

# Un modèle d'optimisation linéaire pour résoudre un problème riche de tournées de véhicules en milieu urbain

Alexis Godart<sup>1</sup>, Hervé Manier<sup>1</sup>, Christelle Bloch<sup>2</sup>, Marie-Ange Manier<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univ. Bourgogne Franche-Comté FEMTO-ST Institute/CNRS, rue Thierry-Mieg (UTBM), 90010 Belfort Cedex, France {alexis.godart, marie-ange.manier, herve.manier}@utbm.fr

<sup>2</sup> Univ. Bourgogne Franche-Comté FEMTO-ST Institute/CNRS, 1 Cours Leprince-Ringuet - 25200 Montbéliard, France christelle.bloch@univ-fcomte.fr

**Mots-clés :** *Vehicle Routing Problem with Pickup & Delivery, Time Windows, mobilité urbaine, transport multimodal, multi-périodes, transferts, synchronisation, Programmation Linéaire en Nombres Entiers*

## 1 Introduction

L'apparition récente d'un nombre conséquent de services de mobilité conduit les usagers à effectuer des choix aussi variés que complexes, tandis que les collectivités et les fournisseurs de services s'efforcent à coordonner leurs efforts afin de rendre la mobilité urbaine plus durable, mais aussi plus efficace.

Nos travaux de recherche s'inscrivent dans un projet de plateforme collaborative de services de mobilités dynamiques, dénommée MISC (Mobility in Smart Cities) [1] en proposant une vision interconnectée des services et des modes de transport. Parmi les verrous scientifiques qui ont pu être mis en évidence, on retrouve la nécessité de répondre aux évolutions futures de la mobilité urbaine, propulsées par l'ère de l'Open Data et de l'Internet des Objets. En ce sens nos travaux s'intéressent d'une part à la synchronisation spatiale et temporelle [2] lors d'un transfert entre deux modes (en s'appuyant sur les données de géolocalisation et des services comme la réservation de places de stationnement en ligne) et d'autre part à des problématiques liées à la sécurité et à la responsabilité (traçabilité des marchandises, ou encore délimitation des responsabilités entre les acteurs).

Nous proposons un modèle mathématique inspiré du Vehicle Routing Problem with Pickup & Delivery [3]–[6] et du Dial-A-Ride Problem [7], en prenant en compte de nombreuses contraintes et en y intégrant les problématiques communes au transport de personnes et de marchandises. L'étude des analogies existantes qui motivent nos recherches est justifiée par la volonté des collectivités et des décideurs économiques, de faire cohabiter de façon optimale les services de mobilité urbains pour le transport des usagers et de marchandises, partageant les mêmes infrastructures de transport.

## 2 Le modèle

Le réseau de transport est modélisé par un graphe complet orienté. Celui-ci est constitué de nœuds représentant les différents sites, et d'arcs reliant ces nœuds modélisant les itinéraires respectifs. Pour chaque site, on dispose d'une fenêtre de temps correspondant à l'ouverture et à la fermeture. On considère un ensemble de dépôts de véhicules auxquels on affecte une flotte de véhicules hétérogènes effectuant les tournées. La faisabilité de chaque tournée est conditionnée notamment par le respect de la fenêtre de temps du dépôt de véhicule associé.

Dans la littérature scientifique, de nombreux articles traitant du problème de tournées de véhicule avec ramassage et livraison expriment les demandes de transport sur chacun des sites qui peuvent être fournisseurs ou clients. Dans notre modèle, celles-ci sont exprimées par une quantité associée à deux sites correspondant à l'origine et à la destination. Chaque demande doit être honorée pendant une fenêtre de temps.

L'originalité du modèle développé repose sur l'expression de ces demandes de transport qui peuvent correspondre aussi bien à des usagers qu'à des marchandises. Les quantités exprimées correspondent alors respectivement aux passagers, ou bien à une unité choisie préalablement (unité de manutention, volume, masse...). Nous limitons le nombre de tournées par véhicule à une seule par période, mais il est possible de considérer plusieurs périodes, et les véhicules peuvent emprunter plusieurs fois un même arc (multi-visites) durant la même période.

Afin d'exploiter au mieux les infrastructures urbaines et de proposer des solutions intéressantes, nous considérons également des points de transfert permettant aux entités transportées d'être transférées d'un véhicule à un autre. Dans ce cas, il faut assurer à la fois la synchronisation spatiale et la synchronisation temporelle dans le cadre d'un transfert sans stockage (resp. sans attente pour le transport de personnes) ou bien assurer la synchronisation spatiale, les contraintes de précédence entre les deux véhicules ainsi que les contraintes de capacité de stockage dans le cadre d'un transfert avec stockage (resp. avec attente).

La première version de ce modèle autorise la définition d'un ensemble de véhicules pouvant prendre en charge chaque demande de transport, permettant ainsi de séparer les flux. Notre critère d'optimisation est la minimisation de la distance totale parcourue par les véhicules.

### 3 Expérimentation & Résultats

Nous avons testé et validé l'approche proposée sur diverses instances pour un problème considéré dans sa variante statique, avec un ensemble de données déterministes. Le modèle est résolu avec le solveur commercial IBM CPLEX en version 12.7.1 sur un processeur Intel Core i7 4 cœurs cadencés à 3,5 GHz, et permettent la mise en évidence de l'apparente complexité du passage à l'échelle. L'étape suivante de nos travaux sera de développer des méthodes d'optimisation approchées à base de métaheuristiques, pour aborder des instances de taille réaliste, dans leur variante dynamique.

### Références

- [1] A. Godart, H. Manier, C. Bloch, and M. Manier, "Optimisation des transports urbains dans un environnement dynamique et fortement connecté," *Roadef*, pp. 2–3, 2017.
- [2] F. Gayraud, "Problème de tournées de véhicules avec contraintes de synchronisation dans le cadre de structures de maintien à domicile. Formalisation mathématique et hybridation à base de métaheuristique," 2016. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2015.
- [3] S. N. Parragh, K. F. Doerner, and R. F. Hartl, "A survey on pickup and delivery problems. Part I: Transportation between customers and depot," *J. für Betriebswirtschaft*, vol. 58, no. 2, pp. 81–117, 2008.
- [4] G. Berbeglia, J. F. Cordeau, G. Laporte, and H. Waisanen, "Dynamic Pickup and Delivery Problem," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 202, no. 1, pp. 8–15, 2010.
- [5] C. E. Cortés, M. Matamala, and C. Contardo, "The pickup and delivery problem with transfers: Formulation and a branch-and-cut solution method," 2009.
- [6] S. Ropke and D. Pisinger, "An Adaptive Large Neighborhood Search Heuristic for the Pickup and Delivery Problem with Time Windows," *Transp. Sci.*, vol. 40, no. 4, pp. 455–472, 2006.
- [7] R. Masson, F. Lehuédé, and O. Péton, "The dial-a-ride problem with transfers," *Comput. Oper. Res.*, vol. 41, no. 1, pp. 12–23, Jan. 2014.