

# Métaheuristique hybride pour un problème de tournées de véhicules multimodales et multi-visites

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** : *Pickup & Delivery Problem, logistique urbaine, mobilité urbaine,, synchronisation, mutualisation, collaboration*

## 1 Introduction

Nos travaux de recherche explorent une variante du problème de tournées de véhicules avec fenêtres de temps, qui s'inspire du Vehicle Routing Problem with Pickup & Delivery [1]–[4] et du Dial-A-Ride Problem [5], et s'inscrivent dans le cadre du projet de recherche Mobility In Smart Cities (MISC). La modélisation proposée tient compte des contraintes et caractéristiques intrinsèques au milieu urbain, parfois communes au transport de personnes et de marchandises.

L'originalité de nos travaux repose sur la possibilité d'effectuer des transferts avec stockage, avec les contraintes de précédence entre les deux modes de transport, ou bien d'effectuer des transferts sans stockage et en synchronisant donc ces deux modes de transport, le tout dans le cadre du développement du transport multimodal. Aussi, nous offrons la possibilité pour chaque mode de transport de visiter plusieurs fois un même site (multi-visites) afin, par exemple, de différer les opérations, et de proposer un choix plus large pour ordonnancer la prise en charge des demandes.

## 2 Méthodes

Une formulation mathématique de ce problème a été proposée à l'aide d'un programme linéaire en nombres mixtes [6]. Les résultats obtenus permettaient d'identifier les gains sur la distance totale parcourue, et parfois même en termes de faisabilité, mais mettaient aussi en évidence l'explosion combinatoire empêchant le passage à l'échelle ; on propose alors une résolution par métaheuristique hybride, à base d'algorithme génétique (1), d'algorithme glouton (2) et de programmation linéaire en nombres mixtes (3).

Le problème initial considère simultanément : a. l'affectation des demandes aux véhicules ; b. la création des tournées de véhicules, qui comprend l'ordonnancement des opérations de ramassage/dépose, la proposition de transfert des demandes avec/sans stockage en vérifiant les relations d'interdépendances temporelles et spatiales entre les véhicules, les contraintes temporelles de visite sur chaque site, sur chaque demande, ainsi que les contraintes de capacité des véhicules et des points de transfert. Dans notre modèle, les demandes sont exprimées par une origine et une destination, avec une quantité associée.

Notre proposition consiste à résoudre d'abord le sous-problème d'affectation des demandes aux véhicules via un codage génétique (1) en variables binaires (figure). Le problème étant non-sélectif, chaque demande doit être affectée au moins à un véhicule. Cependant, dans le cadre du transport multimodal, il est possible d'associer une demande à plusieurs véhicules, auquel cas nous devons répartir les opérations de ramassage, de dépose, et de transfert (localisation et date) entre ces véhicules.

	r1	r2	r3	r4
v1	1	0	0	1
v2	0	1	1	1
v3	1	0	0	1

**Figure - Exemple d'individu pour l'affectation des demandes aux véhicules**

Une fois les affectations obtenues, un algorithme glouton (2) de liste est utilisé afin d'obtenir, pour chaque demande, un classement des véhicules en fonction de la proximité physique et temporelle du site origine et destination de la demande. Puis, dans le cas où plusieurs véhicules sont affectés à une demande, on se propose de transférer la demande de telle sorte que chaque véhicule effectue une partie de l'itinéraire de la demande. Enfin, on détermine le point de transfert à utiliser parmi ceux disponibles, pour chaque couple de véhicules, en utilisant la même stratégie.

Connaissant désormais les opérations à effectuer pour chaque véhicule, il ne nous reste plus qu'à les ordonnancer tout en respectant les contraintes temporelles, de capacité et de précedence. Pour ce faire, nous proposons de réutiliser le programme linéaire (3) développé au début de nos travaux pour résoudre le problème d'ordonnancement des opérations à l'optimalité, en minimisant la distance parcourue par les véhicules. Les affectations des demandes et des opérations aux véhicules sont soumises au modèle linéaire sous la forme de contraintes sur les variables de décision. Nous ajoutons les contraintes temporelles (dates d'arrivée et de départ au plus tôt et au plus tard) qui conditionnent la tournée de chaque véhicule et l'itinéraire de chaque demande en utilisant la propagation de contraintes sur les fenêtres de temps.

### 3 Expérimentation & Résultats

Notre approche a été testée sur ce problème dans sa variante statique, avec un ensemble de données déterministes. Nous comparons les résultats obtenus dans notre approche avec ceux obtenus par méthode exacte grâce au programme linéaire sur 5 instances de taille variable. Puis nous estimons la capacité de notre modèle à passer à l'échelle, en testant sur des instances de plus grosse taille, inspiré de la littérature. Le modèle linéaire est implémenté sur IBM CPLEX® en version 12.7.1 et résolu sur un processeur Intel Core i7 4 cœurs cadencés à 3,5 GHz. D'autres instances pourront illustrer l'efficacité de la méthode sur des instances de tailles plus conséquentes. L'étape suivante de nos travaux sera d'améliorer le temps de calcul en explorant d'autres méthodes approchées afin de construire d'autres métaheuristiques, sans dégrader la qualité des solutions proposées. L'une des perspectives de nos travaux est l'exploration de ce problème dans sa variante dynamique.

### Références

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] C. E. Cortés, M. Matamala, and C. Contardo, "The pickup and delivery problem with transfers: Formulation and a branch-and-cut solution method," 2009.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] A. Godart, H. Manier, C. Bloch, and M. Manier, "Un modèle d'optimisation linéaire pour résoudre un problème riche de tournées de véhicules en milieu urbain," ROADEF 2018, paper 196.