

Modélisation du routage des trains dans un nœud complexe et étude de capacité

X. Delorme^{1,2}, X. Gandibleux² et J. Rodriguez¹

1. INRETS-ESTAS, 20 rue Élisée Reclus, F-59650 Villeneuve d'Ascq
(Xavier.Delorme, Joaquin.Rodriguez)@inrets.fr

2. LAMIH-ROI, Université de Valenciennes, "Le Mont Houy", F-59313 Valenciennes cedex 9
Xavier.Gandibleux@univ-valenciennes.fr

Mots-clefs : capacité d'infrastructure ferroviaire, optimisation combinatoire, set packing problem

1 Description du problème

Le problème traité ici est celui de l'évaluation de la capacité d'une infrastructure ferroviaire complexe (gare, nœud) dans une optique de planification du trafic et/ou d'évaluation d'éventuelles modifications de l'infrastructure. Toute modification d'infrastructure entraînant des investissements très lourds et sur le long terme, les enjeux d'une bonne décision sont considérables. Ainsi, un outil d'évaluation de la capacité des infrastructures peut permettre de situer les limites d'un réseau (existant ou futur) par rapport à une ou plusieurs offres possibles. Dans ce cadre, nous nous intéressons principalement à trois problèmes :

- Vérifier la faisabilité du passage d'une combinaison donnée de trains selon une grille horaire établie (point et date d'entrée-sortie fixés) dans l'infrastructure considérée. La question est alors de savoir s'il existe un routage (affectation d'un itinéraire et éventuellement d'un quai) de ces trains permettant de les faire tous passer sans retard.
- Saturer une grille horaire établie (éventuellement vide) avec un nombre fini de trains possibles, chacun de ces trains ayant un nombre fini de dates d'entrée et de sortie possibles. Des niveaux de préférences pour chacun de ces trains peuvent éventuellement être définis. Le nombre maximum de trains pouvant alors circuler correspond à la capacité de l'infrastructure pour cette combinaison de trains et cette grille horaire.
- Évaluer la stabilité d'une grille horaire face au retard de certains trains. Cette stabilité est évaluée en considérant l'impact (mesuré en terme de retard total généré) du retard de chacun des trains de la grille horaire sur chacun des autres autres trains.

2 Modélisation

Nous avons considéré une approche de type construction d'horaire. Ce type d'approche a déjà été retenu dans plusieurs études menées en Hollande (NS, projet DONS [1]), en Suisse (SBB, projet CAPRES [2]) et en France (SNCF, projet DEMIURGE [3]). Notre modélisation [4] est basée sur un graphe d'incompatibilité train-parcours et s'inspire des travaux de Zwaneveld & al [5] réalisés dans le cadre du projet DONS.

Les variables de décisions $X_{t,r,\delta}$ de ce modèle sont binaires et valent 1 lorsque le train t est routé sur l'itinéraire r avec un décalage δ par rapport à son horaire de référence. Nous avons ainsi un problème comportant deux objectifs traités selon un ordre lexicographique : maximiser le nombre de trains routés appartenant à la grille horaire établie (faisabilité), puis ceux appartenant

aux trains supplémentaires possibles (saturation). Les contraintes de ce modèle sont de trois types :

- contraintes d’unicité d’itinéraire pour un même train ;
- contraintes de ressources à capacité limitées ;
- contraintes d’ordre pour les entrées/sorties de quais à capacité non-unaires.

La formulation mathématique de ce modèle est un problème classique NP-difficile de l’optimisation combinatoire appelé set packing problem (SPP). Dans certains cas, des contraintes de complétude de parcours peuvent être ajoutées pour le problème de saturation.

L’évaluation de la stabilité se fait ensuite grâce à un graphe d’écart entre les différentes variables compatibles du problème. Elle revient au calcul de l’ensemble des plus courts chemins entre toutes les paires de nœud dans le sous-graphe d’écart induit par la grille horaire considérée.

3 Application

Une application sur une situation réelle située au nord de Paris (le nœud ferroviaire de Pierrefitte-Gonesse) a été réalisée. Les incompatibilités et les écarts ont été déterminés à partir des marches de trains en voie libre (obtenues à l’aide du simulateur SISYFE [6]). Un ensemble d’instances numériques correspondant à différentes combinaisons de trains et de grilles horaires sont présentées. Les tailles d’instances considérées s’élèvent jusqu’à plusieurs milliers de variables et plusieurs centaines de milliers de contraintes.

De plus, l’impact de la formulation des contraintes ainsi que de pré-traitements (tests de réduction, recherche de cliques maximales) sur la résolution de ces instances par Cplex [7] est présenté. Nous nous intéressons plus particulièrement à la valeur de la borne supérieure obtenue par relaxation linéaire, la qualité de celle-ci étant d’une grande importance pour la résolution du set packing problem.

Références

- [1] J. van den Berg and M. Odijk, “DONS : computer aided design of regular service timetables,” in *Computer in Railways (COMPRAIL)*, (Madrid), 1994.
- [2] P. Hachemane, *Évaluation de la capacité de réseaux ferroviaires*. Thèse 1632, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1997.
- [3] V. Labouisse and H. Djellab, “DEMIURGE : un outil d’optimisation et d’évaluation de la capacité d’infrastructure ferroviaire.” 4 ème congrès de la société française de recherche opérationnelle et d’aide à la décision (ROADEF), (ENST - Paris), 2002.
- [4] X. Delorme, J. Rodriguez, and X. Gandibleux, “Heuristics for railway infrastructure saturation,” in *ATMOS, satellite workshops of the 28th international colloquium on automata, languages, and programming (ICALP)*, (Crete), vol. 50 of *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, pp. 41–55, Elsevier Science, 2001.
- [5] P. J. Zwaneveld, L. G. Kroon, H. E. Romeijn, M. Salomon, S. Dauzère-Pérès, S. P. Van Hoesel, and H. W. Ambergen, “Routing trains through railway stations : Model formulation and algorithms,” *Transportation Science*, vol. 30, pp. 181–194, août 1996.
- [6] M. Fontaine and D. Gauyacq, “SISYFE : a toolbox to simulate the railway network functioning for many purposes. some cases of application.” in *World Congress on Railway Research (WCRR)*, (Köln), 2001.
- [7] “Using the CPLEX callable library (manuel), version 4.0, CPLEX optimization, 1995.”