

# Problème riche de tournées de véhicules avec collecte et livraison : étude de cas dans le secteur du bâtiment

Atef JABALLAH<sup>1</sup> et Wahiba Ramdane Cherif-Khettaf<sup>1</sup>

Université de Lorraine, CNRS, LORIA (UMR 7503), Campus Scientifique, BP 239 54506  
Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex, France  
`{atef.jaballah,wahiba.ramdane}@loria.fr`

**Mots-clés:** problème riche de tournées de véhicules, collecte et livraison, fenêtres horaires, profit, fractionnement des livraisons et des collectes, secteur du bâtiment

## 1 Contexte de l'étude

Le secteur du bâtiment représente près de 45 % de la consommation énergétique nationale et plus de 25 % des émissions de gaz à effet de serre et génère plus de 42 millions de tonnes de déchets par an <sup>1</sup>. La réglementation évolue vers une approche plus globale de l'impact environnemental des bâtiments. Pour atteindre ces objectifs, des travaux importants de R&D sont encore à réaliser pour que le chantier soit le prolongement naturel des efforts de performance énergétique et environnementale pris en compte lors de l'éco-conception du bâtiment. Dans ce contexte, le projet R&D financé par l'ADEME DILC (Démonstrateur Innovations Logistiques Chantiers), dont le Loria est partenaire vise à proposer un nouveau dispositif pour la gestion systémique et numérique des chantiers. Il permet d'aboutir à une plateforme de massification modulable, démontable et transportable pour pouvoir l'adapter à des éco-programmes de tailles diverses en Europe. Cette plateforme permet de mutualiser les flux entrants (matériaux), sortants (déchets) et en interne sur programme pour réduire les impacts GES, réduire les coûts, améliorer le recyclage des déchets de chantiers (et les coûts associés). Cette communication se focalise sur un sous-problème rencontré dans le projet DILC [1], et qui concerne l'optimisation de la livraison de matériaux de construction de la plateforme aux chantiers, et la collecte des déchets issus de la construction vers la plateforme, avec la prise en compte de contraintes spécifiques au secteur du bâtiment. Il s'agit d'étudier une variante des problèmes de tournées avec collecte et livraison, appelée « Multi-Trip Pickup and Delivery Problem, with Split loads, Profits and Multiple Time Windows (MTPDPSPMTW) », permettant d'intégrer plusieurs contraintes qui n'ont pas encore été considérées simultanément dans la littérature comme le profil, la présence de plusieurs fenêtres horaires par client, l'utilisation d'une flotte hétérogène de taille limitée, la possibilité de réaliser des tournées multiples par véhicule, et de fractionner les livraisons et les collectes.

## 2 Définition du problème

Le MTPDPSPMTW est modélisé sous forme d'un graphe complet et orienté  $G = (E, V)$ , où  $V = \{0, \dots, n\}$  est l'ensemble des sommets et  $E = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq j\}$  est l'ensemble des arcs. Le sommet 0 représente la plateforme et les autres sommets représentent les chantiers de construction. Un temps de trajet  $t_{ij}$  et un coût  $c_{i,j}$  sont attribués à chaque arc  $(i, j)$ . Une flotte de  $m$  véhicules hétérogènes de type hayon est située à la plate-forme. Chaque véhicule a une capacité  $Q_k$  en palettes, une capacité  $W_k$  en tonnes, et un temps de travail maximum  $D_k$ . Le véhicule peut alors effectuer plusieurs allers/retours vers la plateforme. Chaque chantier  $i \in V$  a une demande de collecte de déchets de type Big-bag et une demande de livraison de matériaux de construction. Pour les déchets, il s'agit de déchets triés transportables par palettes. Il existe plusieurs types de déchets Big-bag comme le plastique souple, le plastique dur, le carton, etc. Les demandes de livraison concernent principalement des matériaux utilisés dans la phase second œuvre de la construction des bâtiments. Cette demande est exprimée en un ensemble de kits, qui sont préassemblés dans la plateforme pour les besoins spécifiques de chaque chantier et transportables

<sup>1</sup> <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/publications/p/2668/856/entreprises-btp-2275-millions-tonnes-dechets-2014.html>

aussi en palettes. Les demandes de livraison sont assez importantes par rapport aux demandes de collecte, et peuvent même dépasser la capacité du véhicule. Chaque chantier peut être servi plusieurs fois par le même véhicule (mais une fois par tournée), ou par des véhicules différents. Pour s'adapter à l'avancement des travaux et aux urgences des tâches à effectuer sur les chantiers, une priorité peut être assignée à chaque demande de collecte et/ou à chaque demande de livraison, ce qui permet de caractériser un profil par chantier. Chaque chantier  $i \in V \setminus \{0\}$  a un temps de service  $s_i$  qui correspond au temps de chargement/déchargement sur le site, et un ensemble de fenêtres temporelles  $TW_i = \{[e_i^1, l_i^1], [e_i^2, l_i^2], \dots, [e_i^t, l_i^t]\}$  modélisant les plages horaires où l'accès au chantier est autorisé.  $e_i^p$   $p \in \{1, \dots, t\}$  (respectivement  $l_i^p$ ) représente l'heure au plus tôt de début du service (respectivement l'heure au plus tard de fin de service) de la fenêtre horaire  $p$  du client  $i$ . Toutefois, il est possible de négocier des marges pour certaines fenêtres horaires de certains chantiers. Ces fenêtres horaires sont dites "flexibles" et sont relaxées à  $[e_i^p - me_i^p, l_i^p + ml_i^p] = [e_i^*, l_i^*]$ , où  $me_i^p$  ( $ml_i^p$  respectivement) et la marge en amont (respectivement en aval) de la fenêtre horaire  $p$  du client  $i$ . Notons  $[e_0, l_0]$  la fenêtre horaire de la plateforme. Si un véhicule voyage directement du chantier  $i$  au chantier  $j$ , le service de site  $j$  commence à  $b_j = \max\{e_j^c - me_j^c, b_i + s_i + t_{i,j}\}$ , où  $b_i$  représente le début du service en  $i$ , et  $e_j^c = \min_{1 \leq k \leq |TW_j|} \{e_j^k - me_j^k \mid l_j^k + ml_j^k - (b_i + s_i + t_{i,j} + s_j) \geq 0\}$  désigne la borne inférieure de la fenêtre horaire la plus adéquate. Une solution faisable à notre problème est un ensemble de tournées réalisables attribuées à au plus  $m$  véhicules, où chaque tournée doit commencer et se terminer à la plateforme, et doit respecter la capacité du véhicule, les demandes de livraison et de collecte peuvent être fractionnées sur plusieurs tournées, mais le kit n'est pas fractionnable, la durée de travail de chaque véhicule ne doit pas dépasser  $D_k$ , et chaque chantier peut être visité au plus une fois par tournée en respectant l'une de ses fenêtres horaires, mais peut être visité plusieurs fois par des tournées différentes. L'objectif est de minimiser la distance totale et de maximiser le profil.

### 3 Approches de résolution

Pour résoudre le MTPDPSPMTW, nous proposons une heuristique séquentielle appelée Score Based Heuristic (SBH). Cette heuristique insère les clients de proche en proche en utilisant un score calculé comme la pondération de 6 critères. Supposons que  $i$  est le dernier chantier inséré dans la tournée en cours, SBH cherche le prochain client faisable  $j$  minimisant le score. Les critères utilisés sont la distance entre  $j$  et  $i$ , la date au plus tôt d'arrivée en  $j$ , la borne supérieure maximum des fenêtres horaires du client  $j$ , le temps total disponible pour servir le client  $j$ , et un profit de livraison (respectivement de collecte) pondéré par la quantité cumulée déjà livrée (respectivement quantité cumulée déjà collectée) du client  $j$ . Nous avons généré de nouvelles instances pour représenter le contexte du projet DILC, et nous avons confirmé l'importance de tous les critères proposés et leur impact sur la solution finale en utilisant un outil automatique d'apprentissage IRACE [2]. L'approche proposée apporte une aide au gestionnaire de la plateforme, leur permettant d'ajuster leurs ressources (nombre de camions, temps de travail par camion) et de pouvoir négocier les marges des fenêtres horaires, tout en laissant plus de décision et de flexibilité aux gestionnaires pour s'adapter à une logistique très complexe. Les résultats des expérimentations seront illustrés à la conférence. Des travaux en cours visent à améliorer SBH par une recherche locale itérée (ILS), les phases d'intensification et de diversification d'ILS explorent des voisinages de la solution en modulant l'importance des poids des critères utilisés dans le calcul du score de SBH. Des résultats préliminaires permettent de constater une amélioration d'environ 20% de SBH.

### References

1. Jaballah, A. and Ramdane Cherif-Khettaf, W. (2021). Multi-trip Pickup and Delivery Problem, with Split Loads, Profits and Multiple Time Windows to Model a Real Case Problem in the Construction Industry. In Proceedings of the 10th International Conference on Operations Research and Enterprise Systems - Volume 1: ICORES, ISBN 978-989-758-485-5, pages 200-207. DOI: 10.5220/0010253002000207
2. Manuel López-Ibáñez, Jérémie Dubois-Lacoste, Leslie Pérez Cáceres, Mauro Birattari, Thomas Stützle, (2016). The irace package: Iterated racing for automatic algorithm configuration, Operations Research Perspectives, Volume 3, ISSN 2214-7160, pages 43-58, <https://doi.org/10.1016/j.orp.2016.09.002>.