

# Optimisation du plan de transport ferroviaire par planification intégrée des ressources

Faten Benhizia<sup>1,2</sup>, David De Almeida<sup>1</sup>, Stéphane Dauzère-Pérès<sup>2</sup>, Gilles Dessagne<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SNCF, Direction Innovation et Recherche, Département Services, Réseaux et Optimisation (SRO), 45 rue de Londres, 75379 Paris Cedex 08, France

{faten.benhizia,david.de\_almeida,gilles.dessagne}@sncf.fr

<sup>2</sup> Ecole des Mines de Saint-Etienne, Centre Microélectronique de Provence, 880 avenue de Mimet, F-13541 Gardanne, France  
dauzere-peres@emse.fr

**Mots-Clés** : *planification intégrée, programmation linéaire en variables mixtes, production des circulations ferroviaires.*

## 1 Contexte industriel et objectifs

La production des circulations ferroviaires repose sur une exploitation synchronisée de plusieurs ressources rares et hétérogènes; en particulier, l'infrastructure (sillons<sup>1</sup>), les engins ferroviaires et les Agents de Conduite (AdC). L'utilisation de ces ressources ferroviaires engendre des coûts très importants pour la SNCF. Dans un contexte caractérisé par l'ouverture à la concurrence, une gestion efficace et optimisée de ces ressources matérielles et humaines est indispensable.

A l'heure actuelle, l'optimisation du plan de transport repose essentiellement sur une planification séquentielle optimisée de chacune des ressources de la production ferroviaire.

1. **Elaboration d'une grille horaire optimale.** La prise en compte de l'offre commerciale est faite à travers l'élaboration d'un graphique espace-temps où chaque train est représenté par son sillon, ceci permettant de définir la réservation dans le temps de l'infrastructure ferroviaire. La construction d'une grille horaire optimale nécessite de prendre en compte l'ensemble des contraintes métiers du système ferroviaire.
2. **Planification optimisée des engins ferroviaires.** Cette étape consiste à engager de manière optimale les engins ferroviaires pour couvrir la charge de travail induite par la production des sillons, en construisant des roulements pour chaque parc d'engins ferroviaires et en respectant les contraintes techniques et fonctionnelles liées à l'utilisation de ces ressources de traction.
3. **Planification optimisée des AdC.** Il s'agit d'abord de construire des journées de services<sup>2</sup> pour couvrir de manière optimale la production des sillons en respectant les contraintes réglementaires. Il faut ensuite enchaîner ces journées de service de manière cohérente pour concevoir une grille de service optimale pour chaque dépôt d'AdC.

Cette démarche de planification séquentielle des ressources nécessaires à la production ferroviaire permet de maîtriser la complexité du processus de planification et, d'un point de vue mathématique, de diminuer considérablement la taille des problèmes étudiés. Cependant, elle génère des solutions qui peuvent être de moindre qualité vis à vis de l'expert métier, puisque les décisions prises à une

---

<sup>1</sup>constitue la capacité d'infrastructure requise pour faire circuler un train donné entre deux points du réseau ferré pendant une période de temps donnée

<sup>2</sup>représente la journée de travail d'un AdC

étape donnée peuvent réduire considérablement l'ensemble des solutions réalisables aux étapes subséquentes. Dans ce contexte, une démarche de planification intégrée peut être envisagée pour coordonner l'utilisation des différentes ressources, améliorer leur utilisation globale dans la production ferroviaire et accroître la qualité du processus de production des circulations ferroviaires. La planification intégrée a déjà été étudiée dans d'autres domaines d'activités, notamment dans le domaine aérien, pour résoudre principalement les problèmes d'intégration des itinéraires d'avions et des rotations d'équipages, en vue d'atteindre une meilleure utilisation globale des ressources. On peut par exemple citer les travaux de Mercier et Soumis [1] qui étudient l'optimisation intégrée des avions et des équipages, combinée avec la possibilité de légèrement décaler les heures de départ. Des tests effectués avec des données provenant de deux compagnies aériennes montrent que les coûts variables d'équipage sont réduits en moyenne de 8,30% quand les heures de départ peuvent être avancées ou reculées de 5 minutes. Pour les transports en commun, Huisman et al. [2] proposent des approches basées sur la génération de colonnes et la relaxation Lagrangienne pour résoudre le problème intégré d'affectation des bus aux itinéraires sélectionnés et des rotations des chauffeurs, avec des gains pouvant aller jusqu'à 10 chauffeurs sur 51 par rapport à une approche séquentielle. Notre étude de la littérature nous a permis de constater les apports de modèles intégrés, et les difficultés liées à leur exploitation. Nous avons également observé que peu de travaux existent sur le sujet dans la littérature ferroviaire. Face à ce constat, nous proposons des démarches et des modèles d'optimisation génériques pour traiter globalement et de manière simultanée le problème de planification des ressources de la production ferroviaire, habituellement traité de façon séquentielle.

## 2 Démarche de planification intégrée

L'optimisation du plan de transport par planification intégrée des ressources de la production ferroviaire peut être abordée de diverses façons, suivant le niveau temporel de décision.

- **En étude.** Ce niveau de décision vise à optimiser le plan de transport par planification intégrée des ressources de la production ferroviaire (sillons-engins-AdC), en se basant sur une grille horaire préexistante en vue d'orienter les demandes de sillons.
- **En conception.** Quand les sillons disponibles sont connus, il est nécessaire de ré-optimiser le plan de transport construit en étude, en considérant les nouvelles contraintes de disponibilités des sillons et en incluant les ressources engins et AdC dans une planification intégrée optimisée.
- **En opérationnel.** Il s'agit de considérer les perturbations de la grille horaire dues aux incidents et aux demandes commerciales tardives, et de les intégrer dans le plan de transport construit en amont, en ré-optimisant l'utilisation des ressources engins et AdC.

D'un point de vue pratique, la gestion intégrée des ressources de la production ferroviaire est complexe, aussi bien à des niveaux anticipés de décision que pour la gestion opérationnelle de la production ferroviaire. Nous proposons dans un premier temps un modèle de programmation linéaire en variables mixtes du problème intégré de construction de roulements d'engins ferroviaires et de grilles de services AdC. Nous présentons les résultats obtenus avec le solveur Ilog Cplex et nous les comparons avec ceux issus d'une approche séquentielle.

La résolution de ce modèle par solveur standard s'avère très coûteuse en temps de calcul. L'une des perspectives de cette étude est de proposer des algorithmes performants pour résoudre des problèmes de planification intégrée de taille industrielle. Nous visons aussi à étendre les modèles proposés afin de considérer des niveaux supplémentaires d'intégration.

## Références

- [1] A. Mercier, F. Soumis. An Integrated Aircraft Routing, Crew Scheduling and Flight Retiming Model. *Computers & Operations Research*, 34:2251–2265, 2007.
- [2] D. Huisman, R. Freling, A. P. M. Wagelmans Multiple-Depot Integrated Vehicle and Crew Scheduling. *Transportation Science*, 39(4):491–502, 2005.