

# Optimisation intégrée de l’affectation des sillons et de la planification des engins dans le transport ferroviaire de marchandises

Louis Fourcade<sup>1</sup>, Stéphane Dauzère-Pérès<sup>2</sup>, Juliette Pouzet<sup>1</sup>,  
Ariane François<sup>1</sup>, Vincent Chmielarski<sup>3</sup>

<sup>1</sup> SNCF, Département Direction Technologies, Innovation Projets Groupe (DTIPG), Saint-Denis,  
France

`{louis.fourcade, juliette.pouzet, a.francois}@sncf.fr`

<sup>2</sup> Mines Saint-Etienne, CNRS, UMR 6158 LIMOS, Gardanne, France  
`dauzere-peres@emse.fr`

<sup>3</sup> FRET SNCF, Direction Performance et Services, Lille, France  
`vincent.chmielarski@sncf.fr`

**Mots-clés** : *recherche opérationnelle, optimisation, transport ferroviaire, génération de colonnes, méthodes de décomposition*

## 1 Contexte et Objectifs

La planification optimisée des ressources pour le fret ferroviaire est au coeur de nombreux enjeux actuels : objectif européen de réduction des émissions de gaz à effet de serre à hauteur de 55% d’ici 2030 et doublement de la part modale du ferroviaire dans le transport de marchandises. Fret SNCF a récemment commencé à intégrer des outils développés en interne d’aide à la décision et de recherche opérationnelle utilisés séquentiellement dans son processus de planification. Chaque “bloc” d’optimisation est dédié à la gestion d’un type de ressources critiques, et le processus d’optimisation séquentiel associé induit des pertes d’optimalité.

Notre travail aborde le problème de l’optimisation simultanée de la sélection des sillons pour répondre aux demandes et à la planification des missions des engins moteur pour couvrir les sillons. Comme nous considérons l’intégration de décisions de planification, notre approche est pertinente tant au niveau stratégique qu’au niveau tactique (tel que défini dans [6]).

Plusieurs problèmes intégrés en planification des transports sont traités dans la littérature, en particulier dans le transport ferroviaire et le transport aérien. Les approches reposant sur la génération par colonnes [2, 1, 4] ou sur la décomposition lagrangienne [3] et [5] sont fréquemment utilisées. Des heuristiques et d’autres approches de résolution ont aussi été proposées, mais elles sont souvent dépendantes de contraintes opérationnelles qui peuvent être trop spécifiques pour que les méthodes soient efficaces dans des cas plus généraux [6].

## 2 Méthode et Modèles

Exploitant les modèles mathématiques déjà utilisés par Fret SNCF nous avons défini un programme linéaire en nombres entiers compact dédié à notre problème intégré. Une approche par génération de colonnes a également été développée. Nous décomposons notre problème intégré en deux sous-problèmes : (1) Un problème d’acheminement qui détermine un ensemble de convois possibles pour chaque client et (2) Un problème de planification des engins qui détermine les itinéraires individuels.

Une des originalités de notre approche est de considérer simultanément deux ensembles de colonnes et deux sous-problèmes. Le problème maître est alors formulé comme le couplage de

ces deux ensembles. Les deux sous-problèmes sont traités respectivement sous la forme d’une recherche de chemins dans un graphe ainsi qu’un problème de chemin de poids maximum, résolu grâce à un algorithme de propagation de labels dérivé de l’algorithme de Bellman Ford.

Les exploitants ferroviaires doivent parfois faire face à des missions ponctuelles ou à des contraintes imprévues qui nécessitent la construction manuelle d’un plan pour les engins. C’est pourquoi nous avons mis en place une interface pour les gestionnaires, afin qu’ils puissent interagir et ajouter manuellement des colonnes (où une colonne correspond à un convoi ou au plan d’un engin) dans le modèle mathématique, voire forcer l’utilisation de colonnes.

### 3 Conclusions et perspectives

Nos modèles ont été testés sur des instances dérivées des plans de transport de marchandises annuels réels de Fret SNCF pour 2022 et 2023. Sur de petites instances, le modèle mathématique compact atteint des résultats très encourageants, confirmant un gain de 3 à 4 engins moteur pour un plan d’une semaine avec 160 demandes. Cependant, le temps de calcul augmente de manière exponentielle avec la taille du catalogue de sillons et le nombre de demandes à considérer. L’approche par génération de colonnes n’est pas plus rapide sur les petites instances, mais des instances plus grandes peuvent être résolues plus facilement. Les gains observés avec le modèle compact sont confirmés avec l’approche par génération de colonnes. Cependant, la résolution du sous-problème dans l’approche par génération de colonnes est actuellement assez lente pour de grandes instances. Nous explorons des méthodes alternatives plus efficaces pour la génération de nouveaux sous-ensembles de colonnes améliorantes.

Enfin, le modèle d’optimisation global peut probablement difficilement être utilisé tel quel dans un contexte industriel ferroviaire de marchandises compte tenu des contraintes opérationnelles dans le processus de planification. L’approche interactive que nous proposons semble pertinente dans un processus d’aide à la décision.

### Références

- [1] Lukas Bach, Twan Dollevoet, and Dennis Huisman. Integrating Timetabling and Crew Scheduling at a Freight Railway Operator. *Transportation Science*, 50(3) :878–891, August 2016.
- [2] Lukas Bach, Michel Gendreau, and Sanne Wøhlk. Freight railway operator timetabling and engine scheduling. *European Journal of Operational Research*, 241(2) :309–319, March 2015.
- [3] Stéphane Dauzère-Pérès, David De Almeida, Olivier Guyon, and Faten Benhizia. A Lagrangian heuristic framework for a real-life integrated planning problem of railway transportation resources. *Transportation Research Part B : Methodological*, 74 :138–150, April 2015.
- [4] Hanchuan Pan, Lixing Yang, and Zhe Liang. Demand-oriented integration optimization of train timetabling and rolling stock circulation planning with flexible train compositions : A column-generation-based approach. *European Journal of Operational Research*, 305(1) :184–206, February 2023.
- [5] Xiaoming Xu, Chung-Lun Li, and Zhou Xu. Integrated train timetabling and locomotive assignment. *Transportation Research Part B : Methodological*, 117 :573–593, November 2018.
- [6] Yixiang Yue, Juntao Han, Shifeng Wang, and Xiang Liu. Integrated Train Timetabling and Rolling Stock Scheduling Model Based on Time-Dependent Demand for Urban Rail Transit : Integrated train timetabling and rolling stock scheduling model based on time-dependent demand for urban rail transit. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 32(10) :856–873, October 2017.