

# Heuristiques de génération de colonnes pour un problème de tournées sur arcs

Sébastien Lannez<sup>1,2,3</sup>, Christian Artigues<sup>2,3</sup>, Jean Damay<sup>1</sup>, Michel Gendreau<sup>4</sup>

<sup>1</sup> SNCF I&R/A<sup>2</sup>D; 45 rue de Londres, 75008 Paris, France,  
{sebastien.lannez,jean.damay}@sncf.fr

<sup>2</sup> Université de Toulouse; UPS, INSA, INP, ISAE; LAAS; F-31077 Toulouse, France

<sup>3</sup> CNRS; LAAS; 7 avenue du colonel Roche, F-31077 Toulouse, France  
artigues@laas.fr

<sup>4</sup> CIRRELT, Université de Montréal, C.P. 6128, Montréal (Québec), H3C 3J7 Canada  
michel.gendreau@cirrelt.ca

**Mots-Clés** : *tournées sur arc; génération de colonnes; heuristiques; maintenance ferroviaire; tournée de véhicule industriel*

## 1 Introduction

Dans cet article nous proposons la description d'un problème réel d'auscultation de rail ainsi que d'un algorithme de décomposition pour le résoudre. Un des principaux problèmes que les gestionnaires d'infrastructure ferroviaires doivent prendre en compte est la détection des risques de rupture de rail. Les défauts de rails sont les principaux signes avant coureurs de rupture et doivent donc être soigneusement surveillés. En 2009, RFF délègue la maintenance des voies à la SNCF. Cette dernière, au travers de sa branche INFRA, est responsable de la surveillance des défauts internes du rails. Ils sont surveillés par des engins de mesure à ultrasons. Lorsqu'ils engendrent un risque potentiel, une maintenance corrective est déclenchée. La réorganisation du processus de planification des tournées a été le vecteur du développement d'une méthode d'optimisation des programmes d'auscultation. Ce sous-réseau contient les rails les plus fréquemment auscultés, c'est-à-dire ceux ayant une fréquence de visite annuelle ou semestrielle. Par an, il représente 34 000 km d'auscultation soit 63% de la distance annuelle totale d'auscultation. Le problème est modélisé sous la forme d'un problème de tournée sur arcs avec fenêtres de temps, capacités limitées, nœuds de rechargement et flotte hétérogène. Les arcs et arêtes représentent les circulations possibles et les tâches à réaliser selon que la voie est à sens unique ou non. L'autonomie d'auscultation de chaque engin est limitée par la quantité d'eau qu'il peut transporter. Des nœuds de rechargement modélisent les points de garages. Les engins ont des caractéristiques de vitesse et d'autonomie différentes. Une originalité du problème est la nécessité de rejoindre un point de repos tous les soirs. Ces gares spéciales sont équipées pour permettre à l'équipage de dormir dans l'engin.

## 2 État de l'art

L'optimisation des processus de maintenances préventives dans le domaine ferroviaire a surtout été traité sous la forme de la détermination des fréquences optimales de passages ou de l'ordonnancement des tâches[1]. Dans cet article, nous proposons d'optimiser le processus de maintenance en améliorant la prise de décision au niveau des tournées. Le problème que nous proposons est formulé comme un

problème de tournées sur arcs avec capacités (CARP), dans lequel les véhicules ont des vitesses et des autonomies différentes. [2] constitue une bonne introduction à ce type de problème. Le problème d'optimisation incombant à la SNCF est une généralisation d'un certain nombre de problèmes de tournées sur arcs tel que le CARP (capacitated arc routing problem), le CARP-TW (CARP with time windows), le H-CARP (CARP with heterogeneous fleet), le CARP-RP (CARP with refill points). Nous présentons la modélisation du RTISP (Rail Track Inspection Scheduling Problem) sous forme d'un programme mathématique en nombres entiers.

### 3 Algorithme

L'algorithme proposé est constitué de trois modules principaux. Le premier fournit, par génération de colonnes, une solution optimale continue à partir de la résolution de la décomposition de Dantzig-Wolfe du programme en nombres entiers. Cette étape permet d'agrèger les tâches d'auscultations sous la forme de super-tâches représentant une journée de service valide calculée par le sous problème de la génération de colonnes. Dans le second module, ces solutions continues sont utilisées comme point de départ dans une heuristique d'arrondi. Cette heuristique sélectionne les journées de service faisant partie de la solution continue et affecte ces journées à une journée calendaire et un véhicule. Si toutes les journées de service ne peuvent pas être affectées à une journée calendaire, une coupe est ajoutée à la décomposition de Dantzig-Wolfe et on génère une nouvelle solution. Sinon, le critère d'arrêt est satisfait et la solution partielle ne viole ni les contraintes de capacité, ni la réalisabilité des fenêtres de temps. Mais elle peut violer les contraintes de conservation de flots entre deux journées de services. Cette solution candidate est utilisée pour générer un problème d'ordonnancement sur plusieurs machines avec des temps de préparation dépendant des engins et des tâches. Ce problème est résolu à l'aide de propagation de contraintes et d'un algorithme de liste évolué. Si la solution est irréalisable, une coupe peut être ajoutée au problème maître afin de sélectionner un autre ensemble de journées de service.

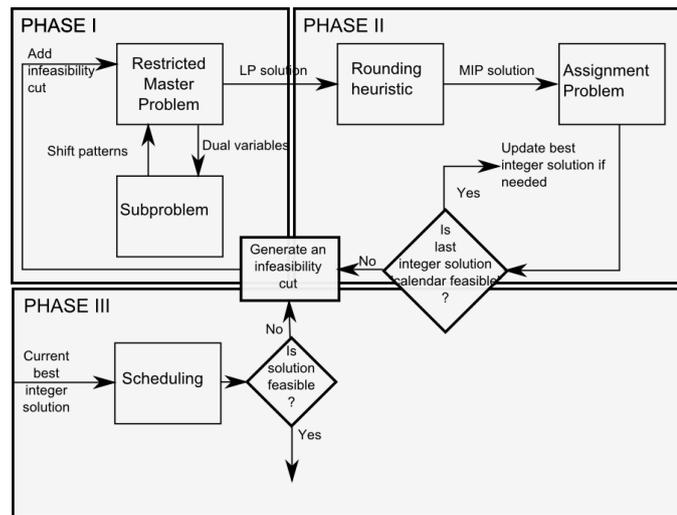


FIGURE 1 – Schéma de l'algorithme

### 4 Conclusion

Les résultats numériques sont concluants sur des jeux de données dont le graphe résultant contient plus de 1000 nœuds pour 2000 arcs. Les solutions générées en moins de deux heures satisfont les utilisateurs de l'outil de décision.

### Références

- [1] G. Budai, D. Huisman and R. Dekker. Scheduling preventive railway maintenance activities *Journal of the Operational Research Society*, 57(9):1035–1044, 2006.
- [2] M. Dror. Arc routing : theory, solutions and applications, *Springer*, 2000.