

Une approche intégrée pour l'établissement de grilles horaires et la planification du matériel roulant.

Mohamed Benkirane^{1,2,3}, Jean Damay², François Clautiaux^{1,3}

¹ Université de Bordeaux, France
francois.clautiaux@math.u-bordeaux.fr

² Sncf mobilité, France
mohamed.benkirane.jean.damay@sncf.fr

³ RealOpt (Inria Bordeaux –Sud-Ouest)

Mots-clés : *Hypergraphes, Modèle de flot, Conception du plan de transport ferroviaire.*

1 Présentation générale

Notre travail traite de l'étude d'une approche d'optimisation intégrée pour l'établissement de grilles horaires et la planification du matériel roulant dans le cadre du transport ferroviaire de passagers. Notre approche est basée sur un modèle espace-temps utilisant les hypergraphes, qui permettent de traiter des trains composés d'unités multiples des rames automotrices.

Le processus de conception du plan de transport ferroviaire en phase étude combine des ressources hétérogènes et est généralement et historiquement décomposé en différents sous-problèmes séquentiels : dans un premier temps on définit, plusieurs années à l'avance, toutes les possibilités de circulation sur une journée type donnée (via le graphe « réticulaire ») en respectant un schéma de dessertes prédéfini. Ensuite vient l'établissement des grilles horaires, la planification du matériel roulant puis l'affectation des agents de conduite. Notre approche vise à résoudre la constitution des grilles horaires et la planification du matériel roulant de manière intégrée. Compte tenu des contraintes de production, le problème est de produire une grille horaire pour un ensemble de trains répondant à des contraintes marketing et tout en minimisant le coût d'utilisation des rames matériels.

2 Description de la conception du plan de transport ferroviaire

La ressource infrastructure permet de faire circuler des trains d'un point à un autre à une heure précise tout en imposant des contraintes d'exclusivités entre trains trop proche dans l'espace et dans le temps. La ressource matérielle impose, elle, le respect d'une durée minimale (appelée temps de crochet, lié à la gare) entre deux trains successifs couverts par la même rame. Certains trains sont couverts sur une partie de leur parcours par deux rames accrochées l'une à l'autre. Sur une journée type on impose qu'il y ait autant de rame en chaque site en début et fin de journée (cyclicité du roulement).

La planification des grilles horaires est également soumise à des contraintes marketing exprimées sous forme d'une demande des voyageurs sur le périmètre géographique étudié. Cette demande est transformée en une distribution temporelle de la fréquence et de la capacité des trains sur la période d'étude : on définit un intervalle d'acceptabilité du nombre de fréquences cible pour chaque créneau horaire.

3 Modélisation du problème

Le problème peut être modélisé à l'aide d'un modèle de flot. Les modèles de flots sont largement utilisés dans la littérature et peuvent représenter un flot de passagers, de rames ou d'agents. Ces modèles ont déjà été utilisés dans le cadre de la planification de matériel pour le rail [1,2].

Notre modèle est basé sur un hypergraphe espace-temps, chaque nœud représente un événement de départ possible depuis une gare donnée à une heure précise. Un arc représente l'activation d'un train et l'enchaînement matériel avec un autre départ de train. Un hyperarc relie un nœud source et deux nœuds destinations ayant la même gare (et ayant une heure de départ identique ou différente). Cette définition représente l'utilisation de deux rames automotrices accrochées, le fait que ces deux rames sont réutilisées pour assurer un autre train en unité multiple, ou deux autres trains en unité simple.

Le modèle d'hypergraphe généré est de taille pseudo-polynomiale en la taille de l'intervalle de temps d'étude. On génère a priori tous les trains possibles tirés du graphe réticulaire et tous les nœuds départ correspondants. On génère par la suite tous les arcs et hyper-arcs possibles.

L'intérêt de notre approche est que nous optimisons simultanément la conception des grilles horaires et la planification du matériel roulant. Nous montrons qu'il est suffisant d'utiliser des nœuds modélisant un événement de départ (sans utiliser les « arcs d'attente »). On modifie la destination des arcs de manière à atteindre directement le temps de départ d'un train postérieur, ou la fin de la période de temps considérée. Nous pouvons ainsi intégrer des contraintes spécifiques à un enchaînement de deux trains.

On définit le programme en nombre entiers (MIP) à partir de variables binaires traduisant l'utilisation d'un arc/hyper-arc. La solution correspond à un ensemble de chemins définis depuis l'hypergraphe généré, ces chemins correspondent à un ensemble de trains assurés par la même rame matérielle et sont traduits en grilles horaires. Cette modélisation nous permet d'intégrer les contraintes de cyclicité, d'exclusivité et d'accroche/décroche.

4 Expérimentations et perspectives

Ce modèle est en cours d'expérimentation dans le cadre des études de refonte des dessertes ferroviaires régionales. Sur une ligne caractéristique (16 missions utilisant des unités simples/multiples de rames matérielles et un total de 57 fréquences) on génère un MIP avec 76047 variables et 3023 contraintes, la solution optimale est obtenue en 6 secondes en utilisant le solveur Cplex sur une machine Core i3 4Go RAM.

Le modèle proposé est amené à évoluer en intégrant de nouvelles contraintes et d'autres fonctionnalités. Aussi, nous envisageons d'intégrer l'aspect robustesse du plan de transport, la gestion d'incertitudes, l'affectation des agents et l'établissement du bilan économique.

[1] Borndörfer, R. Reuther, M. Schlechte, T. Weider, S., 2011 "*A Hypergraph Model for Railway Vehicle Rotation Planning*", 11th Workshop on Algorithmic Approaches for Transportation Modelling, Optimization, and Systems, OpenAccess Series in Informatics (OASIS)(20), pp.146-155.

[2] Caprara, A. Fischetti, M. Toth, P. 2002 "*Modeling and solving the train timetabling problem*", Oper. Res. 50, 851-861.