

# Problème de tournées de véhicules à deux échelons avec des zones grises, des stations C2P et véhicules à faibles émissions

Edgar Ricardo Silva Russi<sup>1</sup>, Nacima Labadie<sup>1</sup>, Caroline Prodhon<sup>1</sup>

Laboratoire d'Optimisation des Systèmes Industriels (LOSI), Université de Technologie de Troyes,  
12 rue Marie Curie, CS 42060 10004 Troyes Cedex, France  
edgar.silva\_russi@utt.fr,nacima.labadie@utt.fr,caroline.prodhon@utt.fr

**Mots-clés** : *logistique urbaine ; livraison du dernier kilomètre ; synchronisation.*

## 1 Introduction

La croissance du e-commerce, stimulée par un accès plus large aux services Internet, tant pour les clients que pour les entreprises qui achètent et vendent leurs produits par ce canal, a généré un énorme potentiel de consolidation et de coordination des flux à travers des systèmes de distribution multi-échelons [1]. De plus, pour répondre aux défis particuliers du dernier kilomètre, la transition de l'utilisation de véhicules à moteur à combustion interne (ICEV) vers des véhicules à carburant alternatif (AFV), la mise en place de restrictions d'accès dans les zones densément peuplées et l'intégration de stations Customer-to-Parcel (C2P) (par exemple, des casiers et des points de retrait) sont devenues des mesures fréquemment adoptées. Contrairement au problème classique de tournées de véhicules à deux échelons (2E-VRP), dans cette étude, les clients peuvent être servis soit dans des stations C2P, soit par une livraison à domicile dans une fenêtre de temps spécifiée. Nous considérons les satellites du 2<sup>e</sup> échelon comme des potentielles stations C2P, et les zones grises sont constituées des clients aux frontières des centres urbains. Les contributions de ce papier sont développées comme suit : D'abord, la section 2 introduit et définit le problème. La section 3, présente la formulation mathématique, l'heuristique constructive et l'approche métaheuristique utilisée pour résoudre le problème. Enfin, les conclusions sont données dans la section 4.

## 2 Description du problème

Le problème considéré est de type 2E-VRP dans lequel deux flottes différentes (ICEV et AFV) commencent et finissent leurs routes dans leurs dépôts respectifs. Les ICEV livrent les marchandises depuis le dépôt du premier échelon, où le stock global de marchandises est situé, aux clients du premier échelon dans leurs fenêtres de temps ainsi qu'aux satellites. Ces derniers sont également utilisés comme stations C2P où des clients peuvent venir chercher leurs produits directement. Les AFV partent alors du dépôt du deuxième échelon sans charge. Ils doivent s'approvisionner immédiatement aux satellites où ils prendront les marchandises pour commencer leurs livraisons. Les AFV peuvent servir aussi bien des clients directement à leurs localisations ainsi que des stations C2P du second échelon. En raison des coûts associés à l'utilisation des véhicules et des satellites, le temps d'attente des véhicules à ces endroits est limité à une valeur spécifique et est minimisé par l'inclusion des coûts d'attente dans la fonction objectif (1) du modèle MILP. Ceci implique que l'arrivée des ICEV et des AFV aux satellites doit se faire approximativement en même temps afin que le transfert des marchandises soit aussi rapide que possible et de permettre aux deux types de véhicules de continuer leurs livraisons. Une fois qu'un AFV a terminé ses livraisons, il peut rejoindre un ICEV à un satellite pour récupérer de nouvelles marchandises et poursuivre un nouveau trajet, à condition de ne

pas dépasser la durée maximale imposée. Dans la formulation traditionnelle du 2E-VRP, les clients de chaque échelon sont connus à l'avance. Cependant, comme le montre [2], cette pré-affectation peut conduire à des résultats de mauvaise qualité car les clients proches des satellites pourraient être servis soit par un ICEV, soit par un AFV. Ainsi, [2] a introduit la notion de zone grise, une zone dans laquelle les clients peuvent être servis aussi bien par un ICVE que par un AFV. Dans notre modèle, les zones grises concernent les clients en livraison directe.

### 3 Méthodes de résolution

Le modèle mathématique est inspiré de [2] mais il prend en compte les fenêtres de temps pour les livraisons à domicile ; le temps d'attente sur les nœuds clients et les stations C2P sur chaque niveau ; et les décisions de localisation pour les satellites et les stations. La fonction-objectif (1) considère les coûts fixes des véhicules  $FC(k)$ , les coûts variables par distance  $CD(k)$ , le coût d'exploitation des véhicules par heure  $CT(k)$ , le coût d'ouverture des satellites et des stations C2P  $CU(i)$ , et les coûts d'attente aux satellites et aux nœuds clients  $CT(k)$ . Ensuite, les contraintes classiques des modèles à deux échelons ont été adaptées pour tenir compte des particularités de notre problème (continuité des routes, synchronisation des deux niveaux, rechargement aux satellites, etc.).

$$\begin{aligned} \min \sum_{i \in v^{all}} \sum_{j \in v^{all}} \sum_{k \in F} [(T(i, j) + ST(i)) * CT(k) + (Dis(i, j) * CD(k))] * X(i, j, k) + \\ \sum_{i \in V^{all}} \sum_{k \in F} W(i, k) * CT(k) + \sum_{e \in E} \sum_{j \in v^{all}} \sum_{k \in F} X(e, j, k) * FC(k) + \sum_{i \in c2p} Y(i) * CU(i) \end{aligned} \quad (1)$$

Où  $X(i, j, k)$  est une variable binaire dont la valeur est 1 si l'arc  $(i, j)$  est traversé par le véhicule  $k$ .

$T(i, k)/W(i, k)$  représente l'heure d'arrivée/temps d'attente du véhicule  $k$  au nœud  $i$ .

$Y(i)$  est une variable binaire dont la valeur est 1 si la station  $i$  est ouverte

Pour obtenir une solution initiale, nous avons développé une heuristique à trois phases. La première phase alloue la demande de chaque client C2P à la station C2P la plus proche en respectant les contraintes de capacité des stations et leurs rayons de couverture. Ensuite, les tournées sont créées par *Clarke and Wright savings algorithm* modifié pour tenir compte des fenêtres temporelles. Enfin, l'algorithme de la dernière phase assure la synchronisation sur les satellites et construit les tournées du premier niveau. Cette heuristique a été ensuite randomisée et incluse dans une métaheuristique de type *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP) comportant des mouvements de recherche locale intra et inter route (*swap*, *crossover*, *relocate*) dont la faisabilité peut être testée en  $O(1)$ .

### 4 Conclusions et perspectives

Notre modèle cherche à offrir un schéma de livraison du dernier kilomètre, où les coûts associés aux temps d'attente aux nœuds-clients et aux satellites sont minimisés grâce à la synchronisation des tournées des deux niveaux. De plus, notre modèle comprend des options de livraison via l'intégration de stations C2P en plus des livraisons traditionnelles à domicile sous fenêtres de temps. Notre formulation mathématique est efficace pour les instances de petite taille, cependant en raison de la nature NP-difficile du problème, et afin de résoudre des problèmes de grande taille nous avons développé une méthode métaheuristique. Les premiers résultats de la méthode sont prometteurs, ils seront détaillés lors de la conférence.

### Références

- [1] Lewczuk, K., Zak, J., Pyza, D., Jacyna-Golda, I. : Vehicle routing in an urban area : Environmental and technological determinants. In : WIT Transactions on the Built Environment, vol. 130, pp. 373-384. WIT Press, (2013).
- [2] Anderluh, A., Nolz, P.C., Hemmelmayr, V.C., Crainic, T.G. : Multi-objective optimization of a two-echelon vehicle routing problem with vehicle synchronization and 'grey zone' customers arising in urban logistics. In : European Journal of Operational Research, vol. 289, pp. 940-958. EJOR, (2021).