

# Une approche basée sur la Programmation par Contraintes pour résoudre le problème d’ordonnement de sillons périodiques avec affectation de voies à une échelle mésoscopique

Guillaume Joubert<sup>1,2</sup>, Antoine Jouglet<sup>2</sup>, Dritan Nace<sup>2</sup>, Marion Postec<sup>1</sup>, Ronan Bocquillon<sup>3</sup>

<sup>1</sup> SNCF Réseau, DGEX Solutions & DGEX DIGIT, France

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

<sup>2</sup> Université de Technologie de Compiègne, Heudiasyc, France

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

<sup>3</sup> Université de Tours, LIFAT, France

ronan.bocquillon@univ-tours.fr

**Mots-clés** : *Ordonnement, Affectation de voies, Programmation par Contraintes*

## 1 Introduction

Un sillon est défini par la réservation de voies de l’infrastructure ferroviaire sur des intervalles de temps permettant à un train de circuler de son origine à sa destination. Nous nous intéressons à un problème industriel dont le but est de planifier les horaires et les affectations de voies pour une demande connue de  $n$  sillons issue d’une concertation avec les Autorités Organisatrices de Transports sur une période cyclique  $T$ . Ces travaux permettront d’aider à la décision aux chargés d’études horaires du Gestionnaire d’Infrastructure ferroviaire national SNCF Réseau dans la phase dite de structuration des capacités [7] environ deux ans avant l’exploitation.

## 2 Description du problème

Notre problème de décision combine les versions périodiques du *Train Timetabling Problem* [1], souvent modélisé en Programmation Linéaire en Nombres Entiers (PLNE) par un *Periodic Event Scheduling Problem (PESP)* [6], et du *Train Platforming Problem* [1]. Les temps de parcours et d’arrêt en gare sont connus pour chaque sillon. Il s’agit de décider s’il existe des horaires et des affectations de voies pour chaque sillon tel que le plan de transport résultant soit sans conflit.

### 2.1 Echelle de l’infrastructure

Nous proposons l’affectation de voies en gares et aussi sur les sections de lignes entre les gares quand cela est pertinent. Nous considérons l’infrastructure ferroviaire à une échelle mésoscopique [2] permettant de modéliser fidèlement la compatibilité entre itinéraires reliant des voies à quai et des voies en sections de lignes. Ce niveau de discrétisation spatiale est à mi-chemin entre :

- l’échelle macroscopique offrant peu de détail sur la topologie du réseau, *i.e.* un graphe dans lequel chaque sommet est une gare dont on connaît le nombre de voies et chaque arc correspond à l’existence de voies circulables d’une gare à une autre.
- l’échelle microscopique qui représente le réseau finement jusqu’au détail des aiguillages. Un modèle de planification de sillons à cette échelle est plus complexe à résoudre.

D’autres recherches ont été menées sur la détermination de plan de transport périodique avec affectation de voies à une échelle mésoscopique [9], en utilisant un modèle en PLNE.

## 2.2 Décisions et contraintes

Chaque sillon est constitué d'opérations successives d'arrêt ou de passage en gare et de circulation sur des sections de ligne entre les gares. Il s'agit de décider une date de début comprise dans le domaine  $[0, T - 1]$  pour chaque opération de chaque sillon. Nous imposons que toute opération d'un sillon débute immédiatement à la fin de l'opération qui la précède de manière à décider s'il existe un plan de transport dont les temps de parcours sont minimaux : cette spécificité est proposé dans le *reduced PESP* (*r-PESP*) [5].

Dans le *PESP*, toutes les contraintes liées à l'exploitation ferroviaire sont explicitement activées et contraignent la différence entre les dates de début d'opérations de deux sillons à être comprise dans un ensemble restreint de valeurs. C'est le cas à l'échelle macroscopique ou dès lors qu'une affectation de voies est fixée pour les échelles plus fines. Dans notre contexte, la décision de l'affectation de voies pour chaque opération a donc un impact sur l'activation ou non de contraintes particulières permettant d'éviter que deux sillons utilisent les mêmes voies de manière trop rapprochée dans le temps. Notre problème est analogue à un *r-PESP* avec affectation de voies mésoscopiques.

## 3 Approche basée sur la Programmation par Contraintes

Le modèle que nous proposons est un Problème de Satisfaction de Contraintes (CSP). Une grande partie des modèles existants liés au *PESP* sont des PLNE, notamment quand il s'agit de minimiser les temps de parcours (sans contraintes assurant cette propriété) ou de maximiser la robustesse du plan de transport recherché. Des modélisations par satisfaction de contraintes existent toutefois [8, 4, 3] car la recherche d'une solution faisable peut être plus efficace dans ce paradigme qu'en PLNE. Tormos *et al.* [8] décomposent leur CSP de manière à le résoudre plus efficacement en parallèle. Kümmling *et al.* [4] et Fuchs *et al.* [3] encodent leur modèle en problèmes de satisfiabilité booléenne (SAT) pour lesquels des solveurs puissants existent. Néanmoins, les CSP et les SAT dont les clauses sont de taille supérieure à 2 sont connus pour être  $\mathcal{NP}$ -complets. Nous présenterons notre modèle, des algorithmes de filtrage dédiés, ainsi qu'une heuristique de branchement permettant de résoudre le problème plus efficacement.

## Références

- [1] Valentina Cacchiani, Laura Galli and Paolo Toth. *A tutorial on non-periodic train timetabling and platforming problems*. EURO Journal on Transportation and Logistics 4 :285-320, 2015.
- [2] Stefano de Fabris, Giovanni Longo, Giorgio Medeossi, Raffaele Pesenti. *Automatic generation of railway timetables based on a mesoscopic infrastructure model*. Journal of Rail Transport Planning & Management 4 :2-13, 2014.
- [3] Florian Fuchs, Alessio Trivella, Francesco Corman. *Enhancing the interaction of railway timetabling and line planning with infrastructure awareness*. Transportation Research Part C : Emerging Technologies, Volume 142, 2022.
- [4] M. Kümmling, P. Großmann, K. Nachtigall, J. Optiz and R. Weiß. *A state-of-the-art realization of cyclic railway timetable computation*. Public Transport, 7(3) :281-293, 2015.
- [5] Julius Pätzold and Anita Schöbel. *A Matching Approach for Periodic Timetabling*. 16th Workshop on Algorithmic Approaches for Transportation Modelling, Optimization, and Systems (AT-MOS 2016), 2016.
- [6] Paolo Serafini and Walter Ukovich. *A Mathematical Model for Periodic Scheduling Problems*. SIAM Journal on Discrete Mathematics 2 :550-581, 1989
- [7] SNCF Réseau. *Document(s) de Référence du Réseau*. <https://www.sncf-reseau.com/fr/documents-reference-reseau> (URL consultée le 20 novembre 2022).
- [8] P. Tormos, M. Abril, M. A. Salido, F. Barber, L. Ingolotti and A. Lova. *Distributed Constraint Satisfaction Problems To Model Railway Scheduling Problems*. Computers in Railways X, pp 289-297. WIT Press. ISBN 1-84564-177-9. 2006.
- [9] 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*. OR, 2018.