Approches réactives robustifiées pour l'ordonnancement des trains sur une voie unique en présence d'aléas

Mohand Ait Alamara[1,2], Francis Sourd[1], Mohamed Ali Aloulou[2]

[1] SNCF, Direction de l'Innovation & de la Recherche SNCF, 75379 Paris Cedex 08
{francis.sourd,mohand.ait-alamara}@sncf.fr
[2] LAMSADE, Université Paris Dauphine ; Place du M^{al} de Lattre de Tassigny, 75775 Paris Cedex 16
aloulou@lamsade.dauphine.fr

1 Introduction

On se place ici dans le cas d'un tronçon traversé par deux voies en sens inverses, entre deux points d'où il est possible d'effectuer des bifurcations. Suite à un incident, ce tronçon doit être mis en voie unique. Dans ce cas, on utilisera les aiguillages de bifurcation pour faire circuler les trains des deux sens en alternance sur la voie disponible. Le plan de circulation doit alors être reconstruit en se fixant comme objectif de réduire le retard cumulé des trains. Ce problème s'apparente à un problème d'ordonnancement à une machine dont l'objectif est de minimiser la somme des retards. Il y a de plus la contrainte que les trains circulant dans un même sens ne peuvent pas se doubler. Nous avons donc deux chaînes de précédences entre les tâches. Les trains circulant dans le même sens peuvent rouler sur le même tronçon de voie unique à condition de respecter une vitesse limitée et un écart minimal. Ces écarts peuvent être modélisés en ajoutant des temps de *setup* au modèle à une machine. Nous obtenons alors un problème de type $1|ST_{sd}, chains, r_i| \sum w_i C_i$ selon la classification proposée par Allahverdi et al [1].
Il existe des algorithmes d'optimisation du plan de circulation modélisés par des programmes linéaires. Dans [3] un modèle se basant sur la programmation dynamique fournit des solutions qui permettent de réduire le retard global de 30 %. Ces solutions peuvent être sensibles à des variations légères des paramètres d'entrée tels que la "durée de traversée". Il est alors nécessaire de tenir compte de l'incertitude qui pèse sur ces paramètres.

2 Approches robustes

La complexité des origines des variations de la durée de traversée rend difficile toute modélisation à base de probabilités. L'aléa est donc modélisé par un intervalle discret. Notre modélisation de l'incertain nous conduit alors à adopter une solution du type "optimisation discrète robuste" telle que définie dans Kouvelis and Yu [4].
Nous considérons comme critère de robustesse celui introduit par Bertsimas & Sim [2]. Pour palier au conservatisme des approches *minmax*, la robustesse est paramétrée par un nombre de trains Γ dont la durée de traversée est à son extrême. Une autre approche considérée consiste à paramétrer la

robustesse par un budget de retard β à affecter aux trains. Nous proposons une résolution se basant sur la programmation dynamique où un état est représenté par : le nombre de trains passés dans un sens et dans l'autre, le sens du dernier train, la date du passage ainsi que le paramètre considéré. Néanmoins, cette démarche a des limites. Les solutions fournies dépendent d'un paramétrage qui est souvent arbitraire. De plus, le calcul d'un ordonnancement en début de période ne prend pas en compte l'évolution du système qui peut rendre la solution calculée caduque. Une ré-optimisation dans le temps devient nécessaire.

3 Approches réactives

Les algorithmes réactifs ont pour but de résoudre des problèmes dont l'instance se révèle pas à pas. Une fois une partie de l'instance révélée, le décideur fait son choix d'une façon irrévocable. Pour notre problème d'ordonnancement, le modèle réactif correspondant, introduit par Van Hentenryck dans [5], est décrit ainsi : à un instant t donné, deux trains circulant dans des sens contraires sont présents, nous devons décider lequel doit passer en premier. Un premier critère de choix consiste à faire passer le train dont le retard est le plus grand. Une autre heuristique fait passer le train qui est dans le même sens que le dernier train déjà ordonnancé.
L'inconvénient majeur de ces approches est leur "myopie" : l'optimum recherché est local. On pourrait alors penser à corriger cela en choisissant le prochain train de manière robuste.

4 Approches réactives robustifiées

Dans cette approche, nous proposons de déterminer le prochain train à faire passer en appliquant les approches robustes décrites plus haut sur la partie des trains non encore ordonnancés. Nous avons comparé différents paramétrages :

- le paramètre (β ou Γ) est fixé en début d'ordonnancement et diminue en fonction des durées de traversée constatées pour les trains déjà passés (durée maximale atteinte, budget consommé).
- le paramètre est fonction du nombre de trains qui restent à ordonnancer.

En conclusion, les différentes simulations montrent un gain important (environ 15%) en terme de retard pour les approches réactives robustifiées par rapport aux approches purement réactives ou purement robustes.

Références

[1] Cheng T.C.E. et Kovalyov Mikhail Y. Allahverdi Ali, Ng C.T. A survey of scheduling problems with setup times or costs. *European Journal of Operational Research*, 187(3) :985–1032, 2008.

[2] Bertsimas Dimitris et Sim Melvyn. Robust discrete optimization and network flows. *Mathematical Programming*, 98(1) :49–71, September 2003.

[3] Sourd Francis et Weber Christian. Ordonnancement des trains sur une voie unique. *Livre des Résumés, 10ème Congrès de la ROADEF*, page 294, 2008.

[4] Kouvelis P. and Yu G. *Robust Discrete Optimization and its Applications.* Kluwer Academic Publishers, Amsterdam, The Netherlands, 1997.

[5] Russell B. Van Hentenryck P. *Online Stochastic Combinatorial Optimization.* The MIT Press, 2006.