

Approche microscopique pour la régulation d'une ligne suburbaine automatisée en zone dense

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

¹ Mines Saint-Etienne, CNRS, UMR 6158 LIMOS, Gardanne, France
{h.meunier, valeria.borodin, dauzere-peres}@emse.fr

² SNCF RÉSEAU, DGII DTR IP3M - Lab. Conception CBTC, Paris, France
{hugo.meunier, sylvain.baro, juliette.pochet}@reseau.sncf.fr

Mots-clés : *Recherche opérationnelle, optimisation, transport ferroviaire, perturbation*

1 Exploitation suburbaine en zone dense

L'automatisation des lignes suburbaines est une des réponses à l'accroissement de la demande dans les transports urbains. Le développement de système de contrôle-commande automatisé, comme le *Communication Based Train Control System* (CBTC) permet, entre autres, **(i)** d'augmenter le nombre de trains sur la ligne via l'utilisation de blocks mobiles déformables, et **(ii)** de communiquer en temps réel avec les trains. Ces communications temps réel permettent de réguler la ligne à l'aide de leviers automatisés (temps de stationnement, horaire de départ) et non automatisés (ré-affectation et ré-ordonnancement des trains sur la ligne).

Les besoins de régulations d'une ligne automatisée suburbaine sont multiples. L'affluence des passagers étant importante, il faut maintenir un trafic fluide (fréquence des départs) et garantir la ponctualité des trains en zone ouverte, malgré l'apparition de perturbations. De plus, des trains automatisés et non automatisés (circulation mixte) peuvent parcourir simultanément la ligne, ce qui altère sa performance. Enfin, la densité de trafic et certaines architectures de lignes suburbaines exploitées selon le principe de recouvrement, à l'instar de la future ligne E du RER Parisien bientôt équipée d'un système CBTC, rendent la ligne très sensible à toutes perturbations.

Nous nous intéressons donc au problème de régulation temps réel d'une ligne suburbaine, mixte, exploitée en milieu dense et équipée d'un système CBTC soumise à des perturbations.

2 Optimisation à l'aide de leviers automatisés : *retiming*

Les problèmes de planification ferroviaire suburbaine traitent souvent le *Train Timetable Rescheduling problem* [1]. Les performances de la ligne sont optimisées en modifiant l'ordre des trains sur la ligne et les ressources utilisées (quais, itinéraires).

Nos premiers travaux [3] ont été focalisés sur l'utilisation de leviers automatisés, à savoir la modification des horaires de départs et des temps de stationnement pour optimiser en temps réel la ponctualité et l'intervalle entre les trains. On parle ici de leviers de *retiming*. Le modèle proposé est basé sur une approche microscopique. Il est composé d'un modèle *mono-gare* et d'un modèle *inter-gare*. Le modèle *mono-gare* est inspiré des travaux de [2], où le fonctionnement de chaque gare est représenté à l'aide d'un graphe conjonctif. L'approche microscopique permet d'intégrer des contraintes de blocage dans le graphe conjonctif pour modéliser finement l'environnement industriel (utilisation de ressources, contraintes d'espacement et de signalisation). Le modèle *inter-gare* modélise le temps de parcours de chaque train utilisant le block mobile ou la signalisation latérale entre deux stations et assure le lien entre les graphes conjonctifs associés aux stations. Le modèle est exprimé sous forme d'un programme linéaire et est

résolu avec le solveur industriel IBM ILOG CPLEX, sur des instances d'au plus 20 trains. Les travaux ont montré que, d'une part, la vision microscopique du modèle permettant de modéliser finement la performance des trains est nécessaire pour proposer des solutions industrielles réalistes. D'autre part, seules les perturbations de faibles amplitudes peuvent être traitées.

3 Réaffectation et re-séquencement des trains : *rescheduling*

Notre objectif est de traiter le *Train Timetable Rescheduling problem* [1] afin de gérer des perturbations plus importantes. Dans le but de fournir des solutions réalistes, les différences décisions de réaffectation des ressources (quais, itinéraires) et de re-séquencement des trains sur la ligne sont évaluées de manière microscopique à l'aide du précédent modèle.

4 Conclusions et perspectives

Nous présenterons et discuterons lors de la conférence les choix de modélisation et les résultats des expérimentations. Comme pour [3], le module de régulation est intégré au simulateur multi-agents SIMONE. SIMONE modélise de manière détaillée la performance des trains CBTC d'une ligne ferroviaire, notamment sur l'infrastructure du tronçon central de la ligne de RER E de Paris, prochainement équipée d'un système CBTC.

Références

- [1] Valentina Cacchiani, Dennis Huisman, Martin Kidd, Leo Kroon, Paolo Toth, Lucas Vee-
lenturf, 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] Alessandro Mascis and Dario Pacciarelli. Job-shop scheduling with blocking and no-wait
constraints. *European Journal of Operational Research*, 143(3) :498–517, 2002.
- [3] Hugo Meunier, Sylvain Baro, Valeria Borodin, Stéphane Dauzère-Pérès, and Juliette Po-
chet. Microscopic modeling approach for real-time train retiming under disturbances for a
CBTC suburban railway line. *RailBeijing, 9th International Conference on Railway Ope-
rations Modelling and Analysis (ICROMA)*, 2020.