

Heuristique pour l’horairisation de plan de transport ferroviaire amont

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

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

{guillaume.joubert,marion.postec}@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 : *heuristique, horairisation, affectation de voies, ordonnancement*

1 Introduction

Une des missions de SNCF Réseau est de produire l’Horaire de Service (HDS) qui correspond à un ensemble de circulations ferroviaires sur une année dont l’horaire est planifié en tout point remarquable de leur parcours. Chaque train qui circule sur le Réseau Ferré National a pour origine une gare de départ et pour destination une gare d’arrivée, et effectue un certain nombre d’opérations de *marche* en lignes et de *passage* ou d’*arrêt* en gares. On nomme sillon la réservation de capacité spatio-temporelle sur l’infrastructure permettant à un train de réaliser ses opérations. Horairiser un sillon, c’est donc permettre à un train de circuler sur un parcours particulier de l’infrastructure à des horaires précis. Nous nous intéressons à la fin d’une phase de production de l’HDS dite de *structuration de la capacité*, qui démarre un peu plus de deux ans avant le début de l’exploitation de l’HDS [1].

En amont de cette phase, une Expression de Besoins (EdB) en mobilités est constituée à partir de souhaits émis par les Autorités Organisatrices de Transports représentées par les régions, par les Entreprises Ferroviaires qui font rouler les trains, et à partir d’un retour d’expérience sur les HDS des années antérieures. L’EdB décrit un ensemble de sillons à horairiser. Pour chacun d’eux, nous connaissons son origine, sa destination, sa politique de desserte et la durée nominale de ses opérations. De plus, nous disposons d’une description de l’infrastructure ferroviaire, ainsi que des normes de tracé décrivant localement la manière de positionner les sillons les uns par rapport aux autres pour éviter qu’ils occupent les mêmes portions de voies à des instants trop proches.

L’enjeu pour les horairistes de SNCF Réseau est de fournir un horaire de départ pour chacune des opérations des sillons de l’EdB, de telle sorte qu’il n’y ait aucun conflit entre les sillons horairisés. L’objectif de ces travaux est d’accompagner les horairistes dans cette tâche en leur apportant des suggestions d’ensembles de sillons horairisés répondant à une EdB. Cet appui peut s’avérer significatif lorsque des modifications importantes de l’infrastructure (ouverture de lignes ou travaux impactant la vitesse maximale autorisée sur certaines sections) ou de l’EdB rendent infaisables et difficilement adaptables les solutions précédemment construites par les horairistes. Conjointement à la planification horaire, nous proposons une affectation de voies en lignes et en gares pour les opérations des sillons. Ces décisions ont une importance capitale sur la possibilité ou non de faire circuler des sillons simultanément en certains points fortement sollicités de l’infrastructure.

2 Description succincte du problème

Nous cherchons à résoudre la combinaison d’un *Train Timetabling Problem* et d’un *Train Platforming Problem* [2, 3] dans le cas d’un horizon de temps périodique et avec une description de l’infrastructure à une échelle mésoscopique. Le *Track-Choice Periodic Event Scheduling Problem (TC-PESP)* [4] est une manière de modéliser ce problème par extension du *PESP* [5].

Soit $I = \{1, 2, \dots, N\}$ l’ensemble des indices des sillons de l’EdB et $J_i = \{o_{i1}, o_{i2}, \dots, o_{in_i}\}$ l’ensemble des opérations du sillon $i, \forall i \in I$. S est l’ensemble des sections de gares et de

lignes constituant l'infrastructure, possédant chacune un certain nombre de voies. Chaque opération o_{ij} est affectée à une voie d'une section $s \in S$ et possède un instant de départ $t_{ij} \in [0..T], \forall i \in I, \forall j \in J$, avec T l'horizon de temps périodique considéré en minutes. L'affectation de voies aux opérations successives des sillons crée des itinéraires précis sur l'infrastructure. Le problème consiste à planifier les instants de départ et les affectations de voies pour toutes les opérations des sillons de manière à respecter les contraintes sécuritaires : d'*espacement* entre les sillons de même sens pour éviter le rattrapage des trains sur les sections de ligne ; de *cisaillement* qui empêchent la circulation de trains peu espacés dans le temps pour des sillons sécants ; et de *réoccupation* afin de prévenir toute collision en gares, et en lignes pour des sillons de sens opposé. Des contraintes commerciales doivent également être respectées, comme la correspondance entre des sillons spécifiques sur une section donnée, les coupes et accroches qui permettent à des sillons de se séparer ou de fusionner sur une section de leur parcours, ou encore la mise en place d'un intervalle temporel prédéfini entre le départ de deux sillons semblables de même sens.

3 Méthodologie et perspective

Nous avons modélisé ce problème par un Programme Linéaire en Nombres Entiers, implémenté et testé avec un solveur commercial. Concernant la description de l'infrastructure et les sillons à horairiser, nous utilisons des données fictives, ainsi que des données dans un contexte réel. Dans les deux cas, les instances deviennent difficiles à résoudre avec l'augmentation du nombre de sillons à horairiser. Nous travaillons sur une heuristique permettant d'horairiser rapidement une bonne proportion des sillons de l'EdB en évitant l'apparition de conflit. S'il reste des sillons à horairiser, nous chercherons itérativement à ajouter ces sillons à la solution en résolvant les conflits, comme le propose [6]. Plusieurs options sont envisagées pour notre heuristique. Une première méthode consiste, tant que cela ne provoque pas de conflit, à sélectionner itérativement le sillon à traiter puis à choisir un horaire pour ses opérations, en tenant compte de l'ensemble des sillons déjà horairisés et de la capacité résiduelle de l'infrastructure. De légères modifications de l'horaire des sillons déjà horairisés peuvent permettre l'insertion de sillons complémentaires. Une deuxième méthode utilise un algorithme de liste, pour lequel la priorité entre les sillons est déterminée par la résolution d'un *Traveling Salesperson Problem* minimisant la capacité perdue en certains points de l'infrastructure selon l'ordonnancement des sillons. En perspective, nous travaillerons sur la résolution de conflits permettant l'amélioration de la solution initiale obtenue par l'heuristique.

Références

- [1] SNCF Réseau *Document de Référence du Réseau Ferré National, Horaire de Service 2023*. <https://www.sncf-reseau.com/fr/document-reference-reseau/horaires-service-2023> (Version du 10 septembre 2021)
- [2] Matthew E.H. Petering, Mojtaba Heydar and Dietrich R. Bergmann. *Mixed-Integer Programming for Railway Capacity Analysis and Cyclic, Combined Train Timetabling and Platforming*. Transportation Science, 2015.
- [3] Peter Sels. *Large-scale, passenger oriented, cyclic railway timetabling and station platforming and routing*. Manuscrit de thèse, 2016.
- [4] Raimond Wüst, Stephan Bütikofer, Severin Ess, Claudio Gomez, Albert Steiner, Marco Laumanns and Jacint Szabo. *Periodic Timetabling with 'Track Choice'-PESP based on given line concepts and mesoscopic. infrastructure*. Operations Research Proceedings 2018, 2018.
- [5] Paolo Serafini and Walter Ukovich. *A Mathematical Model for Periodic Scheduling Problems*. SIAM Journal on Discrete Mathematics 2 :550-581, 1989.
- [6] Julian Reisch, Peter Grossmann, Daniel Pöhle and Natalia Kliewer *Conflict resolving - A local search algorithm for solving large scale conflict graphs in freight railway timetabling*. European Journal of Operational Research 293 :1143-1154, 2021