HAL
open science

Simulation de l'utilisation des aires de livraisons en ville par la méthode de Monte-Carlo

Arthur Gaudron, Simon Tamayo, Arnaud de La Fortelle

To cite this version:

Arthur Gaudron, Simon Tamayo, Arnaud de La Fortelle. Simulation de l'utilisation des aires de livraisons en ville par la méthode de Monte-Carlo. ATEC - Les rencontres de la mobilité intelligente 2018, Jan 2018, Paris, France. hal-01980261

HAL Id: hal-01980261

https://minesparis-psl.hal.science/hal-01980261v1

Submitted on 14 Jan 2019

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

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

Les rencontres de la mobilité intelligente 2018

24-25 Janvier 2018, Paris

Simulation de l'utilisation des aires de livraisons en ville par la méthode de Monte-Carlo

Arthur GAUDRON*, Simon TAMAYO, Arnaud de LA FORTELLE

Centre de Robotique, MINES ParisTech, PSL Research University
60 Bd. St Michel 75006 Paris, France

Résumé

Cette étude propose une méthode de simulation pour estimer le stationnement illégal occasionné par les livraisons en ville. Une méthode de Monte-Carlo est proposée pour représenter le comportement stochastique des livraisons durant une journée. L'objectif est d'estimer l'utilisation de l'infrastructure commune –les aires de livraison – en fonction des différents besoins de la ville et en identifiant des phénomènes de saturation. D'une part, ces besoins diffèrent temporellement, par exemple, la livraison d'une boulangerie est effectuée très tôt le matin. D'autre part, la taille des flux est différente selon le type d'entreprise ou de commerce, par exemple, un hôtel peut recevoir trois livraisons par jour (blanchisserie, restauration, bar). La saturation des aires de livraison a des conséquences négatives pour la ville en augmentant le stationnement illégal : sécurité routière (pour le livreur et les autres usagers), congestion et perte de productivité pour les entreprises. L'étude propose une étude de cas dans une zone autour de la rue de Rennes à Paris. Les résultats montrent que la prise en compte de la dimension temporelle des flux, et pas seulement de leur taille, est un facteur important pour la localisation des aires de livraison en ville.

Mots clefs: logistique urbaine, aire de livraison, stationnement illégal, Monte-Carlo

I. Introduction

Les aires de livraison en ville visent à faciliter les opérations logistiques tout en diminuant les externalités négatives comme le stationnement illégal. Ces aires offrent aux transporteurs un gain de temps, ils peuvent se garer proche du point de livraison. C'est aussi un gain de sécurité, pour eux-mêmes et les autres usagers, en effectuant les opérations dans une zone dédiée. Dans la pratique, les livraisons se font souvent en stationnement illégal et les villes ont des difficultés pour apporter des mesures appropriées, notamment en raison de l'absence des données et de modèles associés.

L'enquête sur le fret urbain en région parisienne [1] a montré que « plus de 50% des livraisons ont été effectuées avec un véhicule en double stationnement et plus de 60% avec un véhicule stationné illégalement ». Dans la plupart des cas, si une livraison arrive à son point de livraison et qu'une aire n'est pas disponible, le véhicule se gare illégalement (double stationnement, blocage d'un passage pour piétons, stationnement sur le trottoir.) Ce comportement a un impact sur la mobilité [2] et la sécurité routière

des autres usagers, c'est pourquoi l'emplacement des aires de livraison est un sujet important de la logistique urbaine.

Les aires de livraison et les parkings résidentiels se disputent le même espace, les villes doivent opérer des arbitrages entre les opérations logistiques et le maintien d'une qualité de vie élevée pour les résidents. En réalité, le choix est plus compliqué, car si la ville choisit de privilégier les résidents en maximisant le nombre de stationnements résidentiels, la plupart des livraisons entraîneraient généralement un stationnement illégal. Cela aura une incidence sur la qualité de vie des résidents en termes de congestion et/ou de sécurité.

Une revue sur la littérature traitant des aires de livraison a été réalisée par Abreu et al. [3], celle-ci met en évidence trois facteurs ayant un impact sur l'efficacité des aires : (1) le manque d'aires; (2) une configuration spatiale inadéquate, par exemple, une localisation ou des dimensions inappropriées; et (3) l'absence de surveillance des aires de livraison favorisant les abus (p. ex. utilisation pour le stationnement et non une opération logistique).

En 2009, le CERTU (Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques) a publié une méthode d'aide à la planification de ces aires [4]. La méthode propose une quantification approximative des besoins des commerces et un ensemble de recommandations pour améliorer leur mise en œuvre. Dezi et al. [5] proposent des solutions techniques pour améliorer les tailles, les quantités et les emplacements des aires avec une application pour la ville de Bologne. Jaller et al. [6] proposent un ensemble de recommandations de politique afin d'augmenter la disponibilité des aires. Les auteurs proposent la ville de New York comme étude de cas. Tamayo et al. [7] proposent un outil d'optimisation pour localiser les aires à partir de base de données collaboratives néanmoins leur travail n'a pas permis de quantifier le stationnement illégal.

Parmi les travaux étudiant l'utilisation des aires de livraison dans le temps, nous mettons en évidence les recherches de Cuevas et. al [8] qui ont implémenté un modèle de file d'attente hypercube pour estimer le niveau de service des aires. Pinto et al. [9] ont proposé une simulation Monte-Carlo pour étudier un ensemble réduit d'aires (jusqu'à 5) pendant une courte période de temps (de 7h00 à 10h00). Roca et al. [10] ont étudié le problème dans une perspective de réservation des aires.

Ce travail explore le développement d'un outil d'aide à la décision pour aider les villes dans l'aménagement de leur infrastructure. La contribution de ce travail est la possibilité de quantifier le phénomène de parking illégal associé aux livraisons, pour une zone donnée et aux différentes heures de la journée.

II. Problématique

L'objectif de l'outil de simulation est d'estimer le temps de stationnement illégal occasionné par l'approvisionnement des commerces d'une zone. La simulation prend en compte les caractéristiques de livraisons (fréquence, horaire, et durée) de chaque type d'activité, la cartographie de la zone (emplacement des commerces et des aires de livraisons).

L'outil vise à aider les villes pour identifier les besoins d'aires de livraison, estimer la pertinence de la localisation des aires existantes et de tester des futures configurations des aires pour diminuer le temps en stationnement illégal dans la zone.

III. Méthodologie

1.1 Collecte de données

La simulation des livraisons s'appuie sur la collecte de données dans la zone à étudier. Comme décrit dans Tamayo et al. [7], les données d'une ville peuvent être collectées via les services de cartographie en ligne, les portails « open data » et les enquêtes terrains. Pour cet article, les données pour identifier et localiser les commerces proviennent de Google Maps. Le portail open data de la ville de Paris a été utilisé pour localiser l'emplacement des aires de livraison existantes.

L'utilisation des aires dépend du nombre d'opérations logistiques provenant des commerces de la zone. Dans cet article, l'approche du CERTU a été retenue pour estimer le nombre de livraisons qu'un établissement reçoit par jour. Les heures de distributions ont été estimées en fonction du type d'activité sous la forme d'une loi de probabilité.

Commerce	Position	Type	Fréquence
Pharmacie Rennes	42,5435 ; 2,3243	Pharmacie	2 livr./jour
Le Long Albert	42,565 ; 2,32443	Bar	3 livr./jour

Tableau 1 Données collectées sur les commerces de la zone étudiée

1.2 Simulation Monte-Carlo

La simulation Monte-Carlo est un ensemble de techniques permettant de représenter un système avec des variables aléatoires. Dans le cas présent, la simulation permet de représenter comment chaque commerce utiliserait les places de livraison à proximité au cours d'une journée. D'une part, la simulation permet d'estimer le taux d'occupation d'une aire de livraison. On peut ainsi en déduire la pertinence de son existence. Et d'autre part, la simulation permet de quantifier le stationnement illégal généré dans le cas où il n'y aurait pas d'aire disponible. La simulation repose sur deux classes d'objets : les commerces et les aires de livraison.

1.2.1 Les commerces

Les commerces sont caractérisés par leur emplacement et leur activité. Dans la simulation, les livreurs utilisent une aire de livraison seulement si elle est proche du commerce. En effet, les livreurs préfèrent souvent prendre le risque d'un stationnement illégal pour gagner du temps. La distance acceptable d'un point de vue du livreur a été estimée à 100 m. L'activité d'un commerce définit son flux logistique, notamment en termes d'horaire et nombre de livraisons.

Pour les commerces, les livraisons ne sont généralement pas coordonnées. Elles peuvent arriver toutes en même temps ou bien être synchronisées : cela n'obéit pas à des règles de coordination. De ce fait, nous proposons de représenter les livraisons avec des variables aléatoires. Dans l'approche proposée, la probabilité qu'une livraison

se produise à un moment de la journée peut être modélisée par des distributions uniformes ou bimodales, comme montré dans la Figure 1. Les livraisons peuvent avoir lieu entre 5h00 et 22h00. Pour la distribution bimodale, la probabilité de recevoir des biens est plus élevée autour du premier pic à 8h00 et du deuxième pic à 15h00. La durée moyenne choisie pour une livraison est d'environ 15 minutes [4].

Dans une utilisation courante de l'outil de simulation, il doit être prévu d'identifier la loi de distribution qui correspond le mieux à chaque commerce de la zone, afin d'obtenir une modélisation plus proche de la réalité.

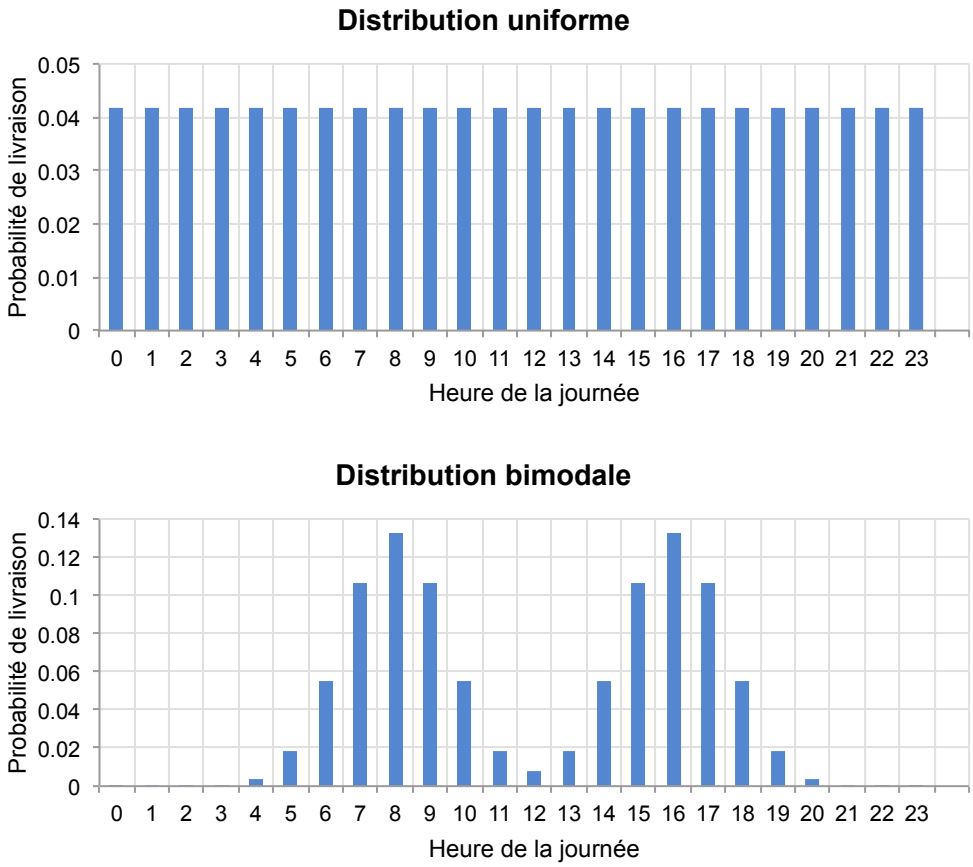

Figure 1 Distributions de probabilité pour l'heure de livraison dans une journée

Les deux distributions ont été utilisées pour générer 1000 jeux de simulation. Soit 1000 journées de livraison qui ont été opérées dans les aires de livraison existantes. L'estimation du temps de stationnement illégal augmente d'environ 10% en utilisant une distribution bimodale (1290 min au lieu de 1160 min). En effet, si la demande suit une distribution bimodale, il y a plus de chances que plusieurs livraisons soient effectuées au même moment, saturant ainsi l'infrastructure. Cette comparaison des deux lois de probabilité illustre l'importance de prendre en compte la dimension temporelle de la demande de stationnement.

Un planning des livraisons est tiré au hasard pour chaque commerce suivant la distribution de probabilité correspondant à son activité. Les livraisons sont considérées comme indépendantes, donc la visite d'un véhicule livrant plusieurs commerces n'est pas considérée. L'ensemble de planifications de chaque commerce est utilisé comme entrée pour simuler l'occupation des aires de livraison de la zone.

1.3 Les aires de livraison

Les aires sont utilisées et partagées par tous les transporteurs acheminant la marchandise aux différents commerces. Dans notre modèle, toutes les aires ont la même taille et un seul véhicule peut y stationner. La simulation est utile pour représenter les deux options disponibles pour le transporteur. Dans le premier cas, le transporteur trouvera une aire à proximité d'un commerce, il l'utilisera pour toute la durée de la livraison. Dans le second cas, toutes les aires autour d'un commerce sont occupées ou il n'existe pas d'aire à proximité. La simulation considère que le transporteur se garera illégalement près du commerce pour effectuer la livraison.

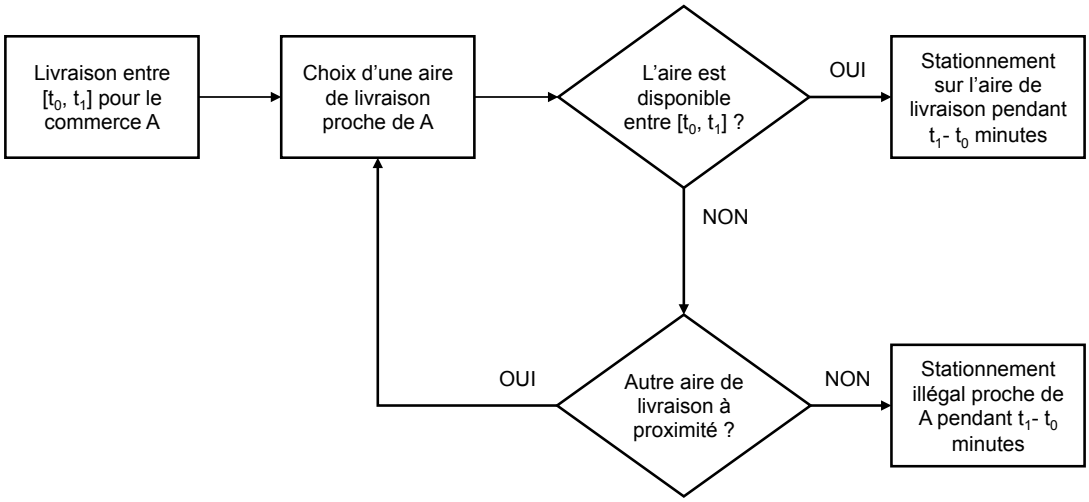

Figure 2 Diagramme logique représentant la modélisation du comportement du livreur

Le principal résultat de la simulation est la durée de stationnement illégale générée par chaque commerce. Comme l'emplacement de chaque commerce est connu, les résultats peuvent être visualisés avec une carte de chaleur. Sur ce type de carte, les entreprises qui génèrent le plus de stationnements illégaux apparaîtront en rouge. Cette visualisation peut être un outil utile pour les villes afin d'identifier les zones problématiques.

1.3.1 Sensibilité de la simulation Monte-Carlo

La simulation Monte-Carlo doit générer un grand nombre itérations pour que les résultats puissent être représentatifs. L'intervalle de confiance à 95% pour le temps de stationnement illégal a été calculé pour une instance avec plusieurs nombres d'itérations (Tableau 2).

Nb d'itérations	Moyenne de la durée de stationnement illégal	Intervalle de confiance à 95%
100	964 minutes	[951, 978]
200	965 minutes	[958, 974]
500	971 minutes	[967, 977]
1000	969 minutes	[966, 973]

Tableau 2 Résultats de la durée moyenne de stationnement illégal en fonction du nombre d'itérations

Le nombre d'itérations de la simulation a été fixé à 500, l'intervalle de confiance étant relativement étroit comparé à la durée moyenne de stationnement illégal. Du point de vue du temps de calcul, le gain de précision pour l'utilisation de 1000 itérations est faible. De plus, à partir de 200 itérations, le test de normalité montre que les sorties de la simulation suivent une distribution normale.

IV. Cas d'étude

Le cas d'étude proposé est une zone autour de la rue de Rennes, à Paris. C'est à la fois un axe routier important et une rue avec de nombreux commerces. La zone étudiée est composée de 69 commerces et 14 aires de livraison.

Figure 3 Cas d'étude : zone autour de la rue de Rennes

La demande générée par les commerces pour une journée est présentée par une carte de chaleur (cf. Figure 4). C'est une représentation d'un cas où les aires de livraison n'existeraient pas. La couleur représente la durée des opérations de livraison dans une zone. Dans cette carte, les points chauds apparaissent distinctement. L'analyse de la carte permet d'identifier deux types de points chauds : 1) les zones avec des grands attracteurs de flux comme les grands magasins et les hôtels et 2) les zones denses avec de nombreux petits magasins.

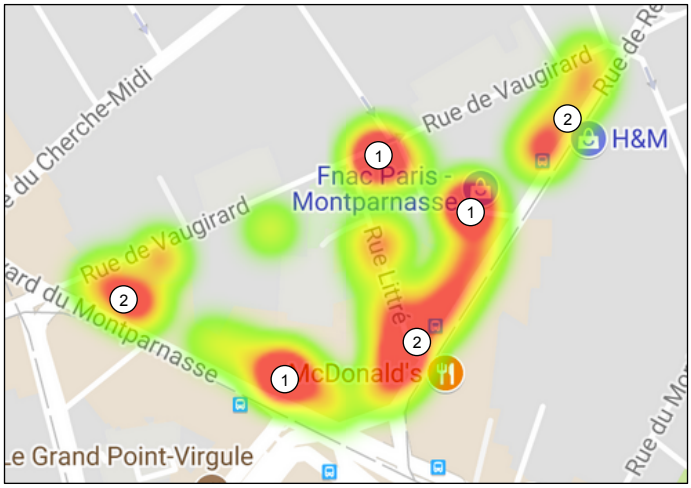

Figure 4 Carte de chaleur représentant la durée de toutes les opérations logistiques d'une journée

L'influence des profils de distribution des différents commerces a été étudiée (c.-à-d. les différentes distributions de probabilité). Dans le cas de la rue de Rennes, les pics des lois bimodales ont été changés pour les différents types de commerce. La différence n'est pas significative, car il s'agit d'une zone avec des commerces similaires, qui possèdent des distributions de probabilité de livraison homogènes.

Par exemple, la zone est majoritairement composée de commerces, restaurants et hôtels. Dans le cas d'une boulangerie, lorsque le pic de livraison du matin est placé très tôt (cf. Figure 1) cela n'a pas de conséquence majeure puisque dans la zone étudiée il y a uniquement deux boulangeries, ce n'est pas assez pour changer le comportement global de la zone.

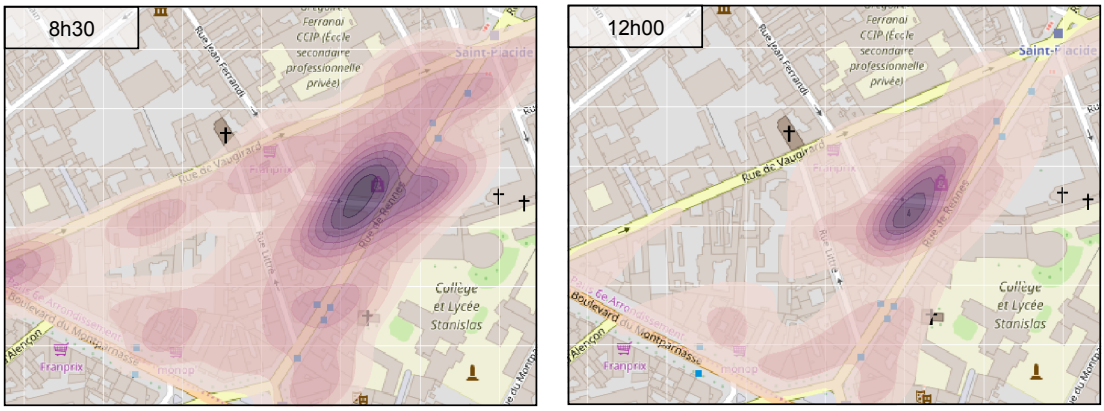

Figure 5 Cartes de chaleur à différentes heures de la journée représentant la durée stationnement illégal (8h30 pic et 12h00 heure creuse)

La visualisation par des cartes de chaleur permet d'observer au fil de la journée où se situent les zones problématiques. Elles peuvent être une indication pour lancer une enquête sur le trafic pour s'assurer que les livraisons disposent de suffisamment de moyens occasionner de gênes.

V. Conclusion et perspectives

Ce travail propose d'utiliser la simulation Monte-Carlo pour estimer l'efficacité d'une infrastructure logistique composée d'aires de livraison en quantifiant le temps de

stationnement illégal qu'elle peut avoir dans une journée type. La simulation permet de prendre en compte les flux logistiques, différents pour chaque établissement et la disponibilité des aires dans le temps. Les résultats mettent en évidence l'importance de la prise en compte des horaires de livraison pour comprendre le stationnement illégal.

Cet outil repose sur un principe de simulation répandu et sur des données publiques. Ainsi cet outil peut être aisément adapté à différentes villes et différents types de commerces. Il peut être un outil de diagnostic pour aider les villes. En effet, la simulation d'une grande zone peut permettre d'identifier rapidement les zones à « fort besoin » pour ensuite lancer une enquête sur le terrain. La simulation peut aussi permettre d'identifier les aires sous-utilisées qui pourraient avoir un autre usage.

Les données d'entrée de la simulation sont primordiales pour la validité des résultats. Il est important de noter qu'afin de générer des modèles pertinents pour les livraisons des commerces d'une zone, il est crucial de pouvoir caractériser le profil de leur distribution de probabilité.

La prise en compte de plus de critères est une perspective intéressante pour se rapprocher au plus près de la réalité. Par exemple, la distance acceptable entre une aire de livraison et le commerce est un paramètre critique, mais également difficile à caractériser. Il est influencé par beaucoup de paramètres comme le type de biens, la fatigue du conducteur, conditions de trafic, etc. De plus, différents types de marchandises n'utilisent pas le même type de véhicules, ainsi certaines aires ne sont pas accessibles pour les plus gros camions. Et certains véhicules, comme les vélos, peuvent facilement se garer sur le trottoir sans gêner les autres usagers. Enfin, les aires de livraison peuvent être utilisées par d'autres acteurs.

Une seconde perspective est l'ajout un module d'optimisation pour que l'outil devienne un système d'aide à la décision plus avancée. L'optimisation permettrait de proposer à la ville la meilleure disposition d'aires de livraison, ou le nombre d'aires nécessaire pour atteindre un niveau de service donné (p. ex. 95% du temps de livraison doit se faire sur une aire de livraison).

VI. Remerciements

Ce travail est soutenu par la Chaire Logistique Urbaine MINES ParisTech. Cette Chaire de recherche est financée par le groupe Pomona, le groupe La Poste, le groupe Renault, la Mairie de Paris et l'ADEME.

VII. Références

[1] L. Dablanc and A. Beziat, "Parking for freight vehicles in dense urban centers - The issue of delivery areas in Paris," Marne la Vallee, France, 2015.

[2] Aiura N. and Taniguchi E., "Planning On-Street Loading-Unloading Spaces Considering the Behaviour of Pickup-Delivery Vehicles and Parking Enforcement," *J. East. Asia Soc. Transp. Stud.*, vol. 6, pp. 2963–2974, 2005.

[3] J. de Abreu e Silva and A. R. Alho, "Using Structural Equations Modeling to explore perceived urban freight deliveries parking issues," *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 102, pp. 18–32, 2017.

[4] CERTU, "Aménagement des aires de livraison - Guide pour leur quantification, leur localisation et leur dimensionnement," Lyon, 2009.

[5] G. Dezi, G. Dondi, and C. Sangiorgi, “Urban freight transport in Bologna: Planning commercial vehicle loading/unloading zones,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 2, no. 3, pp. 5990–6001, 2010.

[6] M. Jaller, J. Holguin-Veras, and S. Hodge, “Parking in the City,” *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2379, pp. 46–56, Dec. 2013.

[7] S. Tamayo, A. Gaudron, and A. D. La Fortelle, “Loading / unloading spaces location and evaluation : an approach through real data”, *10th International Conference on City Logistics,* 2017.

[8] A. Cuevas, Ri. Giesen, D. Merchán, M. Winkenback, and E. Blanco, “Location of Urban Loading and Unloading bays using the hypercube model: application for Santiago, Chile,” in *10th International Conference on City Logistics*, 2017.

[9] R. Pinto, R. Golini, and A. Lagorio, “Loading / unloading lay-by areas location and sizing : a mixed analytic-Monte Carlo simulation approach,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, no. 12, pp. 961–966, 2015.

[10] M. Roca-riu, E. Fernández, and M. Estrada, “Parking slot assignment for urban distribution : Models,” *Omega*, vol. 57, pp. 157–175, 2015.

VIII. Auteurs

	Arthur GAUDRON Il est ingénieur de recherche et responsable de projets au Centre de Robotique MINES ParisTech. Il s’intéresse au développement de la recherche en robotique pour la Logistique Urbaine dans le cadre de la Chaire Logistique Urbaine. Il développe des modèles et des simulations pour étudier les impacts des flux logistiques et des décisions règlementaires et d’infrastructure à l’égard des configurations topologiques des zones urbaines. Il s’intéresse particulièrement à l’intégration des données cartographiques et économiques aux logiques de flux physiques, utilisées par les professionnels de la logistique.
	Simon TAMAYO Il est enseignant chercheur à MINES ParisTech. Il est président de la Chaire de Logistique Urbaine MINES ParisTech et adjoint du mastère spécialisé en management industriel et systèmes logistiques « MS MISL ». Il est responsable des cours « recherche opérationnelle appliquée à la gestion industrielle », « systèmes ERP SAP© » et « méthodes stochastiques appliquées à la logistique ». Il est expert en systèmes d’aide à la décision et d’optimisation appliquées à la planification et à l’organisation des systèmes industriels et logistiques. Il est auteur de l’ouvrage « Recherche opérationnelle appliquée à la gestion industrielle » (ISBN : 978-1530248728).

Arnaud de LA FORTELLE

Il est directeur du Centre de Robotique de MINES ParisTech, titulaire de la Chaire de Logistique Urbaine et titulaire de la Chaire Drive For All pour les véhicules autonomes. Dans ses recherches, il a d'abord étudié les propriétés théoriques des distributions de probabilité avec des applications aux réseaux de files d'attente. Il applique ensuite ces connaissances à des réseaux de véhicules avec une attention particulière pour les cybercars et il s'est également intéressé aux problématiques de communication pour les systèmes distribués. Actuellement son principal sujet d'intérêt est celui des systèmes coopératifs, en particulier appliqués à la conduite automatisée et à ses impacts dans une ville intelligente.