

Génération de sillons optimisés dans un environnement ferroviaire complexe

Guillaume Joubert^{1,2}, Antoine Jouglet², Dritan Nace², Marion Postec¹, Bertrand Houzel¹

¹ SNCF Réseau, DGEX, F-93210 Saint-Denis, France

{guillaume.joubert,marion.postec,bertrand.houzel}@reseau.sncf.fr

² Université de Technologie de Compiègne, Heudiasyc, F-60200 Compiègne, France

{guillaume.joubert,antoine.jouglet,dritan.nace}@hds.utc.fr

Mots-clés : *Grilles horaires, affectation de voies, ordonnancement, optimisation.*

Introduction

Le problème d'horairisation de circulations ferroviaires consiste à donner un horaire de départ et d'arrivée à un ensemble de trains pour toutes les gares de leur parcours sur un ensemble de lignes donné : on dit alors que l'on attribue un sillon pour chaque train qui circulera sur le Réseau Ferré National. Le problème d'affectation de voies à quai consiste à déterminer à partir d'une grille horaire issue de la résolution du problème précédent, quel itinéraire devront emprunter les trains en gares et sur quelle voie ils devront stationner. Dans le processus de production horaire du Gestionnaire d'Infrastructure ferroviaire français, ces deux étapes sont effectuées de manière séquentielle, ce qui peut engendrer des incompatibilités au moment d'affecter des voies à quai en gares, et demander des itérations supplémentaires pour proposer des modifications d'horaires résolvant ces conflits.

Une description détaillée de ces deux problèmes ainsi que des techniques de résolution sont présentées dans l'article [3] basé sur des travaux antérieurs dans le cas où le temps est non cyclique. Le manuscrit [1] se concentre sur le problème d'affectation de voies à quai dans une gare à forte densité de circulation dans le but de produire des horaires réalisables pour une journée d'exploitation. Dans le manuscrit [5], ces problèmes sont résolus avec une préoccupation particulière sur le temps de trajet des voyageurs, à l'échelle d'un pays et avec une notion du temps cyclique. L'article [2] résout le problème d'horairisation de circulations en combinant des approches utilisant des niveaux d'infrastructure microscopique et macroscopique. L'article [7] s'intéresse à une optimisation conjointe d'un plan de ligne au niveau stratégique et de l'horairisation des circulations associées. Les articles [4,6] traitent simultanément les problèmes d'horairisation de circulations et d'affectation de voies à quai : le premier cherche à minimiser la période de répétition des trains sur une infrastructure unidirectionnelle, tandis que le deuxième prend en compte des contraintes de roulements-matériels et se place à un niveau d'infrastructure mésoscopique.

Problématique considérée et originalité de la contribution

L'objectif scientifique de cette thèse est de résoudre le problème de génération de sillons tels qu'ils soient horairisés et qu'ils possèdent une affectation de voies tout au long de leur parcours, en couvrant au mieux l'Expression de Besoins en mobilité émise par les Autorités Organisatrices des Transports, et en respectant de l'intégralité des contraintes liées à l'exploitation ferroviaire qui garantissent la sécurité des circulations. Les plus-values pour l'entreprise seront notamment une utilisation optimisée de la capacité du réseau ferroviaire, et l'assurance d'une planification robuste et transparente des sillons avant leur attribution aux Entreprises Ferroviaires qui font rouler les trains. La question de l'intégration d'un tel outil dans le système de production horaire de SNCF Réseau et de son utilisation par les spécialistes de l'horaire incarne un objectif industriel pour cette thèse.

L'originalité la contribution, du point de vue de l'entreprise, tient au fait de pouvoir mettre entre les mains des spécialistes de l'horaire un outil d'Aide à la Décision qui leur apportera des suggestions de sillons horairisés et avec affectation de voies, alors qu'aujourd'hui l'horairisation se fait avec de l'aide à la conception, et que l'affectation exhaustive de voies dans les gares importantes est traitée à posteriori. D'un point de vue scientifique, il existe cependant des contributions dans la littérature traitant de sujets connexes à l'international, par exemple les articles [4,5,6]. L'originalité scientifique sera caractérisée davantage, tant par l'abord de spécificités métier complémentaires, que par le choix des méthodes de résolution que nous allons employer.

Méthodologie mise en œuvre et perspectives

Nous avons démarré notre étude par un échange avec des horairistes qui construisent les grilles horaires plusieurs années en amont. Cela nous a permis de formaliser mathématiquement des concepts de leur métier et de travailler sur une première instance fictive non cyclique, avec quelques gares et moins d'une dizaine de trains. Après des essais concluants, nous avons proposé un programme linéaire en nombres entiers que nous avons pu tester sur une partie d'une instance fournie par les horairistes. L'objectif est de minimiser les temps de parcours d'un ensemble de trains dans une grille horaire cyclique, en respectant notamment des contraintes de temps de trajet et d'arrêt minimaux pour chaque opération d'un sillon, de délais d'espacement entre deux circulations de même sens, de délais de cisaillement entre deux sillons empruntant des itinéraires incompatibles, et de délais de réoccupation de voies à quai en gares. Nous résolvons ce problème à l'optimalité en utilisant un solveur commercial. Les solutions obtenues sont sans conflits et fournissent une affectation de voie ainsi qu'un horaire de début pour les opérations en lignes et en gares de chaque sillon.

En perspectives, nous travaillerons sur la robustesse d'un tel système, et sur la considération de correspondances entre les circulations. Une étape importante sera de concevoir et d'implémenter des approches de résolution efficaces comme des méthodes de décomposition ou des métaheuristiques, afin de résoudre des instances plus complexes en temps raisonnable.

Références

- [1] Lijie Bai. *Ordonnancement des trains dans une gare complexe et à forte densité de circulation*. Manuscrit de thèse, 2015.
- [2] Nikola Bešinović, Rob M.P. Goverde, Egidio Quaglietta, Roberto Roberti. *An integrated micro-macro approach to robust railway timetabling*. *Transportation Research Part B* 87 :14-32, 2016.
- [3] Valentina Cacchiani, Laura Galli et Paolo Toth. *A tutorial on non-periodic train timetabling and platforming problems*. *EURO Journal on Transportation and Logistics* 4 :285-320, 2015.
- [4] Matthew E.H. Petering, Mojtaba Heydar et Dietrich R. Bergmann. *Mixed-Integer Programming for Railway Capacity Analysis and Cyclic, Combined Train Timetabling and Platforming*. *Transportation Science*, 2015.
- [5] Peter Sels. *Large-scale, passenger oriented, cyclic railway timetabling and station platforming and routing*. Manuscrit de thèse, 2016.
- [6] Raimond Wüst, Stephan Bütikofer, Severin Ess, Claudio Gomez, Albert Steiner, Marco Laumanns et Jacint Szabo. *Periodic Timetabling with 'Track Choice'-PESP based on given line concepts and mesoscopic infrastructure*. *Operations Research Proceedings* 2018, 2019.
- [7] Fei Yan et Rob M.P. Goverde. *Combined line planning and train timetabling for strongly heterogeneous railway lines with direct connections*. *Transportation Research Part B* 127 :20-46, 2019.