

Ré-ordonnancement local d'une ligne ferroviaire suburbaine équipée d'un système de contrôle automatisé de type CBTC

H. Meunier^{1,2}, S. Baro², V. Borodin¹, S. Dauzère-Pérès¹, J. Pochet²

¹ Mines Saint-Etienne, Univ Clermont Auvergne, CNRS, UMR 6158 LIMOS, Centre CMP, Département SFL, F - 13541, Gardanne, France

{h.meunier, valeria.borodin, dauzere-peres}@emse.fr

² SNCF RESEAU, DGII TTD NEXTEO EOLE, Cellule CBTC, Paris, France

{hugo.meunier, sylvain.baro, juliette.pochet}@reseau.sncf.fr

Mots-clés : *Train scheduling, conjunctive graph, real time, railway traffic management, CBTC*

1 Introduction

L'accroissement de la demande dans les transports urbains nécessite d'augmenter la capacité des réseaux ferroviaires. La hausse de trafic sature les lignes et diminue les marges d'exploitations, ce qui favorise l'apparition d'incidents. Des systèmes de contrôle-commande communicants couplés à des principes de régulation permettent de répondre aux besoins des exploitants et des voyageurs. Ces outils, utilisés sur les lignes de métro, sont désormais déployés sur des lignes suburbaines.

Afin d'optimiser les performances d'une ligne suburbaine ouverte, équipée d'un système d'exploitation communicant de type *Communication Based Train Control* (CBTC), nous nous intéressons au problème de régulation automatisée locale. La ligne étudiée étant exploitée en zone très dense et la régulation étant réalisée en temps réel, nous adoptons une vision microscopique du problème. La régulation vise à minimiser les écarts entre les horaires de départs souhaités et théoriques lors d'incidents mineurs, en ajustant les horaires de points de passage des trains à l'intérieur des gares.

2 État de l'art

Les problèmes de planification ferroviaire suburbaine traitent souvent plusieurs objectifs tels que la ponctualité, le débit et la robustesse. L'ordonnancement et le séquençage des trains sont souvent modélisés dans la littérature à l'aide des graphes disjonctifs [3], qui permettent d'intégrer de nombreuses particularités des systèmes ferroviaires. La grille horaire est optimisée en traitant l'ensemble des gares (vision globale) ou gare par gare (vision locale) [1].

Le système CBTC applique un espacement à blocs mobiles déformables. D'après [1], les performances des systèmes étudiés sont parfois idéalisées, ce qui n'est pas compatible avec des prises de décisions en phases opérationnelles.

À ce jour, peu d'articles traitent le problème de ré-ordonnancement local avec une vision microscopique du déplacement des trains en gare [2]. Cet axe de recherche permet d'améliorer la grille horaire en temps réel. Cela est rendu possible par l'utilisation d'un simulateur existant [2], modélisant finement le système CBTC.

3 Problème et modélisation

Le problème de ré-ordonnancement local repose sur une solution d'un problème d'ordonnancement de type *job-shop avec contraintes de blocage et sans attente entres les tâches*, instanciée

à partir de la grille horaire théorique, pour chaque gare de la ligne ferroviaire étudiée. Le séquençement et le routage des trains dans une gare sont fixés et représentés par un graphe conjonctif acyclique G (voir figure 1). Chaque train traversant une gare est associé à un job. On distingue plusieurs jobs élémentaires : **(i)** arrêt et retournement à quai, **(ii)** arrêt à quai et retournement en tiroir, et **(iii)** arrêt à quai sans retournement. Les nœuds associés aux opérations d'un job représentent la validation d'une étape élémentaire (ex : arrêt à quai). Les arcs matérialisent le déplacement du train sur l'infrastructure, les échanges voyageurs ou les temps de retournements. Le passage d'un nœud doit être effectué dans une fenêtre temporelle spécifique.

Les trains évoluent sur la même infrastructure et partagent des ressources communes (ex : quais, tiroirs, itinéraires). Selon les ressources utilisées, des contraintes de signalisation et d'espacement lient les nœuds de jobs différents.

Afin de minimiser les écarts entre la grille horaire théorique et la grille horaire courante (i.e. grille horaire réellement appliquée par les trains), lors des départs à quai des trains, nous proposons un programme linéaire, qui ajuste les poids des arcs et les horaires de passage des nœuds. Ce programme linéaire proposé est résolu par un solveur. Les performances de la ligne sont ainsi optimisées en temps réel via l'actualisation de la grille horaire pour chaque gare.

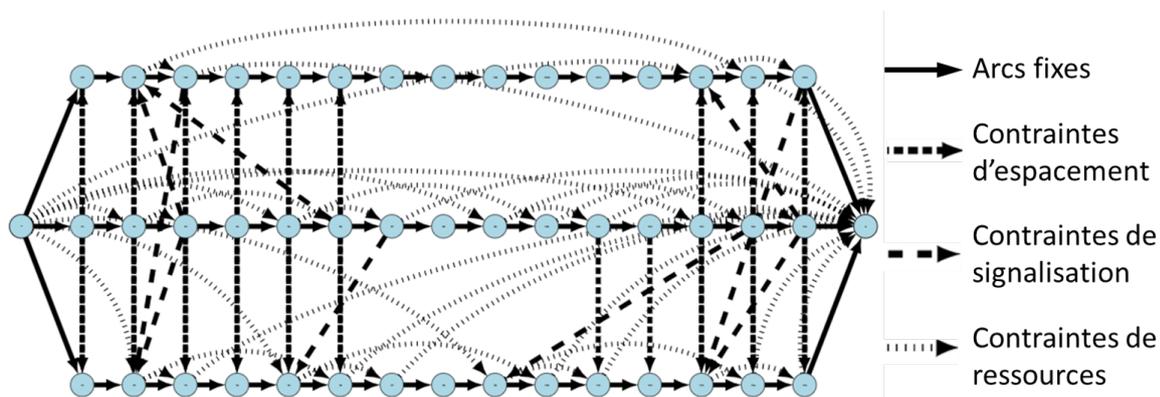


FIG. 1 – Graphe conjonctif acyclique associé à une gare parcourue par 3 trains

4 Conclusions

Nous présenterons et discuterons lors de la conférence les résultats de tests, conduits sur l'infrastructure du tronçon central de la ligne de RER E de Paris, prochainement équipée d'un système CBTC. Ce tronçon est composé de 8 stations et peut être parcouru par 32 trains par heure, en heure de pointe. La station la plus importante est équipée de 6 quais dédiés aux échanges voyageurs et de 3 voies de retournement. La régulation proposée est testée sur l'ensemble des gares du tronçon central. La grille horaire est perturbée en prolongeant les arrêts à quai de certains trains pendant plusieurs dizaines de secondes.

Références

- [1] Valentina Cacchiani, Dennis Huisman, Martin Kidd, Leo Kroon, Paolo Toth, Lucas Veelenturf, and Joris Wagenaar. An overview of recovery models and algorithms for real-time railway rescheduling. *Transportation Research Part B : Methodological*, 63 :15–37, 2014.
- [2] Juliette Pochet. *Evaluation de performance d'une ligne ferroviaire suburbaine partiellement équipée d'un automatisme CBTC*. Thèse, Université Paris Saclay, 2018.
- [3] Marcella Samà, Andrea D'Ariano, Francesco Corman, and Dario Pacciarelli. A variable neighbourhood search for fast train scheduling and routing during disturbed railway traffic situations. *Computers & Operations Research*, 78 :480–499, feb 2017.