

Proposition de communication pour les  
2èmes Rencontres Francophones Transport Mobilité (RFTM)  
Montréal, 11-13 juin 2019  
**Impact de la réservation sur les systèmes de véhicules partagés**

Cédric Bourdais<sup>\*1</sup>, Christine Fricker<sup>†2</sup>, and Hanene Mohamed<sup>‡3</sup>

<sup>1,2</sup>INRIA Paris, 2 rue Simone Iff, CS 42112, 75589 Paris Cedex 12, France

<sup>3</sup>Université Paris Ouest Nanterre, Bat G, 200 av. de la République, 92001 Nanterre, France

Mots-clés: modes partagés, grands réseaux, modèles, réservation.

Session thématique visée : 14

Résumé:

**But.** Mode écologique de déplacement urbain, les réseaux de véhicules en libre partage prennent une importance grandissante dans le développement de modes de transport urbain. Ces systèmes ont une longue histoire, depuis les années 60 où des vélos sont mis à disposition sur des campus aux Pays-Bas, et disparaissent presque aussitôt. Ces systèmes sont devenus viables avec des stations fixes où les vélos sont attachés. Et même si des tentatives sans stations fleurissent récemment, rendues possibles par la géolocalisation et l'utilisation à l'aide de téléphone portable, on s'intéresse ici aux systèmes de vélo-partage, mais aussi d'auto-partage avec stations. L'exploitation de ces systèmes est loin d'être simple, l'un des problèmes les plus cruciaux étant d'éviter la présence de stations vides et pleines, dites problématiques.

Le vélo-partage et l'auto-partage à Paris ont deux modes de fonctionnement distincts. La possibilité de réserver les différencie. En effet, pour Autolib', l'utilisateur peut réserver en avance sa voiture et sa place où stationner à l'issue de son trajet. Il s'agit d'étudier l'impact de la réservation sur la performance du système, mesurée en termes de nombre de stations vides et pleines, ou d'une quantité qui mesure la satisfaction de l'utilisateur. Et aussi de répondre à la question première de l'impact de la réservation sur la taille de la flotte *optimale*, celle qui assure la meilleure performance du système.

Ainsi, la demande de modèles qualitatifs et quantitatifs est forte de la part des opérateurs publics et privés de ces systèmes pour dimensionner le système et évaluer l'influence des différents paramètres. Ces systèmes peuvent être vus comme de grands réseaux stochastiques, et des modèles et méthodes sont proposés dans ce cadre pour les comprendre.

**Modèles.** Nous ciblons donc les systèmes de partage avec stations fixes, à nombre de places limitées. Nous proposons des modèles probabilistes simples pour ces réseaux de véhicules, vélos ou voitures, qui nous permettent de dimensionner le système et de comparer différents scénarios. Ils prennent en compte les paramètres principaux du système tels que

- le nombre total de véhicules
- les nombres de places aux stations
- les taux d'arrivée d'utilisateurs aux stations

---

\*cedric.bourdais@polytechnique.edu

†christine.fricker@inria.fr

‡hanene.mrad@parisnanterre.fr

- les durées de trajet.

Le premier modèle simplifié est totalement symétrique: même taux d'arrivée aux stations, même loi pour les trajets, choix uniforme d'une destination. L'étude d'un tel modèle peut être dans un deuxième temps étendue au cas inhomogène. L'usage du vélo-partage est simple: on effectue des trajets dans un sens, l'utilisateur prenant un vélo dans une station de son choix si c'est possible, effectue son trajet et le restitue dans une station destination de son choix, et si elle n'a pas de place disponible, peut adopter différents comportements comme avoir annulé son trajet, avoir anticipé et changé sa destination, chercher une autre station pour déposer son vélo ou attendre qu'une place se libère. Pour l'auto-partage, l'utilisateur peut à l'avance réserver à l'avance sa voiture (pour Autolib à Paris dans une limite de 30 minutes), et sa place (pour Autolib à Paris dans une limite de 1h30).

**Méthodes.** Nous proposons d'étudier la réservation dans un cadre homogène. Notre méthode d'étude de ces grands systèmes est d'obtenir l'approximation champ moyen. Ceci nécessite de travailler sur un modèle ainsi simplifié, mais a le mérite de couvrir différents scénarios reproduisant les comportements de l'utilisateur. De plus les heuristiques sont simples. Précisons qu'on prend des lois exponentielles pour les inter-arrivées, les trajets et les durées de réservation.

Pour le modèle avec réservation, nous sommes confrontés au fait que l'état des stations, donné par le nombre de voitures, de voitures réservées et de places réservées dans les stations, n'est pas markovien, même en distinguant deux sortes de places réservées, ce qui semble vite naturel, selon que l'utilisateur a déjà pris ou non sa voiture.

**Résultats.** Le résultat majeur consiste à caractériser l'état limite d'une station, à avoir des expressions quantitatives pour la flotte optimale, et à la comparer à celle du système sans réservation. Les résultats concernent aussi la performance, mesurée par la proportion à l'équilibre de stations problématiques (vides ou pleines).

Ainsi nous obtenons explicitement le dimensionnement d'un réseau homogène sans réservation: le nombre optimal de vélos par station est  $C/2 + \lambda/\mu$ , avec  $C$ , nombre de places par stations,  $\lambda$ , taux d'arrivées d'utilisateurs, et  $1/\mu$ , durée moyenne de trajet. Dans ce cas, la probabilité qu'une station soit vide ou pleine est  $1/(C + 1)$ , indépendamment du trafic.

Pour le modèle homogène avec réservation des véhicules et des places, comme Autolib', les résultats sont plus compliqués. Mais il est remarquable que nous arrivions à caractériser la flotte optimale. Nous dérivons des résultats explicites à faible et fort trafic, quand le temps de réservation est négligeable devant le temps de trajet. Ainsi, en réservant seulement la place au moment de prendre la voiture, à faible trafic, la flotte optimale devient  $C/2 + \lambda/(2\mu)$  et la proportion de stations vides ou saturées dépend de la charge,  $1/(C + 1) + \lambda/(C^2\mu)$  pour  $C$  grand.

En conclusion, la réservation pénalise le système à forte charge, et si le nombre de véhicules par station est voisin de la capacité. À flotte optimale, quel que soit la charge réduite, la réservation a peu d'impact. C'est un résultat qui paraît étonnant, mais il est très encourageant. Réserver semble être une option potentiellement intéressante, car très pratique pour l'utilisateur, si elle ne pénalise pas le fonctionnement.

Pour les preuves, dans ce modèle proposé avec réservation, l'état des stations a une limite champ moyen, ce qui est remarquable, vu que ce processus n'est pas markovien. La démonstration suit une analyse probabiliste sophistiquée. On utilise la limite champ moyen d'un processus de Markov plus compliqué, dont notre processus d'état est une fonctionnelle.

## Références:

- [2] Fricker, C. & Gast, N. (2016). Incentives and redistributions in homogeneous bike-sharing systems with stations of finite capacity. *European Journal of Transportation and Logistics*, vol. 5, no 3, p. 261-291.
- [3] Fricker, C., Mohamed, H. & Gast, N. (2012) Mean field analysis for inhomogeneous bike sharing systems. In *DMTCS Proceedings*, editor, *Proceedings of AofA'12*.

- [4] Fricker, C. & Bourdais, C. (2015) A Stochastic Model for Car-Sharing Systems. arXiv preprint arXiv:1504.03844.
- [6] Fricker, C. Bourdais, C. & Mohamed, H. (2019) Mean-field analysis for large vehicle-sharing model with reservation. In preparation.