

# Une métaheuristique basée sur les colonies de fourmis pour le transport urbain par rail mixant fret et voyageurs

Walid Behiri<sup>1</sup>, Sana Belmokhtar-Berraf<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université Paris-Est, Laboratoire d'Informatique Gaspard-Monge UMR 8049, UPEMLV, ESIEE Paris, ENPC, CNRS, F-93162 Noisy-le-Grand France  
{walid.behiri}@esiee.fr

<sup>2</sup> Université Paris-Est, ESIEE Paris, Département Ingénierie des Systèmes. 2, boulevard Blaise Pascal Cité DESCARTES BP 99 93162 Noisy le Grand CEDEX  
{sana.berraf}@esiee.fr

**Mots-clés :** *transport, marchandises, rail, métaheuristique, colonies de fourmis.*

## 1 Introduction

Nous étudions une nouvelle perspective (opportunité) pour le transport de marchandises en ville « fret urbain », basée sur l'utilisation du réseau existant de transport de voyageurs par rail (métro, tramway et train de banlieue). Cette solution de transport mixant fret / voyageurs est suggérée dans [1] et [2].

Le mode de transport de voyageurs par rail en ville est constitué de trois composantes principales : les lignes de rail, les stations et les trains. Il s'agit de partager l'une de ces composantes, voire plusieurs, pour le transport de marchandises. En fonction du degré de mixité, on aura un certain nombre de contraintes opérationnelles et techniques à considérer. Plusieurs problématiques à plusieurs niveaux décisionnels ont été identifiées et définies [3].

Dans ce papier, toutes ces ressources sont partagées, pour le transport des deux flux fret / voyageurs. On se focalise sur une seule problématique, qui consiste à déterminer l'affectation des marchandises aux différents trains de voyageurs en circulation, tout en respectant les différentes contraintes d'exploitation.

## 2 Description et hypothèses du problème

Nous considérons une ligne du réseau ferroviaire de transport de voyageurs urbain, qui dessert  $S$  stations. Sur cette ligne, nous avons  $T$  passages de trains par période. Enfin, nous considérons  $J$  demandes de transport de marchandises par période. Les hypothèses du problème sont :

- Les demandes de transport des clients sont connues à l'avance. Pour chaque demande, les stations de départ  $dep_j$  et arrivée  $arr_j$  sont connues.
- Les marchandises sont acheminées à la station de départ à des dates différentes  $r_j$ .
- Les marchandises à transporter sont mises dans des colis de taille standard. Chaque demande de transport est exprimée en nombre de colis standards  $Q_j$ . Le temps de chargement d'un colis est donné par  $time$ . Chaque demande de transport doit être transportée en une seule fois.
- Les dates de mise en circulation des trains à partir de la première station sont connues. Les dates de passage de chaque train  $t$  par chaque station  $s$  «  $R_{jts}$  » sont calculées en fonction de leurs temps d'arrêt dans les stations précédentes.
- Le transport de marchandises s'effectue hors heures de pointe du transport de voyageurs.
- La capacité des trains en termes de chargement de colis est la même «  $Cap$  ». Cette capacité est calculée sur la base de la capacité résiduelle du transport de voyageurs.
- Chaque train doit marquer un arrêt dans chaque station de temps minimum «  $Wait_{min}$  », pour embarquer les passagers. De plus, pour préserver la qualité de service du transport de voyageurs, le temps d'arrêt maximum d'un train dans une station est donné par «  $Wait_{max}$  ».
- Toute station peut être utilisée pour charger ou décharger des marchandises.

L'espace dans les stations étant très limité en ville, nous le considérons comme une ressource critique dans le modèle de transport proposé. Afin d'améliorer son utilisation, il faudrait minimiser le temps de séjour des marchandises dans leur station de départ (soit, les transporter au plus tôt après leur réception dans leur station de départ). Cet objectif est retenu lors de la résolution.

Ce problème de transport peut être réduit à un problème d'affectation généralisée. On considère le cas où toutes les demandes de transport sont disponibles à l'instant 0, avec une seule station de départ et une seule station d'arrivée. Il s'agira de déterminer quel train va transporter quelle demande de transport, sachant que la capacité de transport de chaque train est limitée. Le problème d'affectation généralisée étant NP-difficile [4], le problème étudié dans ce papier l'est donc également.

### 3 Résolution avec les colonies de fourmis

Un PLNE qui résout rapidement des instances de taille modérée a été proposé [3]. Cependant, il n'est pas performant pour la résolution d'instances de grande taille (pour une période d'exploitation plus longue, avec plus de trains et de demandes de transport à considérer). Le solveur est arrêté au bout de 1h de calcul, sans trouver la solution optimale. Nous avons développé une métaheuristique basée sur les colonies de fourmis, dans laquelle nous avons injecté une heuristique qui permet de construire des solutions réalisables en intégrant les différentes contraintes du problème. Trois variantes de la métaheuristique sont proposées : Ant System, Max-Min Ant System et Ant colony System. L'algorithme de base a été adapté aux spécificités de notre problème comme suit :

- La construction d'une solution par chaque fourmi à chaque itération, s'effectue en parcourant un graphe dont chaque sommet représente un couple (train  $t$ , demande de transport  $j$ ). Un train peut prendre en charge plusieurs demandes de transport (en respectant les contraintes). Cependant, une demande de transport ne peut être prise en charge que par un seul train.
- Les distances servant à déterminer la visibilité sont données par :  $R_{jts} - r_j$  (avec  $s = \text{dep}_j$ ).
- L'actualisation de l'intensité des pistes à chaque itération, s'effectue en fonction de la quantité de phéromone déposée par chaque fourmi sur son parcours. Elle est calculée à partir de la longueur du tour de la fourmi, qui est égale à la somme des temps d'attente des marchandises dans leur station de départ :  $\sum_{j=1}^J (R_{jts} - r_j)$ , ( $s = \text{dep}_j$ ,  $t = \text{train transportant } j$ ).

### 4 Conclusions et perspectives

Dans ce travail de recherche, la méthode proposée permet de construire très rapidement (quelques secondes) des solutions d'assez bonne qualité pour les instances résolues par le PLNE, le gap moyen étant inférieur à 2%, ainsi que pour les instances de grande taille. En perspective, une amélioration des performances de cette métaheuristique peut être obtenue en l'hybridant avec des algorithmes de recherche locale. De plus, il reste à intégrer les aléas inhérents à l'exploitation de ce nouveau mode de transport. Il s'agit par la suite d'enrichir ce modèle en considérant la fluctuation de certains paramètres, tels que la demande de transport de marchandises, la capacité des trains (impactée par la variation de la demande de transport de voyageurs) et/ou le nombre de trains (présence d'incidents). Puis, de considérer des objectifs d'exploitation plus élaborés.

### Références

- [1] Dablanc, L. *Freight transport for development toolkit: Urban freight*. Department for International Development, The World Bank, 2009.
- [2] Robinson, M. and P. Mortimer. *Urban freight and rail - the state of the art*. Logistics & Transport Focus, January/February 2003, 46-51, 2003.
- [3] Behiri, W., O. Ozturk and S. Bemokhtar-Berraf. *Urban Freight by Rail: A MILP Modeling for Optimizing the Transport of Goods*. ILS 2016 - 6<sup>th</sup> International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain, 2016.
- [4] Fisher, M., R. Jaikumar and L. Van Wassenhove. *A multiplier adjustment method for the generalized assignment problem*. Management Science, 32(9), 1095-1103, 1986.