

Tournées de véhicules avec sélection de transporteurs FTL et LTL

Gauthier Soleilhac^{1,2}, Fabien Lehuédé¹, Juliette Medina², Olivier Péton¹

¹ IMT Atlantique, LS2N, Nantes, France

² CRC Services, Nantes, France

Mots-clés : Problème riche de tournées de véhicules , Flotte hétérogène, VRP avec profits, Programmation par contraintes

1 Introduction

La majeure partie des entreprises de production sous-traite le transport de ses marchandises à des sociétés de transport spécialisées. Un industriel peut néanmoins optimiser ses coûts de transport en ayant recours à différents modes de sous-traitance, en fonction de ses flux de marchandises. Dans ce cadre, nous étudions le cas d'un industriel qui doit acheminer sa production depuis un site unique vers un ensemble de clients répartis sur un vaste territoire. Les volumes expédiés sont variables d'un client à l'autre et pour un même client, d'une journée à l'autre. L'industriel, qui ne dispose pas d'une flotte de véhicules en propre, travaille en collaboration avec un ensemble de transporteurs qui proposent différents modes de fonctionnement et tarifs.

Ces travaux sont réalisés dans le cadre d'une thèse CIFRE financée par CRC Services et réalisée en collaboration avec IMT Atlantique au LS2N. CRC Services est l'éditeur de la plateforme web Colivri, qui propose à ses clients une optimisation de la performance transport grâce à des algorithmes d'optimisation et des modèles de mutualisation d'organisation transport.

2 Description du problème

Pour chaque commande à livrer, les transporteurs proposent généralement deux modes de transport sous traités :

- En *Full-Truckload* (FTL) : l'industriel affrète à un transporteur un véhicule entier pour effectuer un itinéraire donné. L'organisation du transport est alors partiellement à la charge de l'industriel, qui peut définir l'itinéraire et les horaires de ce véhicule en respectant les contraintes métier du transporteur et les contraintes du réseau. Ces contraintes incluent entre autres des fenêtres de temps, des temps de chargement et déchargement, des contraintes d'accès aux sites, de durée ou de longueur maximale des tournées. De plus chaque transporteur a une flotte hétérogène et sa propre façon d'évaluer le coût d'un itinéraire en fonction du véhicule sélectionné. Cette fonction de coût peut inclure des coûts fixes, des coûts variables en fonction du kilométrage ou de la durée, mais aussi des coûts selon les zones livrées ou pour chaque arrêt sur la tournée.
- En *Less-Than-Truckload* (LTL), l'industriel ne connaît pas l'itinéraire des marchandises, qui passent dans le réseau du transporteur. Une commande confiée à un transporteur spécifie une quantité à livrer à une unique adresse pour une date et une plage horaire données. Le prix du transport est calculé indépendamment pour chaque commande à partir de matrices de coûts propres à chaque transporteur en fonction de la quantité à livrer et de la destination.

Le problème à résoudre consiste à déterminer le mode de transport de chaque commande, et, pour les commandes acheminées en FTL, à déterminer les tournées des véhicules affrétés de manière à minimiser la somme des coûts de transport. Ce problème peut être modélisé comme une extension du problème de tournées de véhicules avec profits et plus précisément, du *VRP with Private Fleet and Common Carrier* (VRP-PC) (Chu [2005]) avec fenêtres horaires et flotte hétérogène.

Dans la littérature en tournées avec flottes hétérogènes, le nombre de véhicules disponibles est soit limité (dans le cas où l'on opère une flotte propre), soit considéré comme infini (dans le cas d'un problème de dimensionnement). Nous étudions le cas où la flotte privée est en réalité constituée de véhicules affrétés en FTL auprès de plusieurs transporteurs. Dans le cadre d'une relation commerciale sur le long terme, l'industriel s'engage à réserver un nombre minimum de véhicules auprès de certains transporteurs. De leur côté, les transporteurs ont un nombre limité de véhicules de chaque type, mais ils posent également une limite sur le nombre maximum de véhicules alloués à un industriel donné. Dans le problème de tournées, la flotte de véhicules doit donc être constituée en fonction : de limites sur le nombre maximum de véhicules de chaque type, des nombres minimum et maximum de véhicules à affréter à chaque transporteur.

3 Méthode de résolution

Nous proposons une méthode de résolution basée sur la méta-heuristique Large Neighborhood Search [Ropke and Pisinger, 2006], avec une implémentation inspirée de Dumez et al. [2021]. Cette méthode consiste, à chaque itération, à explorer l'espace des solutions en détruisant une partie de la solution courante puis en la reconstruisant.

Lors de la reconstruction d'une solution, la liste des types de véhicules compatibles avec chaque tournée est maintenue. Insérer un sommet dans une tournée peut réduire cette liste de types de véhicules. Lorsque cela arrive, un algorithme de filtrage basé sur la recherche d'un flot maximum dans un graphe est utilisé pour maintenir une consistance de domaine sur ces listes, vis-à-vis des contraintes de disponibilité pour chaque type de véhicule et des bornes min et max pour chaque transporteur.

Le coût d'une insertion est calculé en prenant en compte le type de véhicule le moins cher pouvant effectuer la tournée après l'insertion. Un regret vient s'ajouter à ce coût s'il y a une sur-demande potentielle pour ce type de véhicule. Une fois les commandes réinsérées, on obtient une solution en résolvant un problème d'affectation des tournées aux véhicules avec une heuristique guidée par l'évaluation d'un regret entre les deux véhicules les moins chers disponibles pour chaque tournée.

Les tests numériques consistent, dans un premier temps, en une évaluation des performances de notre algorithme sur des instances de la littérature de problèmes proches : le VRPTW avec flotte fixe hétérogène (Paraskevopoulos et al. [2008]), et le VRPTW avec flotte fixe hétérogène et common carrier (Dabia et al. [2019], Baller et al. [2020]). Notre méthode améliore 10 meilleures solutions connues sur les 24 instances proposées par Paraskevopoulos et al. [2008] et résolues par Koç et al. [2015]. Elle parvient à trouver la solution optimale sur 174 des 200 instances proposées par Dabia et al. [2019]. Dans un deuxième temps, nous présentons des résultats numériques pour de nouvelles instances inspirées par une application réelle.

Références

- A. C. Baller, S. Dabia, W. E. H. Dullaert, and D. Vigo. The Vehicle Routing Problem with Partial Outsourcing. *Transportation Science*, 54(4) :1034–1052, 2020. Publisher : INFORMS : Institute for Operations Research.
- C.-W. Chu. A heuristic algorithm for the truckload and less-than-truckload problem. *European Journal of Operational Research*, 165(3) :657–667, 2005.
- S. Dabia, D. Lai, and D. Vigo. An Exact Algorithm for a Rich Vehicle Routing Problem with Private Fleet and Common Carrier. *Transportation Science*, 53(4) :986–1000, Aug. 2019.
- D. Dumez, F. L. Lehuédé, and O. Péton. A large neighborhood search approach to the vehicle routing problem with delivery options. *Transportation Research Part B : Methodological*, 144 :103–132, 2021.
- Ç. Koç, T. Bektaş, O. Jabali, and G. Laporte. A hybrid evolutionary algorithm for heterogeneous fleet vehicle routing problems with time windows. *Computers & Operations Research*, 64 :11–27, 2015.
- D. C. Paraskevopoulos, P. P. Repoussis, C. D. Tarantilis, G. Ioannou, and G. P. Prastacos. A reactive variable neighborhood tabu search for the heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows. *Journal of Heuristics*, 14(5) :425–455, 2008.
- S. Ropke and D. Pisinger. An Adaptive Large Neighborhood Search Heuristic for the Pickup and Delivery Problem with Time Windows. *Transportation Science*, 40(4) :455–472, 2006.