus éloigné de la zone urbaine dans le **scénario (5)**, le modèle de robot entrepôt-route, et d'entreprises locales, telles que les restaurants, les épiceries et les pharmacies dans le **scénario (6)**, le modèle de robot store-road. Le partenariat d'UPS avec la société de technologie de conduite autonome Waymo est un exemple du modèle de robot entrepôt-route : les minifourgonnettes de Waymo parcourent la

distance entre les magasins UPS et les installations de tri [44]. La collaboration de Nuro avec Kroger et Domino pour livrer des produits d'épicerie et des plats préparés à Houston illustre le modèle de robot de magasin [45].

- Les drones sont représentés dans les **scénarios (7) et (8)**. **Scenario (7)**, le modèle fourgon-drone, combine des fourgons équipés d'une technologie de précision et des drones. Cette combinaison est proposée par Ford Europe (2017) : des camionnettes circulent dans les zones urbaines et des drones effectuent les livraisons finales aux consommateurs. Une collaboration entre Mercedes-Benz, le développeur de drones Matternet et la place de marché électronique suisse SIROOP a appliqué le même modèle dans une approche différente à Zurich. Dans ce cas, les fourgons sont garés sur des points prédéfinis de la zone urbaine, auxquels les entreprises locales envoient des drones chargés de commandes en ligne. Après l'arrivée de toutes les commandes, les chauffeurs de camionnettes effectuent les livraisons, tandis que les drones reviennent aux entreprises [46]. Enfin, **le scénario (8)** où le modèle de drone consiste en des livraisons par drone d'entreprises locales telles que les restaurants, les épiceries et les pharmacies directement aux consommateurs. Le concepteur de drones israélien Flytrex et le détaillant en ligne islandais AHA ont appliqué ce modèle pour effectuer des livraisons de plats préparés dans la ville de Reykjavik. Évitant les déplacements urbains compliqués et chronophages, Flytrex collabore avec des restaurants locaux afin que les consommateurs puissent recevoir leurs commandes directement.

Bien que ces scénarios reflètent l'utilisation la plus courante et la plus prometteuse des véhicules autonomes pour la livraison à domicile de biens de consommation en ville, de nouveaux concepts sont prévus. Deux exemples incluent Robomart, une épicerie mobile autonome [47] et des armoires intelligentes spécifiquement développées pour le chargement et le déchargement autonomes des expéditions par drones imaginés par DHL en collaboration avec le concepteur de drones chinois Ehang [48].

2.5 Réglementation des véhicules autonomes de livraison

Le marché des livraisons autonomes est en croissance continue, au fil du temps les rues seront de plus en plus susceptibles d'accueillir des robots autonomes sur leurs trottoirs et leurs routes. La robotique urbaine représente aujourd'hui une nouvelle vague technologique à

laquelle les différents acteurs doivent s'adapter. Du fait que ces véhicules autonomes de livraison partagent l'infrastructure avec les autres usagers, ils doivent être cadrés d'un point de vue réglementaire. Ces robots étant une nouvelle technologie, seuls quelques Etats et villes disposent d'une réglementation en place.

Le cadre réglementaire change d'un pays à un autre, pour les robots de livraison. En Europe, la réglementation exige que le conducteur soit à tout moment responsable d'un véhicule sur la voie publique, ce qui crée des incertitudes quant à l'utilisation des VA, qui entravent effectivement leur adoption [49]. Les auteurs soulignent également le manque de critères pour vérifier si un système est suffisamment sûr pour être autorisé. L'Estonie est le premier pays de ce continent à avoir adapté son code de la route pour l'utilisation partagée de l'espace pour les humains et les robots (voir la loi de réforme sur la loi estonienne sur la circulation du 14 juin 2017 sur les modifications de la section 2 du même acte) [35]. Aux Etats-Unis, un certain nombre d'Etats autorisent les robots de livraison à participer au trafic et ont adapté leur code de la route. Les États qui ont mis en œuvre des réglementations sont les suivants : Arizona ; Floride ; Idaho ; Ohio ; Utah ; Virginie et Wisconsin. De plus, plusieurs villes ont adopté des règlements : Austin, Texas ; San Francisco, Californie ; et Washington DC. La startup estonienne qui domine le marché des robots de livraison sur trottoir a participé activement à l'adoption des lois dans divers Etats tels que la Virginie et l'Idaho. Elle a montré ses robots lors d'auditions pour ces projets de loi, qui définissent les paramètres de fonctionnement légal de ces robots de livraison [50].

Les principaux thèmes sur lesquels se base la législation des robots autonomes se divisent en cinq catégories [51] :

- **Opérations et maintenance** : sur cette thématique là un bon nombre de règles concernant la maintenance de la flotte entière de robots par les opérateurs, ils devront trouver également des moyens de protections de leurs robots contre tout acte de vandalisme. Des textes de lois tels que celui de l'Idaho (State affairs committee 2017) comprennent un « examen de conformité » qui consiste en un examen sur place des activités des transporteurs routiers, y compris l'entretien et l'inspection des véhicules, la responsabilité financière, les

accidents, les matières dangereuses et d'autres registres de sécurité et de transport connexes pour déterminer l'aptitude à la sécurité des robots.

- **Zone de service** : l'espace urbain étant limité, les autorités doivent définir l'espace où peuvent circuler les robots de livraison, dans la ville ; trois différentes zones sont proposées : les trottoirs, pour les robots de petite taille tels que les kiwibots ; si les robots sont d'une taille plus grande, cela pourrait être un problème pour les piétons et pourrait générer un conflit entre les usagers. San Francisco par exemple autorise l'usage de ces robots seulement sur des trottoirs qui pourraient accueillir les fauteuils roulants et d'une largeur d'au moins 1,8 mètres. En deuxième lieu les routes : les robots de routes sont d'une taille plus grande donc ils doivent partager l'infrastructure avec les véhicules conventionnels. Un exemple en est les robots Nuro. En dernier lieu les pistes cyclables, certains robots ont été conçus afin de circuler sur ces pistes-là, tel le REV1 de la startup Refraction AI, ce dernier pouvant soit rouler sur les pistes cyclables soit sur la route. Sur ce type de zone, les robots peuvent être considérés comme un obstacle qui pourrait mettre en danger la vie des cyclistes. La législation de Washington DC stipule que ces robots ne peuvent pas interférer avec les vélos.
- **Taille de la flotte** : la taille de la flotte autorisée change d'une ville à une autre, par exemple Washington DC permet le déploiement de 5 robots, tandis que San Francisco permet jusqu'à 9 robots. Lors des tests pilot la taille permise est restreinte par mesure de prudence et de sécurité, mais si les tests sont positifs, le nombre de robots peut augmenter.
- **Limite de taille et poids** : une autre condition importante du cadre est consacrée au poids autorisé des drones de livraison. Les États américains de Virginie et Idaho, autorisent les robots à fonctionner de manière autonome, mais, en Virginie, la loi permet aux robots terrestres de fonctionner jusqu'à un poids inférieur à 22 kg, dans l'Idaho, la limite de poids légale est de 36 kg [35].
- **Les exigences de sécurité** : la sécurité est évidemment la partie la plus importante de tout projet de loi du point de vue des élus et des électeurs. Certaines des principales considérations incluent la vitesse, le bruit, les drapeaux, les lumières, les freins et, peut-être plus important encore,

l'opérateur humain qui doit surveiller les robots et être prêt à intervenir à n'importe quel moment.

Pour les pays qui ont des réglementations sur les drones, ces réglementations intègrent généralement une licence de pilote, l'enregistrement du drone, des zones réglementées et une assurance. Les exigences réglementaires varient en fonction de paramètres tels que :

- Masse du drone et sa capacité de charge
- La densité de population
- L'altitude de vol autorisée
- Le cadre d'utilisation du drone.

Ces exigences varient d'un pays à l'autre [53]. L'utilisation intensive des drones soulève de nombreux dilemmes éthiques, tels que la confidentialité, la protection des données personnelles, etc., auxquels les responsables devront faire face dans un proche avenir.

Ces exemples discutés montrent que les robots de livraison sont confrontés à un paysage dispersé de réglementations légales, même au sein de nations individuelles, ce qui rend leur fonctionnement nettement plus difficile. La faible clarté des lois et la non prise en considération de ces technologies autonomes de livraison rendent extrêmement compliquée pour le secteur privé la possibilité de planifier des investissements à moyen ou à long terme, au moment où les grandes tendances technologiques telles que la conduite autonome pour la livraison, atteindront un certain stade de maturité. Les travaux de [54] insistent sur le fait que sans politiques appropriées en place, la perception et l'acceptation par le public des véhicules autonomes auront un impact négatif sur la mise en œuvre de ces robots .

2.6 Livraisons autonomes contre livraisons traditionnelles, quels avantages ?

Les externalités du transport dans les zones urbaines sont de nature différente : pollution de l'air, due aux émissions des véhicules, pollution sonore, produite par le nombre élevé de véhicules en circulation et par les moteurs conventionnels, accidents, principalement liés à la distraction du conducteur, congestion, générée par le nombre élevé de véhicules dans la ville, utilisation du sol, en raison de la propagation du véhicule, usure des infrastructures, générée par la fréquence et le poids des véhicules, dépendance énergétique causée par la technologie

d'alimentation traditionnelle et l'inefficacité du moteur [55]. Plusieurs recherches estiment que les véhicules autonomes auraient un impact plutôt positif sur la livraison du dernier kilomètre, comme le montrent les sous-sections suivantes.

2.6.1 Impact environnemental

Une étude publiée par le Forum économique mondial (WEF) estime que la croissance des livraisons du dernier kilomètre au cours de la prochaine décennie entraînera des transits plus lents et des émissions plus élevées dans les grandes villes du monde. Le rapport prévoit une augmentation de 36% du nombre de véhicules de livraison dans les 100 premières villes du monde d'ici 2030, ce qui entraînera une augmentation des émissions de plus de 30%. Cette congestion représentera 11 minutes de temps de trajet supplémentaire par passager chaque jour [56]. Les gouvernements, les industries et les entreprises du monde entier s'engagent de manière radicale à réduire les niveaux d'émissions de CO₂ et de déchets. Des pays comme la France, l'Allemagne, l'Inde, les Pays-Bas, la Norvège et le Royaume-Uni mènent la charge dans l'élaboration de politiques visant à arrêter la production et les ventes de véhicules à essence et diesel au cours des 10 à 20 prochaines années [57]. L'un des volets abordés dans ces stratégies est le transport urbain de marchandises par l'optimisation des mouvements logistiques dans les zones urbaines et en examinant l'introduction des nouvelles technologies dans les processus logistiques urbains traditionnels.

À l'ère de l'innovation technologique et des progrès des capacités robotiques, les robots de livraison autonomes à batterie électrique sont en pleine émergence et peuvent être considérés – sous condition - comme une alternative sans carbone pour les livraisons dans de nombreuses villes à travers le monde en contribuant à réduire considérablement les émissions de carbone. Pour tenir compte de l'effet environnemental global de l'exploitation des véhicules, non seulement la demande d'énergie directe des véhicules doit être prise en compte, mais également la consommation d'énergie en amont nécessaire pour produire et fournir le carburant ou l'énergie consommée par les véhicules pendant le fonctionnement [58].

Les recherches de [59] analysent l'efficacité de livraison des véhicules autonomes en termes de consommation d'énergie, d'émissions de carbone et de déplacements. Les résultats de cette étude démontrent l'efficacité de ces technologies autonomes et leur impact positif sur

l'environnement. En termes d'efficacité énergétique et d'émissions, aucun type de véhicule ne domine.

Les robots de livraison autonomes de trottoir peuvent réduire considérablement les émissions de carbone des véhicules traditionnels de livraison lorsqu'une combinaison robot- *van* n'est pas nécessaire, c'est-à-dire dans des scénarios où la zone de livraison entoure le dépôt, soit dans un rayon d'environ 3 km. Les robots de livraison autonomes sont plus efficaces que les fourgons électriques lorsqu'ils livrent à un nombre relativement faible de clients. Cependant, les travaux [25] ont montré que l'adoption des robots de trottoir peut ne pas être aussi efficace que l'adoption des robots sur route, en ce qui concerne la consommation d'énergie, les émissions et l'utilisation du stationnement lorsque les zones de service sont éloignées du dépôt. En outre, la réduction des déplacements sur route lors du déploiement des robots sur trottoir se fait au détriment de leurs déplacements sur les trottoirs, ce qui peut causer d'autres externalités liées à la sécurité des piétons et la congestion des trottoirs.

Concernant les véhicules autonomes aériens de livraison, selon [60] ces drones sont plus économes en CO² pour les petites charges utiles et les livraisons uniques dans les zones rurales, mais moins efficaces pour les grandes charges utiles ou lorsque de nombreux clients sont regroupés dans des zones urbaines denses. Les drones consomment moins d'énergie et d'émissions par colis-km que les fourgonnettes de livraison. Une étude de [61] confirme ces résultats en proposant un modèle de consommation d'énergie pour les drones. Le but est de décrire la demande d'énergie pour les livraisons de drones en fonction des conditions environnementales et du modèle de vol. Le modèle est utilisé pour simuler la demande d'énergie d'un système de livraison de colis stationnaire qui dessert un ensemble de clients à partir d'un dépôt. L'énergie consommée par les drones est comparée à la demande énergétique des camions Diesel et des camions électriques desservant les mêmes clients depuis le même dépôt. Les résultats indiquent que le passage à un système de livraison de colis uniquement basé sur un drone n'est pas vraiment efficace d'un point de vue énergétique dans la plupart des scénarios. Un système de livraison de colis stationnaire basé sur un drone nécessite plus d'énergie qu'un système de livraison de colis basé sur un camion, en particulier dans les zones urbaines où la densité de clientèle est élevée et les trajets en camion sont relativement courts. Dans des environnements plutôt ruraux avec de longues distances entre les clients, un système de livraison de colis par drone crée une demande d'énergie comparable

à un système de livraison de colis avec des camions électriques à condition que les caractéristiques environnementales soient modérées. La consommation d'énergie de ces drones dépend de plusieurs facteurs, la charge, la vitesse de déplacement mais aussi des conditions météorologiques, la consommation d'énergie des drones augmente considérablement en cas de vent de face [62]. Cependant de nouveaux types de drones pourraient être beaucoup plus efficaces en termes d'émissions que les anciens modèles.

Les nouveaux types de véhicules autonomes aériens et terrestres peuvent réduire considérablement les émissions de carbone, mais ils ne réduisent pas nécessairement les déplacements sur route. Pour certains véhicules autonomes, la réduction des déplacements sur route s'accompagne également de déplacements supplémentaires sur les trottoirs ou en drones. La sécurité des piétons et la congestion des trottoirs ou la sécurité aérienne et la congestion (drones) pourraient constituer des lacunes majeures de ces nouveaux véhicules de livraison.[59].

2.6.2 Impact économique

Les livraisons du dernier kilomètre constituent la partie la plus coûteuse pour les entreprises dans leur chaîne d'approvisionnement. Le dernier kilomètre logistique comprend plusieurs coûts : le coût du carburant ou de l'énergie utilisée, le véhicule et l'équipement pour assurer un voyage en toute sécurité du magasin à la porte du client (un emballage spécialisé est nécessaire). Enfin le coût de main d'œuvre qui est considéré comme la dépense la plus élevée pour l'entreprise et qui représente environ 60% des coûts. D'autres coûts entrent en compte tels que les coûts des logiciels et des différents outils de gestion pour la performance de l'activité. La livraison est également pleine d'inattendus. Des dépenses supplémentaires imprévues peuvent s'ajouter, la dépanneuse, les heures supplémentaires imprévues dues à des appels, le remboursement inattendu dû à un itinéraire de livraison tardif, le coûts d'erreur lors des livraisons, les coûts des retours suites à l'absence du client...

Les véhicules autonomes de livraison pourraient avoir un impact significatif sur la réduction de ces coûts. Selon une étude de McKinsey 2016, ces derniers pourraient diminuer considérablement les coûts de livraison de 10% à 40% par rapport à la méthode de livraison traditionnelle. La mise en place de robots autonomes pourrait principalement générer de la valeur en réduisant les coûts d'exploitation directs et indirects et augmentation du potentiel

de revenus. Les robots autonomes peuvent réduire les coûts de main-d'œuvre et augmenter la productivité en travaillant continuellement 24 heures sur 24 sans fatigue. La sécurité des employés peut être améliorée dans des environnements très dangereux et les coûts d'assurance et de congés pour accident peuvent être considérablement réduits [63].

Pour une entreprise, utilisant des véhicules autonomes de livraison, deux types de coûts sont à prendre en considération [64]:

➤ Coûts fixes :

- **Le coût d'acquisition** : si l'entreprise décide d'acquérir sa propre flotte de robots, ou bien optera-t-elle pour une option de robotique en tant que service en louant un service d'automatisation à des startups spécialisées. La deuxième option serait plus bénéfique pour l'entreprise, car le coût d'acquisition d'un robot autonome est un coût important pour l'entreprise, pour un système de livraison efficace un petit nombre de robots ne serait pas suffisant. En louant le service à des startups la maintenance de ces robots, le coût d'une main d'œuvre technique, l'équipement associé, capteurs et ajouts de réseau requis pour faire fonctionner les systèmes robotiques, seraient déduits des dépenses de l'entreprise.
- **Les coûts d'entrepôts en ville**, les robots de livraison ayant une distance de déplacement limitée. L'installation de mini hubs proches des destinataires finaux et qui seraient un point de départ pour ces robots, ou un endroit sûr pour leur stationnement serait nécessaire. Ces hubs sont nécessairement situés dans des zones urbaines avec un coût de foncier et des loyers logistiques très élevés. Une solution pour éliminer ces coûts est le scénario de livraison combinant des petits robots avec un van appelé « vaisseau-mère ». Une recherche sur ce scénario de livraison [28] a montré que ce modèle pourrait avoir un impact positif sur le temps de déplacement et les coûts.

➤ Coûts variables :

- **Coûts de main d'œuvre et de maintenance** : le coût de la main d'œuvre pour l'exploitation des robots autonomes de livraison, englobe tous les frais liés à la maintenance des véhicules. Une augmentation de compétences est nécessaire par rapport aux autres modes de livraison, nécessitant des connaissances en ingénierie. Le

coût de la main d'œuvre chargée de la surveillance de ces véhicules à distance, et enfin le coût du personnel pour le chargement des marchandises et le déchargement dans certain cas s'ajoutent aux coûts de main d'œuvre.

- **Coût d'énergie** nécessaire au fonctionnement du véhicule.
- **Coûts d'assurance.**
- **Coûts de logiciels et matériel informatique.**

Les robots de livraison autonomes promettent un coût de livraison très bas comparé aux autres livraisons traditionnelles. En Chine, des robots de livraison Segway-Ninetbot ont été testés dans plusieurs endroits à Pékin et à Shanghai pour la livraison de colis à domicile et la livraison de repas. Les tests ont couvert près de 5000 km et ont montré une réduction drastique des frais de livraison à 0,05 Yuan contre 1,5 Yuan en temps normal. Aux Etats-Unis la livraison à travers les robots de la startup Starship coûte à peu près 1,99\$ [65]. Sterling Hawkins, co-fondateur de l'agence de conseil en technologie de vente au détail Center for Advancing Retail and Technology (CART), affirme que l'automatisation des livraisons pourrait permettre aux entreprises d'économiser 80 à 90% des coûts associés à l'exécution humaine de telles tâches. Les biens de consommation, les produits de santé essentiels et la nourriture (à la fois les épiceries et les plats à emporter) sont tous des modèles applicables où la livraison automatisée peut avoir un impact à la baisse des coûts [66].

Pour une estimation exacte du coût économique de ces véhicules, Il faut tenir compte de toutes les dépenses requises pour la mise en œuvre d'un système de livraison autonome. Avec l'avancement technologique, certains coûts peuvent être supprimés tels ceux de la main d'œuvre utilisée pour le chargement des véhicules, les téléopérateurs qui surveillent les robots avec un niveau d'autonomie plus élevé le nombre de téléopérateurs pourrait être réduit. Ce qui pourrait rendre le coût de livraison autonome plus avantageux [5].

2.6.3 Impact sur la sécurité

Les accidents de véhicules sont la cause de mort de plus d'un million de personnes chaque année dans le monde, 94 % de ces accidents ont une cause humaine [67]. Les véhicules autonomes pourraient prévenir nombre de ces accidents et sauver des vies. Pour ce faire, ils doivent être conçus, construits et exploités tout en répondant aux normes de sécurité.

Le travail de livreur est considéré comme l'un des métiers les plus dangereux aux Etats-Unis, selon des données du Bureau of Labor Statistics les livreurs sont classés 6ème sur une liste de 34 métiers à risque [68]. L'usage des véhicules autonomes pour les livraisons implique moins de risques du moment où il ne nécessite pas de conducteur. Les robots sur trottoir et sur route sont plus légers, plus agiles et plus lents qu'un véhicule conventionnel. Ils sont équipés de logiciels de pointe et de capacités de détection qui ne sont jamais distraits, ce qui les rend plus sécurisés pour les usagers par rapport aux autres modes de livraison [69]. Cependant, ces véhicules sont toujours en phase tests, cette étape du processus a pour but d'évaluer les performances des véhicules et de corriger les différentes erreurs ou risques qui peuvent mettre en danger les autres usagers. Les véhicules autonomes de livraison sont actuellement toujours assistés, par des téléopérateurs qui interviennent en cas de problème ou de dangers pour les robots sur trottoir, ou par des opérateurs dans les véhicules qui n'interviennent qu'en cas de danger pour les robots sur routes.

2.7 Conclusion

A travers cette première partie nous constatons que le marché des véhicules autonomes dédiés à la livraison est en émergence ces dernières années. Un intérêt particulier est porté à ces nouvelles technologies. Les Etats-Unis et la Chine sont les pays où ces véhicules se développent le plus. Ils se distinguent en plusieurs types et ont des caractéristiques différentes. Ces derniers apportent de nouveaux modèles de distribution à la logistique urbaine en proposant des scénarios de livraison, soit seul ou combinés avec d'autres modes. Les avantages attendus de cette automatisation comprennent une utilisation plus efficace de l'espace, l'usage d'énergie propre, un gain sur le temps d'usage et sur les coûts, mais aussi plus de sécurité. Malgré cela leur usage reste limité en vue des exigences réglementaires dans certains pays et dans d'autres une absence totale d'un cadre juridique dédié à ce volet ce qui reste un point important freinant le déploiement de ces véhicules en milieu urbain.

3. Livraisons autonomes dans des circonstances ordinaires et exceptionnelles : cas d'étude français

3.1 Mise en contexte

En décembre 2019, un virus inconnu a fait son apparition dans la ville de Wuhan en Chine, en janvier 2020 les autorités chinoises et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ont officiellement annoncé la découverte d'un nouveau virus qui est l'agent pathogène d'une maladie respiratoire infectieuse appelée Covid-19. En février la situation épidémique a évolué dans le monde entier avec l'intensification des cas. Afin de freiner la diffusion sur le territoire et réduire les risques de tension sur le système hospitalier de prise en charge des cas les plus graves, notamment les personnes les plus âgées et les personnes à haut risque, des mesures de distanciation sociale ont été prises, plusieurs villes du monde ont été confinées, avec la fermeture des lieux de regroupement non essentiels (cafés, restaurants, centres commerciaux, magasins, cinémas, discothèques...) les magasins d'alimentations, les pharmacies, les banques, stations-services... quant à eux restaient ouverts avec des mesures très strictes et différentes des temps ordinaires. En France de mars à mai 2020 un système de confinement a été mis en place sur l'ensemble du territoire français, les déplacements ont été interdits sauf pour certains cas.

Cette crise internationale a affecté la plupart des pays du monde, la situation de confinement totale pendant cette période a impacté différents secteurs et en particulier le secteur de la logistique. La demande s'est vu augmentée particulièrement en terme de produits de base, produits alimentaires, médicaments et matériel médical. La fermeture des magasins, restaurants, points relais, a conduit à une forte demande de livraisons à domicile. Considérées auparavant comme un plus « agréable à avoir » selon le choix du consommateur, elles sont devenues en temps de confinement une nécessité. Les commandes livrées directement chez le client sont devenues le seul moyen pour les géants du e-commerce, les détaillants et les restaurateurs de rivaliser et de satisfaire la demande face aux circonstances auxquelles « l'expérience consommateur » devait s'adapter. Un besoin d'un modèle de prestation efficace alimenté par des mesures de distanciation sociale et de livraisons sans contact est apparu. Des

solutions de livraisons à travers des robots autonomes et des drones se sont intensifiés pendant cette pandémie dans plusieurs pays du monde.

L'objectif de cette recherche est d'explorer l'impact de la crise actuelle sur l'usage des véhicules autonomes de livraison en comprenant l'état de la pratique et le potentiel futur des véhicules autonomes pour la livraison dans les villes, dans des circonstances ordinaires comme exceptionnelles. Mises en contexte par rapport aux évolutions internationales, nos recherches portent notamment sur le cas français. Ainsi, l'objectif répond aux besoins formulés par le Transportation Research Board (TRB) : identifier les moyens par lesquels les véhicules autonomes peuvent contribuer à atténuer les maladies infectieuses et définir le rôle des véhicules autonomes dans le transport de marchandises dans un monde post-COVID [70]. À ce titre, nos recherches peuvent aider les planificateurs, les développeurs, les opérateurs et le public à repenser le rôle et l'utilisation des véhicules autonomes pour la livraison.

3.2 Méthodologie

L'objectif de notre étude est de comprendre l'état des pratiques usuelles et d'évaluer le potentiel futur des véhicules autonomes pour une livraison à domicile des biens de consommation dans les villes françaises, aussi bien dans des circonstances ordinaires qu'exceptionnelles, particulièrement celles vécues lors de la crise sanitaire du Covid-19, sujet d'actualité qui est ouvert et sous-exploré. Nous l'analysons de manière empirique en menant une étude de cas- français [71][72].

Une étude de cas repose généralement sur des recueils d'archives, des entretiens menés auprès des représentants des entreprises, des questionnaires préétablis à déposer auprès des entreprises avec des observations relevées sur chaque cas pour la collecte des données [71]. Notre approche pour mener cette étude de recherche suit les recommandations de [72] et [73] en faveur de la triangulation. Cette technique est une procédure de validité où les chercheurs recherchent une convergence entre des sources d'information multiples et différentes pour former des thèmes dans une étude et corroborer les preuves [73], tout en s'appuyant sur une recherche documentaire approfondie. Notre recherche dans ce domaine utilise la combinaison de deux méthodologies de collecte de données : (1) un questionnaire

en ligne et (2) des entretiens d'experts semi-structurés. Les méthodologies appliquées sont décrites dans les sections citées ci-dessous.

3.2.1 Questionnaire

Dans un premier temps, nous avons lancé un questionnaire d'enquête (**Annexe 3**) en ligne par l'usage du logiciel SurveyMonkey au mois de juillet 2020. Ce questionnaire a été destiné à un panel d'entreprises de transport actives dans les villes françaises. Le questionnaire se composait de quatorze questions semi-ouvertes, fournissant aux répondants des réponses prédéfinies et la possibilité d'ajouter des réponses différentes de celles-ci. Nous avons préparé les questions selon quatre thèmes différents :

- Questions générales sur l'entreprise et ses activités,
- Questions pour évaluer le niveau d'intérêt pour les véhicules autonomes de livraison,
- Questions pour examiner les avantages et les inconvénients (obstacles) des véhicules autonomes de livraison
- Questions pour estimer l'impact perçu suite à la crise sanitaire sur le potentiel des véhicules de livraison autonomes.

Le questionnaire était actif en ligne jusqu'au mois de septembre 2020.

Nous avons contacté le panel d'entreprises de transport actives dans les villes françaises mis en place par [74] pour développer le « Baromètre de la logistique urbaine en confinement ». De plus, nous nous sommes rapprochée des responsables d'entreprises de transport en dehors de ce panel en utilisant le site de réseautage social LinkedIn. Nous nous sommes également approchée des fédérations professionnelles de transport aux fins de les solliciter pour une participation de leurs membres.

Nous avons rédigé un total de vingt e-mails d'invitations décrivant l'objectif et la portée de notre étude en fournissant un lien vers notre questionnaire en ligne.

Au final, nous avons collecté dix enquêtes complétées auprès de quatre grands groupes de transport et de six petites et moyennes entreprises. Les entreprises transportent une diversité de types de produits : colis, médicaments, plats préparés, nourriture et fret. La plupart des entreprises opèrent à la fois dans le segment business-to-business (« B2B ») et dans celui du

business-to-consumer (« B2C »). Bien que notre échantillon soit très restreint pour représenter la population des entreprises de transport dans les villes françaises, il reflète la diversité des entreprises dans ce marché en termes de taille, de type de produits, de type de segment et de type d'activité. Ainsi, notre questionnaire permet d'identifier la perception des entreprises de transport sur l'état des pratiques usuelles et le potentiel futur des véhicules autonomes pour la livraison à domicile de biens de consommation dans les villes françaises. Notre enquête a été menée en pleine crise sanitaire covid-19. Cet état de fait a eu des impacts majeurs sur les opérations et les activités des entreprises et a diminué nos chances d'aboutir à un échantillonnage plus étendu. Le tableau 1 synthétise cet échantillonnage.

Tableau 1 : Panel d'entreprises interrogées

Compagnies	Taille	Type de produits	Type d'activité	Activité de transport
Compagnie 1	Grand groupe de transport	Colis, Alimentaire	B2C - B2B	Interne
Compagnie 2	Grand groupe de transport	Colis, médicaments	B2C - B2B	Externalisée (sous-traitée)
Compagnie 3	Grand groupe de transport	Colis, cargo	B2B	Les deux
Compagnie 4	Grand groupe de transport	Repas prêts, Alimentaire	B2C - B2B	Les deux
Compagnie 5	Petite ou Moyenne entreprise	Colis, Repas prêts, Alimentaire	B2C - B2B	Interne
Compagnie 6	Petite ou Moyenne entreprise	Colis, Repas prêts, Alimentaire	B2C - B2B	Interne
Compagnie 7	Petite ou Moyenne entreprise	Colis, Repas prêts, Alimentaire	B2C - B2B	Interne

Compagnie 8	Petite ou Moyenne entreprise	Colis, médicaments	B2C - B2B	Interne
Compagnie 9	Petite ou Moyenne entreprise	Médicament, repas prêts	B2C - B2B	Externalisée (sous-traité)
Compagnie 10	Petite ou Moyenne entreprise	Médicament	B2C	Interne

Pour enrichir les résultats du questionnaire en ligne, nous avons procédé à des entretiens d'experts semi-structurés avec deux types d'acteurs : (1) les entreprises de transport ayant une réelle expérience dans la livraison autonome à domicile dans les villes françaises, ainsi que (2) les entreprises autonomes françaises développeurs de véhicules Ces entretiens sont décrits dans les sections suivantes.

3.2.2 Entretiens d'experts semis directifs

Entretien avec une entreprise de livraison et de transport

Suite à notre recherche documentaire, nous avons identifié une entreprise française expérimentée dans le domaine des véhicules autonomes pour la livraison à domicile de biens de consommation dans les villes : La Poste.

La Poste met en place une expérimentation dans la ville de Montpellier pour tester le robot trottoir du développeur français de véhicules autonomes TwinswHeel, plus tard en 2020. L'expérimentation avec TwinswHeel fait partie du projet SAM financé par l'Agence française de transition écologique : « Sécurité et acceptabilité de la conduite autonome et de la mobilité ». Le projet suit la stratégie nationale de développement des véhicules autonomes présentée par le gouvernement français au mois de mai 2018. Seule une des seize expériences au sein de SAM vise le transport de marchandises, les autres se concentrent sur le transport des passagers. L'objectif de l'expérimentation entre La Poste et TwinswHeel est d'étudier les possibilités des véhicules autonomes à livrer les produits locaux aux magasins, aux restaurants et les colis postaux à leur destination.

Suite à notre demande adressée par e-mail, nous avons mené un entretien d'une heure avec le responsable Innovation Véhicule de La Poste au mois d'août 2020. Lors de cet entretien, nous avons structuré la conversation autour de cinq thèmes différents (**Annexe 4**) :

- L'état des pratiques des livraisons à domicile en France
- Les bénéfices et obstacles perçus des véhicules autonomes à la livraison selon La Poste.
- Les expériences acquises par La Poste lors de la première expérimentation et les attentes pour la seconde expérience.
- La réglementation, les coûts et les conditions d'infrastructure associées aux véhicules autonomes de livraison.
- L'impact perçu de la crise sanitaire covid-19-sur le potentiel des véhicules de livraison autonomes et les scénarios selon La Poste.

i. Entretiens avec des développeurs de véhicules autonomes

Suite à notre recherche documentaire, nous avons identifié quatre concepteurs de véhicules autonomes et une start-up qui fournit une plateforme logistique pour gérer des flottes de véhicules autonomes en France.

Suite à nos demandes envoyées par e-mail, trois entreprises ont accepté de mener l'entretien : deux développeurs de véhicules autonomes et un fournisseur de plate-forme de flotte de véhicules autonomes. Le tableau 2 fournit des informations sur ces entreprises.

Les entretiens (par téléphone ou plateforme de réunion à distance) ont duré en moyenne quarante minutes et ont été structurés autour de cinq thématiques différentes (**Annexe 5**) :

- L'entreprise et la conception de son véhicule ou plateforme de livraison autonome.
- La réglementation associée aux véhicules autonomes pour la livraison.
- Le financement et les prestataires de services associés aux véhicules autonomes de livraison.
- L'infrastructure associée aux véhicules autonomes de livraison.
- L'impact perçu de la crise sanitaire covid-19- sur le potentiel des véhicules de livraison autonomes et des scénarios possibles.

Tableau 2 : concepteurs de robots de livraison interviewés

Compagnie	Activité	Informations sur l'interview
Sterela	Société d'ingénierie et de services autour de cinq secteurs d'activités : ITS, Défense et sécurité, Météo, Robotique, Aéro testing. Développement d'une gamme de robots de livraison sur trottoir : cargoBot mule, cargoBot city, cargoBot XS.	Entretien téléphonique le 26 aout 2020 avec le responsable Innovation et Développement.
TwinswHeel	Start-up spécialisée dans la conception de robots de livraison de trottoirs. Développement de trois robots avec des capacités de charge différentes : TH03, TH05, TH05 cargo.	Entretien téléphonique le 27 aout 2020 avec le Fondateur.
LMAD - Last Mile Autonomous Delivery	Société de logiciels qui a développé une plate-forme pour gérer et optimiser les flottes de véhicules autonomes pour la livraison. Réalisation de tests en France et en Finlande avec des robots des développeurs de véhicules autonomes Finlandais GIM	Entretien TEAMS le 15 septembre 2020 avec le PDG.

3.2.3 Analyse des résultats

En combinant les résultats du questionnaire et des entretiens, nous avons réalisé une analyse thématique des données en croisant les principaux thèmes et en recherchant la complémentarité entre les résultats. Nous avons facilité cette procédure d'analyse des données en construisant à la fois le questionnaire et les guides d'entretiens autour de sujets similaires et en explorant des sujets similaires avec les entreprises de transport et les développeurs de véhicules autonomes. Le même enquêteur a mené, transcrit et analysé les entretiens pour s'assurer que leur contexte était bien cadré. Nous avons utilisé des fichiers de tableur pour gérer, stocker et organiser les données et identifier les thématiques Enfin, nous avons soutenu et renforcé les résultats de la recherche sur le terrain grâce à la vaste base

d'informations qui a été acquise au cours de la recherche documentaire. Nos conclusions sont développées dans la section suivante selon deux thématiques.

3.3 Résultats et discussion

3.3.1 Véhicules autonomes pour la livraison dans des circonstances ordinaires

Le marché des livraisons autonomes en France

Notre analyse du marché français identifie quatre développeurs de véhicules autonomes : Sterela, Effidence, TwinswHeel et Valeo. Ces sociétés se concentrent sur les robots terrestres. Si certaines sociétés proposent dès le départ des solutions de livraison (Effidence, TwinswHeel), d'autres découvrent le potentiel du marché de la livraison par la suite et ont créé des véhicules de livraison autonomes à côté de leur cœur de métier (les robots Sterela à usage militaire et les solutions de mobilité générale de Valeo). Tous les robots développés en France n'y sont pas testés et mis en œuvre. C'est le cas de Valeo, qui s'apprête à tester ses robots routiers à basse vitesse en Chine en collaboration avec la plateforme d'achat Meituan-Dianping. Le fournisseur français de plateforme de véhicules autonomes LMAD-Last Mile Autonomous Delivery a lancé une plateforme logicielle pour gérer et optimiser les flottes de véhicules autonomes. La plateforme est testée en France (sur le campus Nokia Paris-Saclay près de Paris) et en Finlande (sur le campus universitaire Aalto près d'Helsinki), en collaboration avec la société finlandaise GIM Robotics. LMAD a pour objectif d'exploiter sa plateforme avec plus de partenaires et met en place un test avec TwinswHeel.

Outre les véhicules de livraison terrestres autonomes, des véhicules aériens sont également développés en France. DPD France, la filiale express de La Poste, a mis en place une solution de drone pour acheminer des colis vers les zones montagneuses et inaccessibles en partenariat avec l'Atechsys Academy. Elle exploite actuellement deux lignes commerciales régulières de livraison de colis postaux par drone. Une collaboration entre le spécialiste de la surveillance aérienne Air Marine et la plateforme de commerce électronique française Cdiscount a lancé des livraisons par drone dans le cadre d'un projet appelé Opération Pélican. Le projet Opération Pélican a été lancé en 2017. Il a été conçu pour promouvoir la livraison des colis postaux par drone en zone urbaine. Bien que les premiers résultats des tests fussent jugés peu concluants, les entreprises continuent d'explorer le potentiel des drones. Tous les

tests et implémentations de véhicules autonomes identifiés en France sont représentés sur la figure 8.

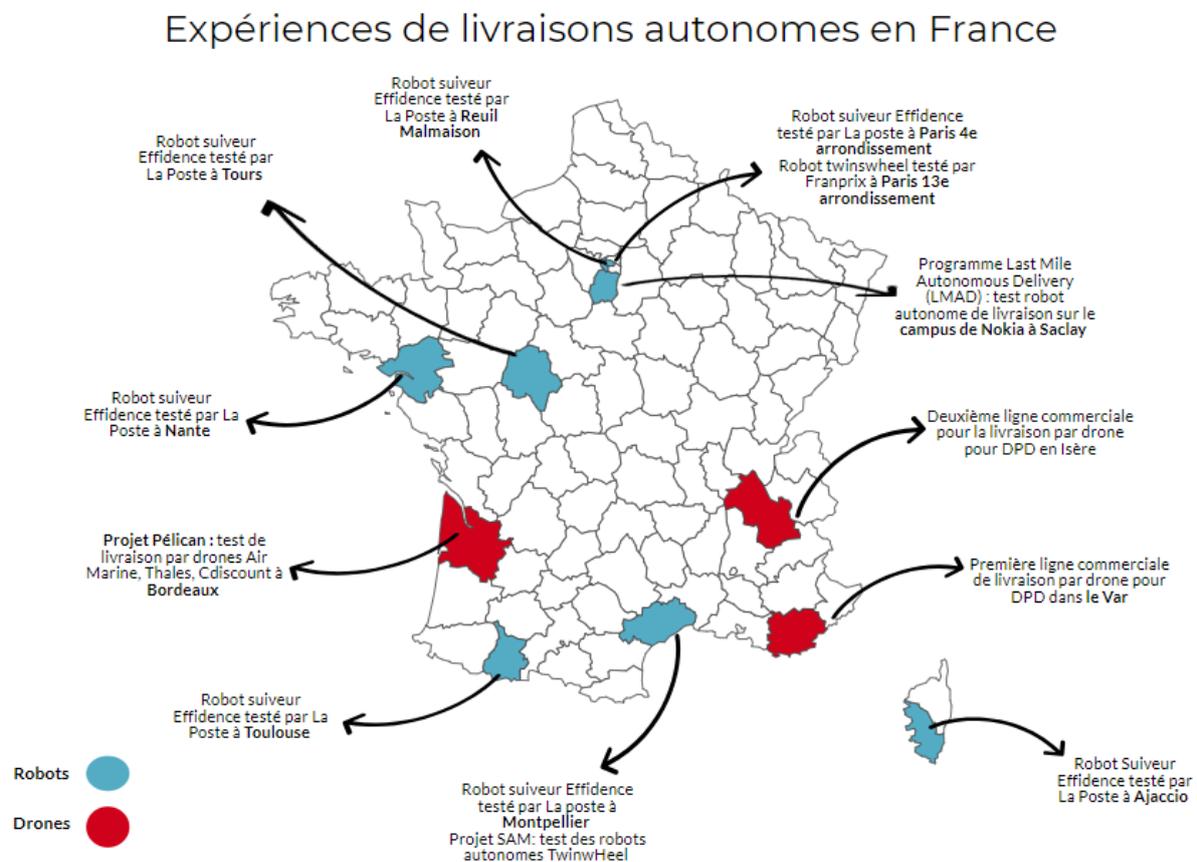


Figure 7 : tests et expériences de livraison autonomes en France

La plupart des tests et implémentations sont réalisées par la Poste qui collabore avec les développeurs par drones pour tester leurs véhicules autonomes. La faible implication des autres acteurs est confortée par les résultats de notre questionnaire.

L'intérêt des acteurs français aux livraisons autonomes

Pour les livraisons en milieu urbain, seuls deux répondants ont exprimé un vif intérêt et ont confirmé qu'ils explorent et évaluent les possibilités des véhicules autonomes pour les livraisons urbaines. Les deux répondants représentent de grandes entreprises de transport qui ont déjà investi dans des véhicules de livraison autonomes en dehors des zones urbaines. Les autres répondants indiquent un intérêt limité, alors qu'aucun des répondants ne partageait un intérêt concret pour les véhicules autonomes en tant que priorité stratégique à développer ou dans laquelle investir.

Pour les entreprises de transport, le robot trottoir suiveur est une priorité. Il s'agit du seul type de véhicule de livraison terrestre autonome testé à ce jour en France. Ces véhicules assistent les livreurs dans leurs tournées en transportant le colis postal et en évitant des allers-retours fréquents vers la camionnette de livraison, ce qui permet de gagner du temps. Alors que d'autres pays d'Europe expérimentent également ce type de robot, sa mise en œuvre dans des pays comme la Chine et les États-Unis semble limitée. Selon les développeurs de véhicules que nous avons interrogés, les robots de trottoir suiveurs peuvent être mis à niveau vers un niveau d'autonomie plus élevé. Ne pas le faire pour le moment est un choix stratégique. La motivation sous-jacente est double. Premièrement, la réglementation favorise les tests de robots au sol dans les rues qui sont assistés au lieu d'être entièrement autonomes. Deuxièmement, l'attitude du public est jugée plus favorable à l'égard du premier type de robot que du second. De plus, alors que les robots de trottoir, avantageux en termes de coûts et facilement remplacés par des chariots qui intègrent moins de technologies et sont moins chers, un développeur de véhicules autonomes explique que leur rôle principal est de faciliter l'entrée sur le marché de solutions entièrement autonomes dans les années à venir. Pour les développeurs de véhicules autonomes, la valeur des robots de trottoir suiveurs réside principalement dans l'acclimatation de la perception du public.

Alors que la majorité des entreprises de transport que nous avons interrogées indiquent que les robots de trottoir suiveurs sont les plus prometteurs pour les livraisons urbaines, les entreprises de transport croient un peu moins au potentiel des robots de trottoir semi-autonomes. Au moment de l'entretien, La Poste était en préparation pour tester le robot trottoir de TwinswHeel à Montpellier. Le test porte sur l'acheminement de colis entre les hubs logistiques et les magasins d'une part et les produits alimentaires vers les restaurants du centre-ville d'autre part. Lors des tests, La Poste envisage d'évaluer les aspects techniques et fonctionnels, les capacités des robots de trottoir, son comportement vis-à-vis de l'environnement urbain et de la perception du public. Si les tests montpelliérains se concentrent sur les livraisons entre entreprises, La Poste souhaite utiliser les résultats pour développer des scénarios business-to-consumer dans le futur.

Dans notre étude, peu d'entreprises de transport considèrent que les drones et les robots routiers promettent d'effectuer des livraisons urbaines. Cette affirmation est conforme aux développements dans les pays plus matures. Les drones dans un contexte de commerce

électronique sont généralement utilisés dans les zones non urbaines, tandis que les robots routiers sont testés uniquement lorsque des progrès suffisants sont réalisés avec les robots de trottoir. Les robots routiers sont plus rapides et se mélangent avec le trafic régulier, c'est pourquoi ils comportent plus de risques et sont plus compliqués à réglementer. Le développeur américain de robots routiers [69] a publié un rapport d'auto-évaluation de la sécurité, décrivant ses innovations, ses processus et ses méthodes de validation liés à la sécurité. Dans le rapport, Nuro explique comment ses véhicules répondent à tous les éléments de sécurité que le ministère des Transports a qualifié de critiques. Après la focalisation initiale sur les robots suiveurs et les robots de trottoir, nous nous attendons à ce que les robots routiers trouvent également leur entrée dans les villes françaises. Le tableau 3 donne un aperçu des tests et des applications des véhicules de livraison en France.

Tableau 3 : Tests et expériences de livraison autonomes en France

Entreprise	Type de vehicule	Type initiative	Lieu	Période
TwinswHeel	Robots suiveurs	Test avec la Poste	Montpellier	Fin 2020
TwinswHeel	Robots suiveurs	Test avec la chaîne de supermarchés Franprix	Paris	Avril 2019
DPD	Drone	Ligne Commerciale	Isère	2019
LMAD - Last Mile Autonomous Delivery	Robots suiveurs	Test avec GIM Robotics (Campus Nokia Paris Saclay)	Paris	2019
Effidence	Robots suiveurs	Test avec La Poste	Rueil Malmaison, Paris, Ajaccio, Montpellier, Nantes, Tours	Entre avril 2018 et juillet 2019
Air Marine	Drone	Test avec Cdiscount	Bordeaux	2018

DPD	Drone	Ligne de Commerciale	Le Var	2016
-----	-------	----------------------	--------	------

Avantages et opportunités des livraisons autonomes en France

En termes d'avantages et d'opportunités en matière de livraisons autonomes de biens de consommation dans les villes françaises, les transporteurs considèrent la flexibilité que les véhicules autonomes apportent aux horaires de livraison le principal avantage. Le personnel de livraison est généralement limité par des horaires de travail fixes, les véhicules autonomes permettent de proposer plus tôt les intervalles de temps plus tardifs et plus étroits.

Citons le cas des véhicules de livraison au sol autonomes utilisés par l'organisation postale en Australie. En cas d'échec de la livraison à domicile, les consommateurs peuvent demander une nouvelle livraison exécutée par ces véhicules. Ces services, pratiques et complémentaires, pourraient offrir une utilisation prometteuse pour faciliter la livraison des véhicules autonomes à domicile en France. Les répondants soulignent également d'autres avantages, tels que les coûts de livraison plus faibles, les livraisons plus rapides, un impact environnemental réduit et une image de marque innovante. Les entreprises de transport ont rempli la liste prédéfinie des avantages des véhicules autonomes pour offrir une Capacité d'aide au personnel de livraison et ainsi réduire la congestion.

Obstacles et barrières à l'implantation d'un système de livraison autonome en France

Quant aux obstacles qui entravent le déploiement des véhicules autonomes, le plus important pour les entreprises de transport et les promoteurs de véhicules est **l'aménagement urbain**. Les répondants ont tendance à citer les différences entre le cas français et le cas américain. Pour le cas américain, ces différences sont essentielles pour expliquer la position des États-Unis d'Amérique et le retard pris par la France dans les essais et la mise en œuvre de véhicules autonomes, malgré les activités de recherche et de développement en cours. Les villes des États-Unis d'Amérique sont plus grandes que les villes de la France. Ils ont une densité, entre les bâtiments, plus faible, des trottoirs et des rues plus larges. Ces caractéristiques de conception se reflètent également dans l'environnement bâti des campus universitaires, qui ont tendance à être plus grands et sans usage de véhicules. Pour les véhicules autonomes, les

villes et les campus américains se révèlent mieux adaptés que ceux de la France, car ils peuvent se déplacer avec moins de contraintes.

Outre les problèmes de planification et de conception, les répondants font état d'une **différence de culture de démarrage et d'investissement**. Les États-Unis d'Amérique, ainsi que de nombreux pays asiatiques, sont plus ouverts à la technologie et plus disposés à investir pour élargir le champ de l'expérimentation. En général, les personnes interrogées détectent plus d'intérêt en France pour investir dans des véhicules autonomes pour le transport de personnes et moins pour la livraison de marchandises. En termes de culture, une différence a été soulevée entre les campus universitaires français et américains. Alors que les étudiants des États-Unis préfèrent les campus et les plats préparés, les étudiants de France bénéficient de l'existence de restaurants universitaires et cafétérias pratiquant des bas prix, ce qui rend les services de livraison de nourriture (autonomes de) moins attractifs.

Un autre frein à l'utilisation des véhicules autonomes dans les villes françaises est **la réglementation**, plus précisément, le manque de transparence sur les autorisations en charge de la régulation. Les entreprises de transport citent la complexité et l'incertitude de la réglementation comme une raison de ne pas investir dans les nouvelles technologies. Pour les développeurs de véhicules autonomes également, la réglementation est un réel obstacle et les pousse à explorer d'autres marchés jugés plus accueillants (comme la Chine et la Finlande, comme mentionné). Pourtant, pour certains, les enjeux réglementaires sont avantageux car ils empêchent des concurrents particulièrement étrangers d'entrer sur le marché. De plus, le gouvernement français soutient l'implication de La Poste dans les expérimentations de véhicules autonomes et utilise ses expériences pour réguler cette réglementation. Ces évolutions expliquent la forte présence de La Poste dans le panorama des tests et des implémentations en France (voir tableau 3) et l'incertitude des autres entreprises vis-à-vis de la réglementation. Elle offre à La Poste une position clé mais facilite également une réglementation appropriée dans les années à venir.

Les coûts d'acquisition des véhicules autonomes s'avèrent être un obstacle pour les entreprises de transport d'explorer et d'investir selon les possibilités. En effet, les coûts d'acquisition des véhicules de livraison terrestre sont élevés en France par rapport aux véhicules proposés par des entreprises étrangères. Alors qu'un robot de trottoir TwinswHeel

coûte entre 45 000 € 65000 € [75]. Le robot de trottoir de Starship coûte 5500 dollars et vise à réduire son prix unitaire à 2250 dollars dans le futur [76]. Des indications de prix plus récents ne se trouvent pas en ligne, mais le développeur français de véhicules autonomes reconnaît un grand écart. Selon les développeurs de véhicules, ces coûts comparativement élevés sont attribués au fait que les robots de trottoir semi-autonomes français sont conçus et produits en France, de haute qualité et à petite échelle. Par conséquent, ils jugent leurs véhicules plus qualitatifs que leurs homologues américains, qui sont assemblés à partir de pièces produites en Asie. Enfin, les entreprises de transport ont ajouté deux obstacles liés aux véhicules de livraison autonomes aux réponses prédéfinies du questionnaire : la perte de connexion humaine, le risque de problèmes de confidentialité et de responsabilité que présente la technologie robotique.

La figure ci-dessous représente les différents avantages et inconvénients pour le marché de livraison autonomes.

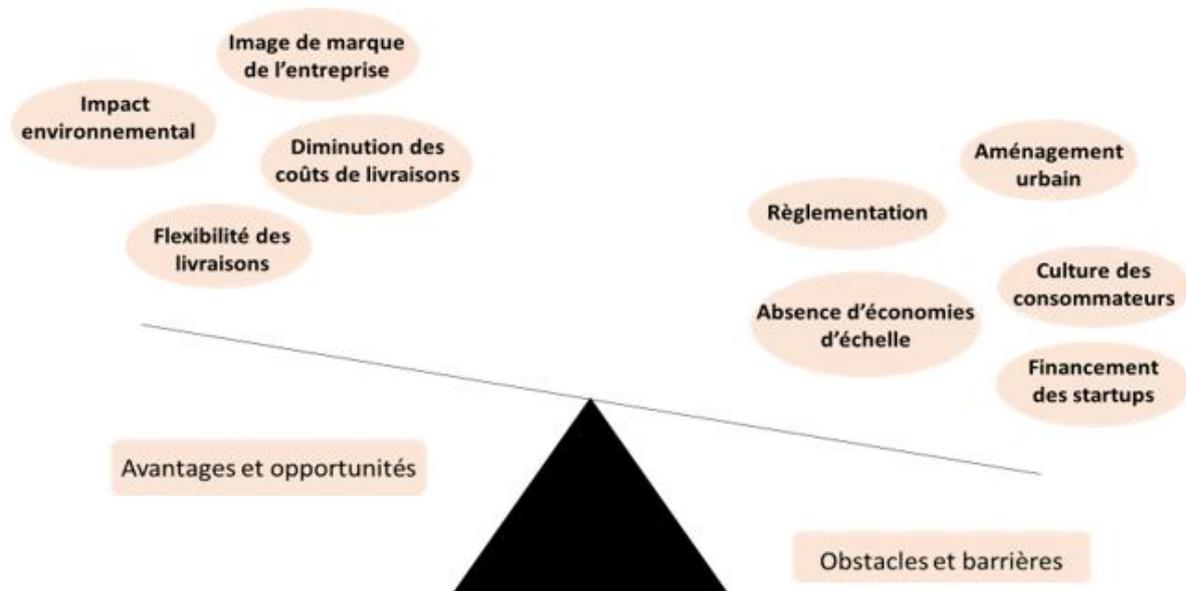


Figure 8 : Schéma des opportunités et obstacles pour le marché de livraisons autonomes en France

Quel avenir pour les livraisons autonomes en France ?

Moins de la moitié des entreprises de transport envisagent un avenir avec des véhicules autonomes à moyen terme (c'est-à-dire qu'ils devraient faire partie du système de livraison à

domicile dans les quatre prochaines années). La moitié des entreprises de transport trouvent une introduction à long terme plus réaliste en raison de contraintes réglementaires. Les véhicules de livraison aérienne sont considérés comme les plus prometteurs pour la livraison de produits médicaux, l'application pour laquelle ils sont les plus connus. Présentés avec la même liste de produits, les véhicules de livraison terrestre se révèlent les plus efficaces pour la livraison de colis postaux et de produits médicaux et moins pour les livraisons de plats préparés et d'épicerie. Cette situation retient notre attention à deux égards, d'abord parce que la livraison de nourriture est l'un des cas d'utilisation les plus utilisés pour les robots routiers et de trottoir, ensuite parce que les fournitures médicales ne sont pas du tout un cas d'utilisation typique, bien que cette réponse reflète fortement le contexte sanitaire du COVID-19 dans lequel cette recherche a été menée.

Une minorité d'entreprises de transport estime que les véhicules autonomes réaliseront moins de 5% des livraisons à domicile en ville d'ici dix ans, mais la majorité est plus optimiste et s'attend à ce que les véhicules autonomes livrent jusqu'à un quart du volume. Nos entretiens avec des sociétés de transport et des développeurs de véhicules indiquent que les véhicules autonomes ne sont pas envisagés pour remplacer totalement le personnel de livraison, mais principalement pour offrir des services supplémentaires.

3.3.2 Véhicules autonomes pour la livraison dans des circonstances exceptionnelles

Dans le monde

En réponse à la propagation de la pandémie dans le monde du COVID-19 et à la croissance de la demande de livraison à domicile de biens de consommation, les tests et la mise en œuvre de véhicules autonomes se sont accélérés dans le monde. Des robots de trottoir, des robots routiers et des drones ont été testés pour livrer des plats préparés, des produits d'épicerie, des médicaments et fournitures médicales au domicile des consommateurs. En cette période de crise sanitaire et économique, les véhicules autonomes sont apparus comme une alternative sûre et fiable à la livraison à domicile conventionnelle. Sûre, car les robots et les drones permettent des livraisons sans contact humain et à une distance sociale. Fiables, car ces véhicules ne sont pas touchés pour des raisons de santé et des préoccupations à l'origine d'une pénurie de personnel de livraison dans certains pays [74]. Le tableau 4 présente un

aperçu des tests réalisés avec des véhicules autonomes entre le mois de décembre 2019 et le mois d'octobre 2020, que nous avons compilé sur la base d'articles scientifiques, rapports, articles de journaux et communiqués de presse. Un aperçu visuel est présenté à la figure 11.

Tableau 4 : livraisons autonomes en crise sanitaire Covid-19.

Pays	Compagnie	Type de véhicule	Ville	Scénario de livraison	Type de livraisons
Etats Unis	Starship Technologies	Robots de trottoir	Tempe, Washington DC, Irvine	Robot sur trottoir modèle	Repas prêts, Epicerie
	Nuro	Robots sur route	Houston, Bay Area, San Mateo	Epicerie – robot sur route	Repas prêts, Epicerie, fournitures médicale
	Kiwi Campus	Robots de trottoir	Berkeley, San Jose	Robot sur trottoir modèle	Repas prêts, Epicerie, fournitures médicale
	Pony.ai	Robots sur route	Fremont, Irvine	Entrepôt-robot sur route modèle	Repas prêts, Epicerie
	Cruise	Robots sur route	San Francisco	Epicerie-robot sur route modèle	Epicerie
	Postmate	Robots de trottoir	San Francisco, Los Angeles	Robot sur trottoir modèle	Repas prêts
	Zip line	Drones	Caroline du nord	Drone modèle	Tests COVID-19, fourniture médicale
	Flytrex	Drones	Grand Forks, North Dakota	Drone modèle	Epicerie
	Waymo	Robots sur route	Bay Area	Epicerie robot sur route	Colis
	Wing	Drone	Christian burg, Virginie	Drone modèle	Epicerie
	Amazon Scout	Robots de trottoir	Snohomish, Irvine	Robot sur trottoir	Colis
	Navya	Navette	Jacksonville	Epicerie robot sur route	Plats prêts, fournitures médicale
	Réfraction AI	Robots sur route	Ann Arbor	Epicerie robot sur route	Repas prêt et Epicerie

	Optimus Ride	Robots sur route	The yard, Washington DC	Epicerie robot sur route	Repas prés
England	Starship Technologies	Robots de trottoir	Milton Keynes	Robot sur trottoir	Repas prêts, Epicerie
Scotland	Wingcopter	Drones	Isle of Wight, Isle of Mull	Drone modèle	Fourniture médicale
	Skyport	Drones	Argyll and Bute	Drone modèle	Fourniture médicale
Ireland	Manna Aero	Drones	Moneygall	Drone modèle	Fourniture médicales et produits de première nécessité
Finland	LMAD - Last Mile Autonomous Delivery	Robots de trottoir	Helsinki	Robot sur trottoir	Epicerie
China	Unity Drive Innovation	Robots de trottoir	Zibo, Suzhou, Shenzhen	Epicerie robot sur route	Epicerie
	White Rhino Auto	Robots sur route	Wuhan	Epicerie robot sur route	Repas prêts, fournitures médicales
	Neolix	Robots sur route	Wuhan	Epicerie robot sur route	Repas prêt, Epicerie, fourniture médicale
	Neolix	Robots sur route	Wuhan	Entrepôt-robot sur route modèle	Colis
	JD Logistics	Robots sur route	Wuhan	Epicerie robot sur route	Epicerie, colis
	JD Logistics	Drones	Wuhan	Drone modèle	Fournitures médicales
	Meituan Dianping	Robots de trottoir	Pékin	Robot sur trottoir	Epicerie
	Meituan Dianping	Robots sur route	Pékin	Epicerie robot sur route	Epicerie
	Antwork Network Technology	Drones	Pékin	Drone modèle	Fourniture médicale
	ZhenRobotics	Robots trottoir	Pékin	Robot sur trottoir	Epicerie
Canada	Tiny Mile	Robot trottoir	Toronto	Robot sur trottoir	Repas prêts

	Drone Delivery Canada	Drones	Georgina Island	Drone modèle	Fourniture médicales
Russie	Yandex.Rover	Robot trottoir	Moscow	Robot sur trottoir	Colis
Rwanda	Zipline	Drones	Kigali	Drone modèle	Test Covid et fourniture médicale
Ghana	Zipline	Drones	Accra, Kumasi	Drone modèle	Test covid fournitures médicales
Australie	Wing	Drones	Canberra, Logan	Drone modèle	Repas prêts fourniture médicale
Colombie	Kiwi Campus	Robots trottoir	Medellin	Robot sur trottoir	Repas prêts



Figure 9 : Véhicules autonomes de livraison durant la Covid-19 (en bleu les robots terrestres, en mauve drones).

Le tableau 4 et la figure 10 illustrent un mélange d'expériences avec des véhicules terrestres et des véhicules aériens autonomes pendant la pandémie de la Covid 19. Les activités des transports se concentrent en Amérique du Nord. Les différents types de services de transport de livraison par les moyens robotiques autonomes dans le monde ont été identifiés :

- La livraison de repas préparés,

- La livraison des produits d'épicerie et les produits de première nécessité,
- La livraison de colis postaux,
- La livraison de fournitures médicales et de tests du COVID-19.
- La livraison des moyens et équipements de désinfection intégrés aux robots de livraison.

En cette période de crise sanitaire et économique, trois développements ont facilité les tests et la mise en œuvre de véhicules autonomes pour la livraison : (1) l'assouplissement de la réglementation, (2) la réorientation des activités vers la livraison et (3) l'extension des fonds d'investissement :

- **Assouplissement de la réglementation** : Alors que plusieurs tests pilotes étaient lancés avant cette crise sanitaire, d'autres initiatives attendent les permis d'exploitations pour déployer leurs véhicules autonomes. Les divers besoins et urgences créés par la pandémie covid-19- poussent les gouvernements à s'associer aux développeurs de véhicules autonomes. Les exemples incluent l'autorisation à Zipline par la Fédérale Aviation Administration pour utiliser des drones pour les fournitures médicales en Caroline du Nord [77], l'autorisation pour Nuro de continuer à tester ses robots routiers R2 en Californie [78], l'autorisation de White Rhino Auto pour fournir du personnel médical à Wuhan [79] et l'accord du conseil municipal de Mountain View pour Starship pour lancer ses services commerciaux. De ce fait, au moins six entreprises - Ava's Market, Umai Sushi, Vitality Bowl, Doppio Zero, Crepevine et St.Stephens Green - se sont tournées vers Starship pour obtenir de l'aide en utilisant les robots de l'entreprise pour livrer de la nourriture aux résidents du centre-ville. Ils ont approché Starship pour mettre en place des livraisons de nourriture autonomes dans les zones urbaines [80].
- **Réorientation des activités vers la livraison** : Certaines entreprises ont modifié leurs activités en réponse à la crise sanitaire, passant du transport de personnes à la livraison de marchandises, par exemple Pony.ai, Waymo et Navya qui ont réorienté leurs véhicules autonomes des activités de transport de passager (Robot-taxi). De ce fait, ces entreprises ont pu continuer à tester et améliorer les performances de leurs véhicules ainsi qu'à collecter des données sur les tournées de véhicules.

- **Extension des fonds d'investissement** : Les divers besoins, urgences et activités engendrés par la pandémie ont suscité l'intérêt des investisseurs pour les technologies des véhicules autonomes. Des fonds d'investissement ont été levés pendant et après le pic de la crise sanitaire et économique. Par exemple, Waymo, qui a signé un partenariat avec Wal-Mart et UPS après avoir réaffecté ses activités à la livraison de marchandises. La société a prolongé son cycle de financement de 2,25 milliards de dollars au mois de mars 2020 avec 750 millions de dollars supplémentaires au mois de mai 2020 de la part de plusieurs nouveaux investisseurs. En novembre Nuro a obtenu un financement de 500 millions de dollars pour améliorer sa technologie de livraison autonome [81]. En l'espace de quelques mois, les investisseurs ont injecté au moins 6 milliards de dollars dans les sociétés de véhicules de livraison autonomes [82].

D'autres robots autonomes ont été d'une grande utilité dans plusieurs autres domaines durant la période de covid-19- dans les hôpitaux (livraison de repas et de médicaments aux malades atteints du covid-19-, mesure de la température atteinte durant la fièvre, désinfection). Des robots policiers ont été introduits en Chine. La police utilise des robots policiers pour patrouiller dans les rues et surveiller les entrées et les sorties aux portes de péage, pour suivre la population en matière de l'utilisation des masques et prendre la température corporelle des passants au moyen des thermomètres à infrarouges [83]. En Tunisie, des robots policiers ont été déployés dans les rues de Tunis incitant les habitants à rester chez eux afin d'atténuer la propagation du virus [84]. De même, les drones policiers et des robots cuisiniers ont été introduits dans les services. En Chine, un restaurant totalement automatisé a ouvert ses portes durant la pandémie. Des robots d'accompagnement des personnes âgées ont été mis en œuvre. En Belgique des robots d'appel vidéo ont également été déployés dans les maisons de retraite pour aider les personnes âgées à rester en contact avec leur famille vu que les visites familiales ont été suspendues [85].

En France

Malgré l'importance des activités de recherche et de développement de véhicules autonomes menée en France, des développements similaires n'ont pas eu lieu. Lors du confinement strict

intervenue entre le mois de mars et le mois de mai 2020, aucun véhicule terrestre ou aérien autonome n'a été testé ou mis en œuvre en France.

Les entretiens que nous avons menés montrent que les développeurs français n'étaient pas prêts à faire face à une crise sanitaire (suivie d'une crise économique). De même, les véhicules n'ont pas été suffisamment testés au préalable pour être déployés. Les développeurs de véhicules autonomes et la majorité des entreprises de transport considèrent la crise sanitaire covid-19- comme une occasion manquée pour le développement de leur activité, car ils n'ont pas su tirer parti de conditions de test favorables. Par conséquent, malgré les différents projets cités précédemment, les véhicules autonomes n'ont pas pu être employés à temps pour une prise en charge réelle des besoins du moment de livraison à domicile déclenchés pendant la pandémie covid-19- et pour aider les responsables à atténuer la propagation du virus par la fourniture des livraisons sans contact.

Malgré les progrès significatifs des véhicules autonomes dans d'autres pays, les entreprises de transport en France sont divisées quant au potentiel de ces véhicules en situation de crise. Une minorité d'entre elles estiment que les livraisons sans contact effectuées par des véhicules autonomes peuvent contribuer à réduire la propagation des virus. De plus, la moitié des entreprises de transport de notre échantillon s'accorde sur le fait qu'une flotte de robots et de drones est capable de mieux s'adapter aux situations de crise et d'améliorer les conditions de livraison, tandis que l'autre moitié n'est pas de cet avis. Ils s'accordent sur la capacité et la flexibilité des véhicules autonomes à répondre à une demande croissante et dispersée. Pendant le confinement vécu, les commandes en ligne ont connu une augmentation appréciable, et avec les points de collecte fermés les livraisons à domicile des consommateurs se sont intensifiées, mettant ainsi beaucoup de pression sur les entreprises de transport dans des circonstances déjà précaires.

Les entreprises de transport et les concepteurs estiment que les véhicules autonomes auraient pu jouer leur rôle, mais la route vers le déploiement régulier de véhicules semi-autonomes ou totalement autonomes pour la livraison à domicile de biens de consommation dans les villes françaises reste longue.

La pandémie de la Covid 19 a marqué notre quotidien. Cette crise sanitaire pourrait durer plus longtemps qu'on ne le croit. Les étapes et les stratégies entreprises dans certains pays du

monde tels que les Etats Unis et certains pays asiatiques pour freiner le déploiement du virus, notamment en matière de solutions autonomes pour la livraison ont généré un certain retentissement médiatique. Malgré les progrès technologiques dans un contexte européen, l'usage de ces solutions de livraison a été moins conséquent en France que dans ces pays. La France malgré le nombre élevé de concepteurs de robots autonomes de livraison par rapport à d'autres pays Européens n'a pas utilisé cette technologie en cette période. Le cadre réglementaire et l'aménagement urbain ont freiné leur usage.

4 Conclusion générale et perspectives

L'automatisation des véhicules est considérée comme une solution éventuelle (et pour certains prometteuse) pour relever les défis contemporains du transport urbain de marchandises. Les avantages attendus de cette automatisation comprennent une utilisation plus efficace de l'espace, l'usage d'énergie propre, un gain sur le temps d'usage et sur les coûts. L'adoption des véhicules autonomes de livraison pourrait conduire au développement d'une gamme de nouveaux modèles pour tenter de résoudre le problème du dernier kilomètre. Jusqu'à présent, plusieurs idées de modèles de distribution ont été présentées, mais pour pratiquement aucune d'entre elles, il n'existe de descriptions ou de simulations détaillées accessibles au public de leurs effets réels. Malgré le marché en évolution de ces technologies leur usage reste très limité, leur déploiement reste limité à des contextes très précis tel que les campus universitaires, les résidences, les ports, des zones où ces véhicules peuvent être contrôlés.

Cette automatisation des véhicules a gagné en popularité en réponse à la pandémie de la covid-19- dans le monde. Alors que les tests et les implémentations avec différents types de véhicules de livraison autonomes et de scénarios proposés ont enregistré une nette progression en Asie (environ sept initiatives en Chine) et en Amérique du Nord (environ seize initiatives aux États-Unis et au Canada), le sujet a reçu beaucoup moins de couverture dans un contexte européen (environ cinq initiatives au Royaume-Uni). Malgré les progrès technologiques de la pratique et de la réglementation, l'applicabilité des véhicules autonomes pour la livraison reste difficile à évaluer. Ce manque de clarté vaut tant pour les situations ordinaires que pour les circonstances exceptionnelles, telles que celles présentées par une crise sanitaire grave.

L'étude de cas identifie un environnement de recherche et de développement actif en France, mais les essais et la mise en œuvre réels de véhicules autonomes sur le territoire français restent limités. Jusqu'à présent, seuls les robots de trottoir suiveurs qui assistent le personnel de livraison ont été introduits dans le paysage urbain, tandis que les développeurs français se sont tournés vers des pays tels que la Finlande et la Chine pour expérimenter les robots de trottoir semi-autonomes plus avancés. Une réglementation et une planification urbaine

complexes font partie des explications. Il reste que l'opinion publique joue un rôle important doublement. Les entreprises de transport craignent les réactions négatives et les répercussions publiques en explorant les véhicules autonomes d'une part, mais reconnaissent l'impact positif sur leur image de marque comme « innovante » d'autre part. En tentant d'expliquer les différences avec les États-Unis, les acteurs français que nous avons interrogés soulignent que la nécessaire culture de démarrage des innovations et d'investissement est actuellement insuffisante. Ainsi, alors que de nombreuses villes à travers le monde ont connu une augmentation rapide des tests et implémentations de véhicules autonomes en réponse à la pandémie du covid-19- dans le monde, pas une seule initiative de robot ou de drone n'a été lancée dans les villes françaises lors du dernier confinement. Les conditions favorables telles que l'assouplissement de la réglementation, la réaffectation des véhicules autonomes du transport de passagers au transport de marchandises et l'extension des fonds d'investissement identifiés dans d'autres pays, n'étaient pas présentes en France. Néanmoins, les entreprises de transport estiment que les véhicules autonomes pourront – sous certaines conditions - fournir jusqu'à un quart du volume du commerce électronique à l'horizon 2030. A ce titre, ils fourniront les services qui viendront compléter l'offre conventionnelle.

Pour que cet objectif soit réalisable, de nouveaux tests et implémentations sont attendus dans l'avenir. Les concepteurs de robots et les entreprises de livraison et de logistiques peuvent bénéficier des résultats de ces expériences afin de développer leur projet de livraison autonomes que ce soit sur des circonstances ordinaires ou bien exceptionnelles.

Apports

Ce travail de recherche nous a permis de mieux connaître le marché des véhicules autonomes dédiés à la livraison urbaine et de constituer une large base de données, d'identifier la situation actuelle de ces modes de livraison et leurs externalités par rapports aux autres modes. D'autre part, l'étude de cas réalisée nous a permis de dégager des variables clé liées au marché de livraisons autonomes dans le monde et plus particulièrement en France. Ces variables constituent un panorama intéressant de la situation actuelle et de l'impact de la crise sanitaire sur l'usage de ces véhicules autonomes de livraison. Cette étude offre également quelques clés de compréhension pour les différents acteurs concepteurs, transporteurs et

autorités publiques sur la situation du marché national et international des livraisons autonomes. Une typologie de ces livraisons est proposée.

Limites

- Une première objection peut être soulevée quant à la représentativité de l'échantillon interrogé, en effet pour des raisons en dehors de notre portée et liées à la crise sanitaire, nous n'avons pu interroger qu'un nombre restreint d'entreprises (un total de 10), ceci ne nous permet pas de généraliser nos résultats.
- D'autres part, nous avons mené des entretiens semis directifs avec les concepteurs français de robots de livraison. Nous avons également programmé d'interroger un troisième acteur responsable de la législation de ces robots de livraison, mais malheureusement les contacts étaient indisponibles. Cela aurait pu nous donner un aperçu plus clair sur la législation actuelle par rapport à ces solutions autonomes mais aussi les ambitions futures impactées par la crise actuelle.
- Une démonstration de ces robots de livraison était prévue avec un concepteur de robots autonomes français, mais qui n'a malheureusement pas eu lieu, Elle aurait pu nous aider dans notre analyse en nous donnant un regard concret sur le mode de fonctionnement de ces technologies en dehors de la littérature.

Perspectives de recherche

- Notre étude a été réalisée sur un échantillon limité, pour de futures recherches, il serait intéressant d'avoir un échantillon plus large d'entreprises.
- Il serait également intéressant pour un prochain travail de recherche de faire une étude comparative plus approfondie entre les différents modes de livraison en termes de coûts, une fois que les données seront disponibles.
- Une autre perspective de recherche qui avait été envisagée dans notre travail au début de la planification est la perception du consommateur français par rapport à ces modes de livraison autonomes. Pour cause de confinement et par manque de temps cette partie n'a pas pu être réalisée mais elle pourrait être envisageable pour de futurs travaux de recherche notamment à l'occasion des tests qui auront lieu à Montpellier prochainement.

Bibliographie

- [1] OECD Urban Studies, *Cities in the World, A NEW PERSPECTIVE ON URBANISATION*. 2020.
- [2] E. Taniguchi, "Concepts of city logistics for sustainable and liveable cities," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 151, pp. 310–317, 2014, doi: 10.1016/j.sbspro.2014.10.029.
- [3] ALICE, "Urban Freight: research and innovation roadmap," p. 60, 2015.
- [4] S. F. W. T. Lim and M. Winkenbach, "Configuring the Last-Mile in Business- to-Consumer E-Retailing," pp. 1–23, 2018, doi: 10.1177/0008125618805094.
- [5] S. Sindi and R. Woodman, "Autonomous Goods Vehicles for Last-mile Delivery : Evaluation of Impact and Barriers," 2018.
- [6] D. Diziain, C. Ripert, and L. Dablang, "How can we Bring Logistics Back into Cities? The Case of Paris Metropolitan Area," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 39, pp. 267–281, 2012, doi: 10.1016/j.sbspro.2012.03.107.
- [7] R. Gevaers, E. Van De Voorde, and T. Vanelslander, "Cost Modelling and Simulation of Last-mile Characteristics in an Innovative B2C Supply Chain Environment with Implications on Urban Areas and Cities," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 125, pp. 398–411, 2014, doi: 10.1016/j.sbspro.2014.01.1483.
- [8] J. Olsson, D. Hellström, and H. Pålsson, "Framework of Last Mile Logistics Research : A Systematic Review of the Literature," 2019.
- [9] R. Gevaers, E. Van de Voorde, and T. Vanelslander, "CHARACTERISTICS OF INNOVATIONS IN LAST MILE LOGISTICS," *Assoc. Eur. Transp. Contrib. 2009*, pp. 1–21, 2009.
- [10] K. Bimbrow, "Autonomous Cars : Past , Present and Future - A Review of the Developments in the Last Century , the Present Scenario and the Expected Future of Autonomous Cars : Past , Present and Future," no. August, 2016, doi: 10.5220/0005540501910198.
- [11] FutureBridge, "Autonomous trucks – a revolution for the logistics sector," 2019. [Online]. Available: <https://www.futurebridge.com/industry/perspectives-mobility/autonomous-trucks-a-revolution-for-the-logistics-sector/>.
- [12] Venture Scanner, "Last Mile Logistics Leads Retail Technology Funding," 2019. .
- [13] San Francisco Public Works Code, *SEC . 794 . AUTONOMOUS DELIVERY DEVICES ON SIDEWALKS - PERMIT REQUIRED .*, no. d. 2018, pp. 1–5.
- [14] S. Kapser and M. Abdelrahman, "Acceptance of autonomous delivery vehicles for last-mile delivery in Germany – Extending UTAUT2 with risk perceptions," Elsevier, 2020.
- [15] G. Yates, "2019 State Of The World For Robot-As-A-Service Companies," 2020.

- [Online]. Available: <https://insights.rlist.io/p/report-robot-as-service-companies.html>.
- [16] D. Silver, "Autonomous Delivery Will Reduce The Cost Of Residential Package Delivery," 2020. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/davidsilver/2020/07/03/autonomous-delivery-will-reduce-the-cost-of-residential-package-delivery/?sh=7b40f2084844>.
- [17] B. Gilbert, "A totally unexpected company beat everyone to self-driving cars," 2016. [Online]. Available: <https://www.businessinsider.com/dominos-pizza-self-driving-pizza-robot-delivery-car-2016-9?IR=T>.
- [18] D. Reid, "Domino's delivers world's first ever pizza by drone," 2016. [Online]. Available: <https://www.cnbc.com/2016/11/16/dominos-has-delivered-the-worlds-first-ever-pizza-by-drone-to-a-new-zealand-couple.html#:~:text=Pizza delivery by drone a,20 miles north of Auckland>.
- [19] H. Y. Jeong, B. D. Song, and S. Lee, "Truck-drone hybrid delivery routing: Payload-energy dependency and No-Fly zones," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 214, pp. 220–233, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.ijpe.2019.01.010.
- [20] S. De Groot, "Pedestrian acceptance of delivery robots," 2019.
- [21] S. Chitta and R. K. Jain, "Last Mile Delivery Using Drones," *Asia Pacific Decis. Sci. Inst.*, no. July 2017, 2017.
- [22] M. Joerss, J. Schröder, F. Neuhaus, C. Klink, and F. Mann, "Parcel delivery: The future of last mile," *McKinsey Co.*, no. September, pp. 1–32, 2016.
- [23] K. Rinaudo, *How we're using drones to deliver blood and save lives*. TED, 2017.
- [24] Forbes, "Les Nouveaux Drones Amazon Commenceront Les Livraisons D'Ici « Quelques Mois »," *Forbes France*, Jun-2019.
- [25] M. Figliozzi and D. Jennings, "Autonomous delivery robots and their potential impacts on urban freight energy consumption and emissions," *Transp. Res. Procedia*, vol. 46, no. 2019, pp. 21–28, 2020, doi: 10.1016/j.trpro.2020.03.159.
- [26] Starship Technologies, "World's Largest Fleet of Delivery Robots on a University Campus Launched by Starship Technologies and Sodexo," *Starship*, Jan-2019. .
- [27] D. Coldewey, "Kiwi's food delivery bots are rolling out to 12 more colleges," *Techcrunch*, Apr-2019.
- [28] D. Jennings and M. Figliozzi, "Study of Sidewalk Autonomous Delivery Robots and Their Potential Impacts on Freight Efficiency and Travel," *Transp. Res. Rec.*, vol. 2673, no. 6, pp. 317–326, 2019, doi: 10.1177/0361198119849398.
- [29] R. Harwood, "The Challenges to Developing Fully Autonomous Drone Technology," *Ansys*, Nov-2019.

- [30] G. Ogbonyenitan, “Kiwibots are not fully Autonomous and are controlled by operators in Colombia,” *Techidence*, Aug-2019.
- [31] Effidence, “EffiBOT,” 2017. .
- [32] Digital SITL, “La livraison du dernier kilomètre au cœur des débats,” *Star Service Blog*, Jun-2020.
- [33] K. Ghaffarzadeh and N. Jiao, “Mobile Robots, Autonomous Vehicles, and Drones in Logistics, Warehousing, and Delivery 2020-2040,” 2019.
- [34] M. Murphy, “This might be the fastest delivery drone in the world,” *Quartz*, Apr-2018.
- [35] T. Hoffmann and G. Prause, “On the regulatory framework for last-mile delivery robots,” *Machines*, vol. 6, no. 3, pp. 6–8, 2018, doi: 10.3390/machines6030033.
- [36] Ric, “How much weight can delivery drones carry?,” *Unmanned Cargo*, Sep-2015.
- [37] Markets and Markets, “Delivery Robots Market Size, Growth, Trend and Forecast to 2024,” Jan. 2019.
- [38] P. Facon, “La levée de fonds : Qu’est-ce que c’est et comment faire ?,” 2019. [Online]. Available: <https://www.lecoindesentrepreneurs.fr/levee-de-fonds/>.
- [39] Daimler, “Mercedes-Benz Vans invests in Starship Technologies, the world’s leading manufacturer of delivery robots,” *Daimler Global Media Site*, Jan-2017.
- [40] Ford, “Agility Robotics to Sell First Digit Robots to Ford to Accelerate Exploration of Commercial Vehicle Customer Applications | ,” *Ford Media Center*, Jan-2020.
- [41] C. Albrecht, “Postmates’ Serve Robot Spotted (and Filmed) Making Deliveries in LA,” *The Spoon*, Dec-2019.
- [42] O. Tsukimori, “Robot-maker ZMP targets tractors, taxis and carts for elderly,” *Japan Times*, Jan-2020.
- [43] C. Said, “Kiwibots win fans at UC Berkeley as they deliver fast food at slow speeds,” *San Francisco Chronicle*, May-2019.
- [44] UPS, “UPS And Waymo Partner To Begin Self-Driving Package Pickup In Arizona,” *UPS Pressroom*, Jan-2020.
- [45] M. Wayland, “CVS Pharmacy partners with Nuro to test self-driving vehicle prescription delivery,” *CNBC*, May-2020.
- [46] Mercedes-Benz, “Pilot project for on-demand delivery,” 2016.
- [47] B. Ladd, “Robomart: The Uber of Groceries,” *Observer*, Jul-2019.
- [48] Transport Intelligence, “DHL unveils drone delivery service in China,” *Transport*

Intelligence, May-2019.

- [49] J. P. van Dijke and M. Van Schijndel, "CityMobil , Advanced Transport for the Urban Environment," *J. Transp. Res. Board*, no. 2324, pp. 29–36, 2012, doi: 10.3141/2324-04.
- [50] A. Yehezkel and A. W. Troianos, "Legal Considerations Before Deploying Autonomous Delivery Robots," 2020. [Online]. Available: <https://thespoon.tech/legal-considerations-before-delplying-autonomous-delivery-robots/>.
- [51] B. Penn and J. Lewis, "Urban Technology Studies : Delivery robots," 2019.
- [52] STATE AFFAIRS COMMITTEE, *LEGISLATURE OF THE STATE OF IDAHO*, no. 204. 2017.
- [53] T. Jones, "International Commercial Drone Regulation and Drone Delivery Services," 2017.
- [54] D. J. Fagnant and K. Kockelman, "Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations," *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 77, pp. 167–181, 2015, doi: 10.1016/j.tra.2015.04.003.
- [55] L. Ranieri, S. Digiesi, B. Silvestri, and M. Roccotelli, "A Review of Last Mile Logistics Innovations in an Externalities Cost Reduction Vision," 2018, doi: 10.3390/su10030782.
- [56] World Economic Forum, "The Future of the Last-Mile Ecosystem," 2020.
- [57] A. Gray, "Countries are announcing plans to phase out petrol and diesel cars. Is yours on the list?," 2017. [Online]. Available: <https://www.weforum.org/agenda/2017/09/countries-are-announcing-plans-to-phase-out-petrol-and-diesel-cars-is-yours-on-the-list/>.
- [58] R. Edwards, V. Mahieu, J. C. Griesemann, J. F. Larivé, and D. J. Rickeard, *Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context*, no. July. 2004.
- [59] M. A. Figliozzi, "Carbon emissions reductions in last mile and grocery deliveries utilizing air and ground autonomous vehicles," *Transp. Res. Part D*, vol. 85, no. July, p. 102443, 2020, doi: 10.1016/j.trd.2020.102443.
- [60] M. A. Figliozzi, "Lifecycle modeling and assessment of unmanned aerial vehicles (Drones) CO₂e emissions," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 57, pp. 251–261, 2017, doi: 10.1016/j.trd.2017.09.011.
- [61] T. Kirschstein, "Comparison of energy demands of drone-based and ground-based parcel delivery services," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 78, no. December 2019, p. 102209, 2020, doi: 10.1016/j.trd.2019.102209.
- [62] R. D'ANDREA, "Guest Editorial Can Drones Deliver ?," *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng. VOL. 11*, vol. 11, no. 3, pp. 647–648, 2014, doi: 10.1109/TASE.2014.2326952.

- [63] J. Fitzgerald and E. Quasney, "Using autonomous robots to drive supply chain innovation," 2017.
- [64] O'Brien, "Options for Deploying Last-Mile Delivery Robotics Systems," 2019. .
- [65] A. Feldman, "Starship Technologies Raises \$40 Million To Expand Its Food-Delivery Robots On College Campuses," 2019. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/amyfeldman/2019/08/20/starship-technologies-raises-40m-to-expand-its-food-delivery-robots-on-college-campuses/?sh=712911a71cec>.
- [66] N. Kareta, "Who are delivery vehicle market leaders?," 2020. [Online]. Available: <https://www.mes-insights.com/who-are-delivery-vehicle-market-leaders-a-953729/>.
- [67] OMS, "Rapport de situation sur la sécurité routière dans le monde," p. 20, 2018.
- [68] A. Kiersz and M. Hoff, "The 34 deadliest jobs in America," 2020. [Online]. Available: <https://www.businessinsider.com/the-most-dangerous-jobs-in-america-2018-7?IR=T>.
- [69] Nuro, "Delivering Safety : Nuro ' s Approach," 2018.
- [70] TRB, "Research needs statements on automated vehicles, shared mobility, pandemics, and equity," 2020.
- [71] K. M. Eisenhardt, "Building Theories from Case Study Research," *Acad. Manag. Rev.*, vol. 14, no. 4, pp. 532–550, 1989, doi: 10.2307/258557.
- [72] R. K. Yin, *Case Study Reserach - Design and Methods*, vol. 5. Thousand Oaks: SAGE Publications, 1984.
- [73] J. W. Creswell and D. L. Miller, "Determining Validity in Qualitative Inquiry," *Theory Pract.*, vol. 39, no. 3, pp. 124–130, 2000, doi: 10.1207/s15430421tip3903_2.
- [74] L. Dablanc and H. Buldeo Rai, "Barometer of urban logistics in lockdown," Paris, 2020.
- [75] G. Farriol, "Un robot qui porte vos courses a été testé dans un centre commercial à Paris (vidéo)," *Soirmag*, Apr-2018.
- [76] J. Condliffe, "Why sidewalk delivery robots still need safety drivers," *MIT Technology Review*, Jan-2018.
- [77] J. Bright, "Zipline begins US medical delivery with drone program honed in Africa," *TechCrunch*, May-2020.
- [78] A. J. Hawkins, "Nuro gets the green light to test driverless delivery robots in California," *The Verge*, Apr-2020.
- [79] W. Gong, "ITPO Shanghai partners with White Rhino Auto company Robot delivery vehicles deployed to help with COVID-19," *ITPO Shanghai*, Dec-2019.
- [80] K. Forestieri, "Facing financial trouble, Mountain View's downtown businesses turn to

delivery bots," *Mountain View Voice*, May-2020.

- [81] M. McKellop, "Nuro secures \$500 million in financing to improve autonomous delivery technology," 2020. [Online]. Available: <https://www.theburnin.com/startups/nuro-autonomous-delivery-startup-500m-funding-2020-11-09/>.
- [82] P. Lienert and J. Lanhee Lee, "Automated delivery cashes in on pandemic-driven demand," 2020.
- [83] H. Vardhan, "Autonomous Robots aid in patrolling and disinfecting COVID-19 hit China," 2020. [Online]. Available: <https://www.geospatialworld.net/blogs/autonomous-robots-aid-in-patrolling-and-disinfecting-covid-19-hit-china/>.
- [84] F. Belaid, "Coronavirus: A Tunis, un robot policier fait régner le confinement," 2020. [Online]. Available: <https://www.20minutes.fr/monde/2754327-20200403-coronavirus-tunis-robot-policier-fait-regner-confinement>.
- [85] Reuters Staff, "Belgian video-calling robots to keep elderly connected during coronavirus," 2020. [Online]. Available: <https://www.reuters.com/article/us-health-coronavirus-belgium-robots/belgian-video-calling-robots-to-keep-elderly-connected-during-coronavirus-idUSKBN21339G>.



E-commerce : vers l'automatisation du transport de marchandises en ville ?

Helene Bubbe Rai, Université Gustave Eiffel, chaire Logistics City (à gauche) et Sotiria Tsoumi, Université Gustave Eiffel, chaire Logistics City et Institut pour la ville en mouvementVEDECOM

Partout dans le monde, les magasins en ligne sont devenus une alternative importante à la rue commerçante physique. La France n'échappe pas à la tendance, le pays étant même le deuxième marché d'Europe après le Royaume-Uni, juste devant l'Allemagne. Face au défi posé par le dernier kilomètre dans ce contexte de multiplication des livraisons, et en période de crise sanitaire, l'automatisation des véhicules de transport fait partie des solutions envisagées.

Aujourd'hui, 52 % de la population française utilise l'internet et trois quarts des internautes l'emploient pour effectuer des achats. Ce faisant, les Français dépensent en moyenne 2 426 euros par an en ligne. La pandémie mondiale liée au coronavirus a entraîné une expansion considérable de ce type de transactions, y compris en France. Non seulement les adeptes ont accru leurs achats sur internet mais des nouveaux du e-commerce s'y sont également mis. Même si la situation de confinement a permis de reprendre le chemin des magasins, il est raisonnable de penser que les habitudes d'achat des Français ont changé de façon structurelle. Le e-commerce et les livraisons directes aux particuliers qui lui sont liées exercent une pression énorme sur la chaîne d'approvisionnement, du fait de la nature de cette activité faite de très nombreuses et très petites commandes.

Des livraisons toujours plus rapides rendent difficiles le plein emploi des véhicules et les tournées optimisées

Le dernier kilomètre de la chaîne d'approvisionnement, traditionnellement décrit comme le transport entre le dernier centre de distribution et la destination finale, est un véritable défi en raison de son coût et de certains de ses impacts sur l'environnement. Tandis que le transport de marchandises ne représente que 6 % des trajets et 9 % des distances parcourues par la route en région parisienne, il est à l'origine de 36 % du total des nuisances causées par les émissions polluantes du trafic routier. C'est le résultat combiné du fait que les véhicules légers et lourds émettent plus que les voitures particulières et que le trafic de marchandises est plus concentré dans le centre-ville que le trafic de passagers, affectant ainsi plus de population (Coulombet et al., 2018). Mais les mesures qui peuvent rendre le processus de livraison du e-commerce plus économique ou plus écologique ne peuvent, du point de vue des opérateurs (e-commerçants et leurs logisticiens) affecter la qualité de l'expérience et la satisfaction du consommateur. Des expérimentations menées en Belgique (Bubbe Rai et al., 2019), aux Pays-Bas (Nguyen et al., 2019), en Chine, en Bolivie et au Brésil (Larjevic et al., 2019) ont montré que même si le coût est le plus décisif lorsque les consommateurs choisissent une

option de livraison (c'est-à-dire livraison gratuite), la rapidité de la livraison est également un facteur de choix de plus en plus important. Aujourd'hui, beaucoup d'entre nous sont habitués à recevoir leur commande le lendemain. La livraison en quelques heures ou même la « livraison instantanée » sont de plus en plus courantes. Ces livraisons se développent particulièrement dans les zones urbaines et pour des catégories spécifiques telles que l'alimentation et les produits pharmaceutiques. « Toutes conditions égales par ailleurs, le détaillant le plus rapide est susceptible de l'emporter à long terme », explique Jonathan Reeve (2016) dans son livre « Retail's last mile : why online shopping will exceed our wildest predictions ».

Des moyens autonomes d'une grande diversité Des livraisons toujours plus rapides rendent difficiles le plein emploi des véhicules et les tournées optimisées, ce qui pèse sur les coûts et augmente les embouteillages, le bruit et la pollution atmosphérique. La flexibilité qui permet des livraisons ultra-rapides est également en conflit avec une organisation efficace du personnel de livraison. C'est pourquoi l'une des solutions aujourd'hui mises en avant pour gérer les défis du dernier kilomètre est celle des moyens autonomes. Dans le contexte de crise sanitaire, où les contacts personnels entre le livreur et le destinataire doivent être réduits au minimum par des gestes barrières, l'utilisation de véhicules autonomes a parfois été présentée comme une solution à moyen et long termes, au moins partielle. Ces moyens autonomes sont d'une très grande diversité : camions et camionnettes traditionnels mais rendus autonomes, sur le modèle des voitures autonomes ; mais aussi robots de livraison et drones. Dans tous les cas, l'automatisation « élimine » le besoin de conducteurs humains (tout en renforçant le besoin d'humains à de nombreux autres niveaux).

Les attentes à l'égard des véhicules autonomes pour le dernier kilomètre augmentent depuis des années, parfois de façon déraisonnable. Un rapport du cabinet de conseil McKinsey publié en 2015 postulait que les véhicules autonomes livreront « près de 100 % des colis aux consommateurs d'ici 2025 ». De même, des chercheurs de Fraunhofer ont prédit en 2016 que les robots autonomes pourraient effectuer 400 millions de livraisons en Allemagne d'ici 2030. En 2020, ces prévisions audacieuses semblaient très optimistes, mais elles s'expliquent



Drone Zipline sur sa base de lancement.

par les avantages théoriques des véhicules autonomes. Ceux-ci sont efficaces : ils permettent un meilleur chargement des véhicules, un routage flexible et une disponibilité 24/7. Ils sont durables, car ils nécessitent moins de véhicules pour le même nombre d'opérations de livraison et permettent une électrification à grande échelle. Et ils sont sécurisés et permettent d'éviter les obstacles en surveillant toutes les conditions environnementales de manière autonome et continue. Malgré les inquiétudes sur des expériences de tests qui ont mal tourné, les véhicules autonomes peuvent réduire ou éliminer l'erreur humaine qui est à l'origine de 90 % des accidents de véhicules et donc ont globalement un impact positif sur la sécurité routière.

Les drones prioritairement pour les zones rurales

Les véhicules autonomes peuvent également réduire, théoriquement, les coûts des livraisons du e-commerce. Des simulations récentes de Aurambout et al. (2019) ; Jennings & Figliozzi (2020) ainsi qu'une étude de McKinsey (2015) semblent en effet le démontrer. Bien que les coûts actuels de la technologie autonome soient élevés, le cabinet de conseil estime que l'utilisation de véhicules autonomes peut réduire les coûts de livraison dans les villes d'environ 10 % à 40 %. Une réduction importante qui est principalement attribuée aux coûts de personnel. A mesure que le coût salarial augmente, la technologie devient relativement plus abordable, ce qui accélère la transition vers l'automatisation.

Plusieurs start-up ont identifié les multiples problèmes liés aux livraisons du dernier kilomètre et ont investi dans ce domaine. De ce fait, l'automatisation a connu une évolution considérable. Aujourd'hui, ces types d'innovation regroupent hors des entreprises et ils occupent le ciel, les rues et les trottoirs des quartiers de villes. Certains sont toujours en phase de test,

tandis que d'autres sont déjà commercialisés et exploités afin d'acheminer les livraisons du dernier kilomètre. Différents types de véhicules avec des niveaux d'automatisation et d'infrastructures différentes peuvent être utilisés : des véhicules aériens autonomes ou des « drones », des robots semi-autonomes ou autonomes sur trottoir, des robots encore plus grands sur route et enfin des camions ou camionnettes autonomes. Chacun de ces types de véhicules circule dans des zones différentes selon la densité et les différentes réglementations.

Les attentes à l'égard des véhicules autonomes pour le dernier kilomètre augmentent depuis des années, parfois de façon déraisonnable

La majorité des tests sur les drones ont été effectués en zone rurale, ils sont identifiés comme une option de livraison aéroportée pour les basses de moins de 50 000 habitants (Jones et al., 2016). Ce mode est moins contraignant en termes de mouvement que les autres véhicules, ce qui permet d'effectuer des livraisons dans des zones en manque d'infrastructures, dans des zones inaccessibles ou dans des pays peu développés. Grâce à leur rapidité ils sont souvent utilisés pour la livraison de fournitures médicales. La société Américaine Zipline se concentre sur la création de dispositifs médicaux et a intégré l'utilisation de drones dans des pays d'Afrique tels que le Ghana, le Rwanda et la Tanzanie, ce qui en fait l'une des sociétés les plus importantes au monde pour le transport de médicaments et de produits sanguins (Walker Rouaud, 2017). La Poste suisse transporte des échantillons de laboratoire par drone vers les hôpitaux de Zurich, Bern, Lugano grâce à un drone conçu par Matternet. En pleine crise sanitaire ils ont été une solution rapide pour transporter les tests vers les hôpitaux.

Annexe 2

Entreprise	Origine	Activité	Année de fondation	Type de robot	Niveau d'autonomie	Année de lancement du projet	Phase du projet	Pays d'opération	Type de livraisons	Marques partenaires	Capacité de charge	Vitesse	Energie utilisée	coût de livraison	Coût du robot	Levées de fond	Investisseurs	Communication	Images
Starship Technologies	Estonie	Startup spécialisée en conception de robots de livraison	2014	Robot terrestre sur trottoir à 6 roues	semi autonomes (surveillés par téléopérateurs)	2016	en opération	USA, Royaume Uni, Espagne, Suisse, Allemagne	Livraison de repas prêts, Produits d'épicerie, Collis	Just Eat, Hermes, Metro Group, Swiss Post, Wolf, Sodexo, Onip, Tiscali, DoorDash	Maximum de capacité de charge 10 kg de courses 1 compartiment	Vitesse maximum 15km/h Vitesse d'opération : 6km/h	Batterie Electrique	1,995	55005	82,2M\$	17	-	
Kiva/Campus	Colombie	Startup spécialisée en conception de robots de livraison	2016	Robot terrestre sur trottoir à 4 roues	semi autonomes (surveillés par téléopérateurs)	2017	En test	USA, Colombie, Taiwan	Livraison de repas prêts	Shopyfy, Ordermark, DoorDash	Capacité de charge 4-5 repas 1 compartiment	6 km/h	Batterie Electrique	KivaPrime: le coût mensuel de l'abonnement est de 14,99 USD	-	4 million \$	-	-	
Marathon Targets Australia Post	Australie	Concepteur de robots militeirs/ service postal	2007	Robot terrestre sur trottoir à 4 roues	Semi autonomes	2017	testé en 2017	Australie	Livraison de colis	Australia poste	1 compartiment + 1 colis	6km/h	Batterie Electrique	-	-	-	-	-	
Marble (Cat robotics)	Etats-Unis	Startup spécialisée en conception de robots	2016	Robot terrestre sur trottoir à 4 roues	semi autonomes (surveillés par téléopérateurs)	2017	En test	USA	Livraison de repas prêts, Produits d'épicerie	Yelp Eat24, DoorDash	1 compartiment	6km/h	Batterie Electrique	-	-	10M \$	22	-	
Fedex	Etats-Unis	entreprise de livraison et de colis express	-	SammyBot	semi autonomes (surveillés par téléopérateurs)	2019	En test	USA	Repas prêts, produits d'épicerie, colis	Autobots, Lowri's, Pizza Hut, Target, Walgreens, Walmart	1 compartiment	6 km/h	Batterie Electrique	-	-	-	-	-	
Postmates	Etats-Unis	entreprise de livraison de nourriture à domicile	2011	Robot terrestre sur trottoir à 4 roues	semi autonomes (surveillés par téléopérateurs)	2019	En test	USA	Repas prêts	-	1 compartiment Capacité de charge 22 kg	4km/h	Batterie Electrique	-	-	930M\$	34	un bouton "Aide", un écran tactile et un écran de chat vidéo que les clients ou les passants peuvent utiliser pour demander de l'aide.	
Elipost	Espagne	Concepteur de robots de livraison	2017	Robot terrestre sur trottoir à 4 roues	semi autonomes (surveillés par téléopérateurs)	en projet	Phase de conception	Espagne	Repas prêts, produits d'épicerie, colis	-	1compartiment Capacité de charge 30,4 kg	-	Batterie Electrique	-	-	126,6K	3	-	
Robby technology x PopsyCo	Etats-Unis	Concepteur de robots de livraison	2016	Robot terrestre sur trottoir à 4 roues	semi autonome (surveillés par téléopérateurs)	2016	En test	USA	Repas prêts, produits d'épicerie	PopsyCo, DoorDash, restaurant, Postmates	1 compartiment	6 km/h	Batterie Electrique	-	-	5,5 M\$	12	-	
ZMP	Japon	concepteur de solutions robotique	2001	Robot terrestre sur trottoir à 4 roues	semi autonomes (surveillés par téléopérateurs)	2020	En test	Japon	repas prêts	-	1 à 8 compartiments, capacité de charge jusqu'à 50 kg	7m/h	Batterie electrique	-	-	2,5B	18	différentes couleurs, voie de manger japonais, tablette d'interaction	
TwinsWai	France	concepteur de solutions robotiques pour le livraison	2016	Robot terrestre sur trottoir à 6 roues	robots autonomes / robots suivis	2018	en test	France	colis, courses	La poste, Sfr	de 40 à 300 kg (selon le modèle)	6 km/h	Batterie electrique	-	-	-	-	-	
Dispatch	Etats-Unis	Plate-forme logicielle d'aide pour les entreprises	2011	Robot terrestre sur trottoir à 4 roues	semi autonomes (surveillés par téléopérateurs)	2017	en test	USA	repas prêts produits d'épicerie	-	4 compartiment capacité de charge 45 kg	6 km/h	Batterie electrique	-	-	118.1M	12	tablette de communication avec les consommateurs	
Amazon	Etats-Unis	E-commerceant	2003	Robot terrestre sur trottoir à 6 roues	semi autonomes (surveillés par téléopérateurs)	2019	En test	USA	colis	Amazon	1 compartiment	5 km/h	Batterie Electrique	-	-	-	-	-	
Zhen Robotics	China	Concepteur solutions robotique pour la livraison	2016	Robot terrestre sur trottoir à 6 roues	semi autonomes (surveillés par téléopérateurs)	2018	En test	Chine	snacks	suning.com	1 compartiment capacité de charge 40 kg	3 km/h - 10km/h	Batterie Electrique	-	-	2,9M \$	3	-	
Yandex-Rover	Russie	concepteur de véhicule autonome appartenant à société technologique multinationale Yandex	1997	Robot terrestre sur trottoir à 6 roues	semi autonomes (surveillés par téléopérateurs)	2019	Phase test	Russie	Document et colis	-	1 compartiment	6km/h	Batterie Electrique	-	-	150 M \$	1	-	
Cyan	Etats-Unis	Concepteur de robots de livraison	2019	Robot terrestre sur trottoir à 6 roues	semi autonomes (surveillés par téléopérateurs)	2020	Phase test	USA	produits d'épicerie	-	1 compartiment	6km/h	Batterie Electrique	15	-	-	-	-	
HelloWorld robotics	Malaisie	Concepteur de robots logistique	2018	Robot terrestre sur trottoir à 4 roues	semi autonomes (surveillés par téléopérateurs)	2019	Phase test	Singapour, Malaisie	repas prêts	-	1 compartiment capacité de charge 15 à 20 kg	6 km/h	Batterie Electrique	-	-	-	-	-	
Huggo delivery AB	Suède	Concepteur de robots de livraison	2019	Robot terrestre sur trottoir à 6 roues	semi autonomes (surveillés par téléopérateurs)	2020	Phase test	Suède	Colis	-	1 compartiment capacité de charge 100 kg	8km/h	Batterie electrique	-	-	-	-	-	
Robots	Corée du sud	concepteur de solutions robotique	1999	Robot terrestre sur trottoir à 6 roues	semi autonomes (surveillés par téléopérateurs)	2020	Phase test	Corée du sud	Repas prêts, courses alimentaires	-	1 compartiment	6 km/h	Batterie electrique	-	-	-	-	-	
Effidence	France	concepteur de solutions robotique	2009	Robot terrestre sur trottoir à 4 roues	Robots semi autonomes / robots suivis	2016	Phase test	France, Allemagne	Colis	La poste, DHL	1 compartiment, capacité de charge jusqu'à 300 kg	Jusqu'à 7km/h	Batterie electrique	-	-	-	1	Ecran tactile pour interface humaine-machine	
Woowa Brothers	Corée du sud	entreprise de livraison de nourriture à domicile	2011	Robot terrestre sur trottoir à 6 roues	semi autonomes (surveillés par téléopérateurs)	2020	Phase test	Corée du sud	Repas prêts	Bemin	Jusqu'à 6 boîtes à repas	4 à 5 km/h	Batterie electrique	-	-	548,8M	11	-	
Strella Robotics	France	concepteur de solutions robotiques	1980	Robot terrestre sur trottoir à 4 roues	Robots semi autonomes / robots suivis	-	Phase conception	France	Colis, courses alimentaires, produits pharmaceutiques	La poste	2 compartiment, capacité de charge jusqu'à 120 kg	6 km/h	Batterie electrique	-	-	-	-	-	
Final Aim X OTSWA	Singapour	concepteur de solutions robotique	-	Robot terrestre sur trottoir à 4 roues	semi autonomes (surveillés par téléopérateurs)	2020	Phase conception	Singapour	-	-	1 compartiment	6 km/h	Batterie Electrique	-	-	-	-	Ecran tactile pour interface humaine-machine	
Piaggio Fast Forward	Italie	Concepteur de solutions robotiques	2015	Robot terrestre sur trottoir à deux roues	Robot semi autonome/ follower	-	Phase commercialisation	Etats-Unis	Courses	-	1 compartiments	6 km/h	Batterie Electrique	-	-	53,250	-	-	
Agility robotics	Etats-Unis	Concepteur de solutions robotiques	2015	Robot terrestre sur trottoir bipède	Autonome	2019	Phase test	Etats-Unis	Colis	Ford	Seu bras peuvent porter jusqu'à 18 kg	-	Batterie Electrique	-	-	28,8 M \$	8	-	
Dominos X Marathon	Australie	Chaîne de pizza X concepteur de robotique	-	Robot terrestre sur trottoir à 4 roues	Robots semi autonomes	2016	Phase test	Australie	repas prêts	Dominos	1 compartiment	6 km/h	Batterie Electrique	-	-	-	-	-	
Isuldon	Japon	E-commerceant	-	Robots terrestres sur zone piétonne	Niveau 4	2019	Phase test	Japon	Colis	Selyu Livin Yokosuka	-	-	Batterie Electrique	-	-	-	-	-	
HiRobot	Japon	Concepteur de solutions robotiques	2018	Robot terrestre sur trottoir à 4 roues	Robots semi autonomes	2019	Phase test	Japon	-	-	-	6 km/h	Batterie Electrique	-	-	-	-	-	
Segway Ninebot	China	Concepteur de solutions robotiques	2015	Robot terrestre sur trottoir à 4 roues	Robots semi autonomes	2019	Phase test	Chine	-	-	2-34 compartiments	6 km/h	Batterie Electrique	-	-	167,8M	3	-	
TinyMile.ai	Canada	Concepteur de solutions robotiques	2019	Robot terrestre sur trottoir à 4 roues	Robots semi autonomes (surveillés par téléopérateurs)	2020	Phase test	Canada	repas prêts	foodora	0 compartiment capacité de charge 2,7 kg	5 km/h	Batterie Electrique	-	-	-	2	-	

Nuro		Concepteur de solution robotique de livraison	2016	Robots terrestres sur route	Niveau 4	2019	Phase test	Etats-Unis	Repas prêts, Courses alimentaires, Médicaments	Kroger, CVS	190 kg	40 km/h	Batterie Electrique	-	-	1,5 B \$	7	-	
Neolix		Concepteur de solutions robotiques	2014	Robots terrestres sur route	Niveau 4	2019	Phase de commercialisation	Chine, suisse, Dubai	colis	JD.com, Alibaba, Huawei, Noon	17 compartiments	50 km/h	Batterie Electrique	-	\$30,000	CNY300M	5	Tablette tactile d'interaction	
JD.com		E-commerçant	2014	Robots terrestres sur route	Niveau 4	2018	Phase test	Chine	colis	JD.com	Jusqu'à 30 colis	40 km/h	Batterie Electrique	-	-	-	-	-	
Autonomi Téléreuil		Développeur de logiciels de pilotage automatique pour véhicules autonomes	2012	Robots terrestres sur route	Niveau 4	2017	Phase test	Suisse, Etats-Unis, Espagne	-	CocaCola, thyssenKrupp Elevator	35 kg	-	Batterie Electrique	-	-	\$1.1M	7	-	
AutoX		developeur de vehicules autonomes de livraison	2016	Vehicule autonome de livraison sur route	Niveau 3	2019	Phase test	Etats Unis	Courses	GrabMartlet.com, DuMartini Orchard	-	-	Batterie Electrique	-	-	\$160.1M	8	-	
Libeiv		developeur de vehicules autonomes de livraison	2016	Vehicule autonome de livraison sur route	Niveau 4	2018	Phase test	Etats Unis	Colis	Walmart	362 kg	96 km/h	Batterie Electrique	-	-	-	1	-	
Waymo		developeur de vehicules autonomes	2009	Vehicule autonome de livraison sur route	Niveau 4	2020	Phase test	Etats Unis	Colis, repas prêts, courses alimentaires	UPS, Walmart	-	40 km/h	Batterie Electrique	-	-	3 B \$	11	-	
Oxbotica		developeur de logiciels de conduite autonome	2014	Vehicule autonome de livraison sur route	Niveau 4	2017	Phase test	royume uni	courses alimentaire	Ocado	80 boites	-	Batterie Electrique	-	-	22,6 M €	3	-	
Refraction AI		Concepteur de robots autonomes de livraison	2017	Robot terrestre de livraison sur route et sur piste cyclable	Niveau 3	2019	Phase test	Etats Unis	repas prêts, courses alimentaires	restaurants locaux	5 sac de courses	24 km/h	Batterie Electrique	-	\$5,000	-	-	-	
Cleveron		Concepteur de robots autonomes de livraison	2007	Robot terrestre de livraison sur route	Niveau 4	en projet	Phase conception	-	Colis	-	-	-	Batterie Electrique	-	-	2,3 M\$	2	-	
Unity Drive Innovation Technology (UDI)		concepteur de solutions robotiques	2017	Robot terrestre de livraison sur route	Niveau 4	2019	phase test	Chine	colis	-	1000 kg	30 km/h	Batterie Electrique	-	-	428 475 \$	1	Tablette tactile d'interaction	
Valco		équipementier automobile Français	1923	Robot terrestre de livraison sur route	Niveau 4	En projet	En projet	Chine	colis	Meluan	jusqu'à 17 repas	12km/h	Batterie Electrique	-	-	-	-	-	
Academy of Robotics Ltd		Institut technologique	2016	Robot terrestre de livraison sur route	Niveau 4	2017	Phase test	royume uni	-	-	-	-	Batterie Electrique	-	-	-	-	-	
Robomart		Boutique mobile à la demande	2017	Robots terrestres sur route	Niveau 4	2020	En projet	Etats-Unis	produits d'épicerie	-	-	-	Batterie Electrique	-	-	-	13	Tablette tactile d'interaction	

Zipline		Concepteur de drones de livraison	2011	Vehicule aérien	Autonomes	2016	Phase opération	Etats Unis, Ghana, Tanzanie, Rwanda	Medicaments	Hopitiaux et laboratoires médicaux	1.75 kg	100 km/h	Batterie Electrique	-	-	\$233M	31	-	
Amazon prime Air		E-commerce	2016	Vehicule aérien	Autonomes	2016	Phase test	Etats Unis, Royaume Uni	Colis	Amazon	2,2 kg	80,5 km/h	Batterie Electrique	-	-	-	-	-	
Mazda		Concepteur de drones de livraison	2018	Vehicule aérien	Autonomes	2020	Phase test	Irlande	courses, repas	Tesco	2kg	80 km/h	Batterie Electrique	-	-	\$5.2M	7	-	
Rakuten		E-commerce		Vehicule aérien	Autonomes	2016	Phase test	Japon	courses	Selvy UWIN	2kg	-	Batterie Electrique	-	-	-	-	-	
JD.com Drone delivery program		E-commerce	2015	Vehicule aérien	Autonomes	2016	Phase test	Chine	Colis	JD.com	Jusqu'à 12 kg (selon modèle)	Jusqu'à 100 km/h	Batterie Electrique	-	-	-	-	-	
Flytrex		Concepteur de drones de livraison	2013	Vehicule aérien	Autonomes	2017	Phase test	Islande, USA	Nourriture, colis	AHA, King's Walk Golf	Jusqu'à 3 kg	51 km/h	Batterie Electrique	-	-	\$11M	7	-	
Wings		concepteur de drones	2012	Vehicule aérien	Autonomes	2014	Phase test	Australie, Etats-Unis, Finlande	Nourriture, colis, tires	Extraction Artisan Coffee, Friendly Grace, Christmas, Browns Plains Hardware, Walgreens	1,5 kg	113 km/h	Batterie Electrique	-	-	-	-	-	
Dang & DHL		entreprise technologique axée sur le R&D et la production dans le domaine des avions et des aéronefs.	2014	Vehicule aérien	Autonomes	2019	Phase test	Chine	Colis	DHL	5kg	80 km/h	Batterie Electrique	-	-	\$92M	8	-	
Firray		Concepteur de drones de livraison	2013	Vehicule aérien	Autonomes	2019	Phase test	Nouvelle Zélande, Australie, Etats-Unis	colis, nourriture, médicaments	Dominio's, 7 Eleven	-	-	Batterie Electrique	-	-	\$16.2M	25	-	
Libor		developpeur d'application de partage de mobilité	2009	Vehicule aérien	Autonomes	2019	Phase test	Etats-unis	Repas prêts	-	-	48 km/h	Batterie Electrique	-	-	\$25.28	108	-	
Matternet		Concepteur de drones	2011	Vehicule aérien	Autonomes	2015	Phase test	suisse, Etats-unis	Medicament, colis	UPS, suisse post	2kg	-	Batterie Electrique	-	\$5000-7500	\$31.1M	17	-	
Terra drone		Concepteur de drones	2016	Vehicule aérien	Autonomes	2020	Phase test	Chine, Etats-Unis	Medicament, glucose	Unilever	2kg	-	Batterie Electrique	-	-	-	-	-	
Air Marine		Concepteur de drones	1991	Vehicule aérien	Autonomes	2017	Phase test	France	colis	Coliscount	-	-	Batterie Electrique	-	-	-	-	-	
Aschy		Concepteur de drones	2008	Vehicule aérien	Autonomes	2016	Phase test	France	colis	DPD	2kg	15 km/h	Batterie Electrique	-	-	-	-	-	
Volocopter		Concepteur de drones	2011	Vehicule aérien	Autonomes	2019	Phase test	Allemagne	-	DeShairker	200 kg	-	Batterie Electrique	-	-	€118.2M	10	-	
Drone delivery Canada		Concepteur de drones	2014	Vehicule aérien	Autonomes	2019	Phase test	Canada	Colis, médicament s	-	4,5 kg	80 km/h	Batterie Electrique	-	-	\$13.7M	-	-	

Annexe 3



Dans le cadre d'un travail de recherche, l'enquête ci-dessous vise à étudier l'impact de la crise sanitaire sur l'intérêt porté aux **robots/drones de livraison des derniers kilomètres**.

En pleine crise du Covid 19, plusieurs robots livreurs ont été déployés dans le monde. Des robots de Starship technologies ont été utilisés aux Etats Unis et au Royaume Uni. En Chine, des robots et drones de JD (un grand e-commerçant) ont circulé pendant toute la crise dans les villes pour livrer, et assurer une continuité des services logistiques. Les robots Kiwibot sont testés par la start-up Rappi depuis le mois de février dans les rues de Medellin en Colombie.

Qu'en est-il de la France ?

- 1) Quel type d'entreprise êtes-vous ?
 - Grand groupe de transport et de logistique
 - Petite ou moyenne entreprise
- 2) L'activité de livraison en ville :
 - Fait partie de vos fonctions
 - Vous sous-traitez cette fonction
 - Vous faites les deux
- 3) Quel type de marchandise transportez-vous habituellement ?
 - Colis
 - Repas
 - Alimentaire
 - Médicaments
 - Autre
- 4) Quel type d'automatisation avez-vous déjà adopté dans votre exploitation ? (Plusieurs réponses possibles)
 - Robots en entrepôts
 - Robots de livraison
 - Drones de livraison

Aucun

5) **Pour les livraisons en ville**, comment pouvez-vous décrire votre niveau d'intérêt en matière d'automatisation (hors entrepôt) ? (Une seule réponse)

- Aucun
- Intérêt moyen : j'explore quelques possibilités
- Intérêt élevé : j'ai déjà commencé à évaluer cette possibilité.
- Intérêt concret : stratégie prioritaire, avec des investissements en cours.

6) En ce qui concerne les robots/drones de livraison, quels sont selon vous les bénéfices potentiels pour la livraison des derniers kilomètres ? (Plusieurs réponses possibles)

- Les coûts de livraison diminuent
- Les horaires de livraisons sont plus flexibles
- Ce mode est plus respectueux de l'environnement
- Les livraisons sont plus rapides
- Les nécessités sanitaires sont mieux respectées
- Autre

7) Quels sont selon vous les plus grands **obstacles** à la mise en place de **robots/drones** de livraisons ? (Plusieurs réponses possibles)

- Coût d'acquisition
- Coût de maintenance
- Coût d'infrastructures en ville
- Un aménagement urbain non adéquat
- Une législation floue dans ce domaine
- Difficulté d'obtention d'autorisation en ville
- Une nouvelle culture à faire accepter par les consommateurs
- Un risque social : peut conduire à plus de chômage dans le secteur
- Un risque politique : peut conduire à une opposition de l'opinion publique
- Exige une main d'œuvre technique qualifiée
- Autre

8) Pour votre exploitation en particulier, pensez-vous qu'une flotte de **robots/drones** de livraison aurait amélioré les conditions de livraison pendant la crise du covid/confinement ?

Oui

Non

9) Indépendamment des coûts, pendant la crise sanitaire et le confinement, quelles difficultés concrètes les **robots/drones** auraient-ils pu résoudre ? (Plusieurs réponses possibles)

- Répondre à la demande : les livraisons étaient en hausse, les points-relais étaient fermés et les robots auraient pu compléter l'offre de livraison
- Assurer la sécurité sanitaire des livraisons : un processus de livraison sans contact qui rassure les consommateurs
- Une occasion de tester des engins alors que la voirie était bien plus disponible que d'habitude
- La flexibilité de pouvoir compenser la main d'œuvre lorsqu'elle manquait
- Autre

10) Quels sont les robots que vous estimez les plus prometteurs pour la livraison urbaine :

- Les drones
- Les robots autonomes de livraison sur rue (type Nuro)
- Les robots autonomes de livraison sur trottoir (type Starship)
- Les robots autonomes de livraison sur voie cyclable (type REV-1)
- Les robots accompagnateurs des livreurs (qui portent les colis)
- Aucun

11) Dans quels domaines les robots pourraient-ils être les plus efficaces ?

- Livraison de colis
- Livraison de médicaments
- Livraison de repas
- Livraison de courses alimentaires
- Autre (lesquels)

12) Dans quels domaines les drones pourraient-ils être plus efficaces ?

- Livraison de colis
- Livraison de médicaments
- Livraison de repas
- Livraison de courses alimentaires
- Autre (lesquels)

13) Quand pensez-vous que la livraison du dernier kilomètre inclura les robots/drones (une seule réponse)

- Oui et à court terme (dans un an, on verra déjà quelques expériences significatives)
- Oui mais plutôt à moyen terme (dans 4 ans, on en verra quelques-uns dans les rues)
- Oui mais à long terme et ça va être compliqué en termes de réglementation
- Jamais, ça restera trop cher, compliqué ou interdit.

14) Si vous avez répondu oui, quel pourcentage de colis ou de livraisons pourrait être remplacé par ce type de livraison dans dix ans ?

0 à 5%

5 à 25%

25 à 50%

Plus de 50%

À la fin de l'enquête, si l'entreprise est impliquée dans ce domaine, et porte un intérêt particulier à ces livraisons, si possible de laisser une adresse de contact pour un éventuelle entretien plus approfondi ?

Annexe 4

Guide d'entretien pour entreprises de transport et de livraison ayant déjà testé un véhicule de livraison autonome

Sujet : véhicules autonomes de livraison de marchandises en ville

Introduction :

Nous vous remercions de me recevoir aujourd'hui et de me consacrer de votre temps. En quelques mots, l'entretien d'aujourd'hui fait partie d'un travail de recherche de fins d'études, étudiante à l'Ecole des Ponts Paris Tech, actuellement en stage au laboratoire Ville mobilité et transport et l'Institut Ville en Mouvement (VEDECOM). Mon travail de recherche porte sur les nouvelles innovations dans le cadre de la logistique et des livraisons en ville, Robots & drones autonomes et semi-autonomes. A travers cette recherche nous cherchons à faire un état des lieux de ces innovations dans le monde une typologie, mais aussi nous voulons connaître la position de la France par rapport à ces technologies et quel a été l'impact de la crise sanitaire sur l'évolution de ce phénomène, a elle était un accélérateur ?

Cet entretien nous aidera à connaître votre position autant qu'acteur sur ce marché en pleine croissance dans le monde, vos avis et pressentis sur l'évolution de ces technologies. Bien entendu, tout ce qui sera dit au cours de cet entretien restera confidentiel.

Questions :

- Comment voyez-vous la livraison des derniers kilomètres en France ?
- Selon vous quels sont les problèmes auxquels fait face ce domaine ?
- Quel est votre perception du véhicule autonome de livraison ?
- Selon vous quel type de VAL est plus avantageux en termes de livraisons en France ? Pourquoi ce choix ?
- Pour quel type de marché pensez-vous que les VAL seraient le plus utiles ?
- Pour les livraisons en ville, comment pouvez-vous décrire votre niveau d'intérêt en matière d'automatisation ?
- En ce qui concerne les robots/drones de livraison, quels sont selon vous les bénéfices potentiels pour la livraison des derniers kilomètres qu'est-ce qu'ils pourraient apporter de plus ?
- Quels sont les différents types d'automatisation que vous avez déjà testés ?
- Pensez-vous que le robot du type *follow* apportera quelque chose ? pourquoi investir autant de technologie dans un robot qui n'est pas vraiment autonome ? qu'est-ce qu'il vous apporte à vous autant qu'entreprise de livraison ?
- Quels ont été vos premiers résultats de test de ces robots ?

- dans quels environnements urbains pensez-vous déployer des robots autonomes ? pensez-vous que l'aménagement des villes française le permettra ?
- En termes de coûts avez-vous fait une estimation de ce que pourraient apporter ces drones de livraison ?
- Que pensez-vous de la réglementation actuelle sur les robots autonomes ? serait-elle un obstacle pour leur exploitation ?
- Que pensez-vous de l'impact de la crise actuel sur les livraisons ?
- Pour votre exploitation en particulier, pensez-vous qu'une flotte de robots/drones de livraison serait en capacité de mieux s'adapter à une situation de crise et améliorer les conditions de livraison ?
- Indépendamment des coûts, pendant la crise sanitaire et le confinement, quelles difficultés concrètes les robots/drones auraient-ils pu résoudre ?
- On a vu plusieurs startups dans le monde qui ont saisi l'occasion pour déployer leurs robots/drones, avez-vous fait ça ou penser à faire ça
- Si non qu'est-ce qui vous en a empêché ?
- Si vous avez répondu oui, quel pourcentage de colis ou de livraisons pourrait être remplacé par ce type de livraison dans dix ans ?
- Quand pensez-vous que la livraison du dernier km inclura des robots autonomes ?

Annexe 5

Guide d'entretien pour startups

Sujet : véhicules autonomes de livraison de marchandises en ville

Introduction :

Nous vous remercions de me recevoir aujourd'hui et de me consacrer de votre temps. En quelques mots, l'entretien d'aujourd'hui fait partie d'un travail de recherche de fins d'études, étudiante à l'Ecole des Ponts Paris Tech, actuellement en stage au laboratoire Ville mobilité et transport et l'Institut Ville en Mouvement (VEDECOM). Mon travail de recherche porte sur les nouvelles innovations dans le cadre de la logistique et des livraisons en ville, Robots & drones autonomes et semi-autonomes. A travers cette recherche nous cherchons à faire un état des lieux de ces innovations dans le monde une typologie, mais aussi nous voulons connaître la position de la France par rapport à ces technologies et quel a été l'impact de la crise sanitaire sur l'évolution de ce phénomène, a elle était un accélérateur ?

Cet entretien nous aidera à connaître votre position autant qu'acteur sur ce marché en pleine croissance dans le monde, vos avis et pressentis sur l'évolution de ces technologies. Bien entendu, tout ce qui sera dit au cour de cet entretien restera confidentiel.

Thématiques :

- 1) **Questions générales : Retour sur concepts clés**
- 2) **Conception et produit en lui-même**
- 3) **Règlementation**
- 4) **Investisseurs prestataires**
- 5) **Lieux et infrastructures**
- 6) **Contexte actuel situation de crise**

Startups Française à Interroger idéalement :

Thématique	Questions
Contexte Générale : Retours sur concepts clés	<ul style="list-style-type: none">- Quel est votre perception du véhicule autonome de livraison ?- Selon vous quel type de VAL est plus avantageux en termes de livraisons en France ? Pourquoi ce choix ?- Que pensez-vous du marché de l'automatisation en France ?- Quel type de robots concevez-vous ?

<p>Conception : produit en lui-même</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Quel est la position de votre entreprise sur le marché ? - En quelle phase est votre produit ? pourriez-vous nous en dire plus sur les résultats de la phase test (si déjà fait) ? - Dans quelles zones imaginez-vous votre robot livrer ? - Pour quels types de livraisons est conçu votre robot ? - En termes de coûts, pensez-vous que votre conception soit accessible ? <p>Pensez-vous assurer la maintenance de ces robots/drones ?</p>
<p>Réglementation</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Que pensez-vous de la réglementation actuelle sur les robots de livraison ? - Avez-vous eu des difficultés à avoir des autorisations pour tester vos robots ? - Quelles sont les limites en terme de vitesse, poids auxquels vous êtes soumis ? - Quels sont les barrières en matière de réglementations qui pourrait freiner la croissance de ce marché ?
<p>Lieux et aménagement</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Pensez-vous que l'infrastructure actuelle est adéquate au fonctionnement de vos robots de livraison ? - Comment voyez-vous l'organisation d'une chaîne logistique intégrant ces robots ? - Que pensez-vous de la combinaison Van X robots ? - Quels sont les obstacles en termes d'infrastructures auxquels vous faites face ? - On voit que plusieurs startups dans le monde déploient leurs robots/drones dans des campus universitaires, pensez-vous que cette expérience pourrait être intéressante en France ?
<p>Investissements prestataire /</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Avez-vous eu des propositions de collaboration avec d'autre entreprises dans le domaine ? - Y'a-t-il des investisseurs intéressés par votre mode de livraison ? - Des entreprises de livraison qui ont exprimés un intérêt pour ces mode de livraison ? sentez-vous que l'automatisation fera partie du future de la livraison ?(long, moyen, court terme)
<p>Contexte actuel : situation de crise</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Que pensez-vous de l'impact de la crise actuel sur les livraisons ? - On a vu plusieurs startups dans le monde qui ont saisi l'occasion pour déployer leurs robots/drones, avez-vous fait ça ou penser à faire ça ? - Si non qu'est-ce qui vous en a empêché ?

	<ul style="list-style-type: none">- Que pensez-vous que votre conception aurait apporté à la logistique en temps de crise ?- On a vu qu'il y a eu un d'intérêt pour ce mode de livraison pendant la crise et après avez-vous remarqué ça pour votre cas ? levées de fond, intérêt ? y a t'il eu un avant et après crise ?- Quand-est ce que pensez-vous que les robots/ drones pourront être utilisés ? pensez-vous que cette crise aurait accélérer et rapprocher ce moment ?
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------