

Modélisations et Optimisations de la conception d’offre de transport de passagers *

Bertrand LeCun¹, Thierry Mautor¹, Edith Naudin²

¹ Laboratoire PRiSM, Université de Versailles - Saint Quentin, 45 Avenue des Etats Unis, 78000 Versailles (France)

{bertrand.lecun,thierry.mautor}@prism.uvsq.fr

² Eurodécision, 9 rue de la Porte de Buc, 78000 Versailles (France)
Edith.Naudin@eurodecision.com

Mots-clés : *transport de passagers, graphicage, habillage, modélisation*

1 Introduction

La planification du transport de passagers est un enjeu majeur pour les opérateurs publics et privés. Par la nécessité d’optimiser les coûts des ressources humaines et matérielles, de respecter les contraintes sociales et environnementales et de répondre aux besoins des utilisateurs, elle se situe au coeur des préoccupations économiques et sociales. A travers ces enjeux, la résolution de deux problèmes centraux d’optimisation est primordiale : le **graphicage** et l’**habillage**. Dans le premier cas, il s’agit d’établir un ordonnancement des véhicules (principalement bus, mais également tramways, trains, ...) : *vehicle scheduling*. Dans le second, on doit affecter les personnels (conducteurs, accompagnateurs, contrôleurs, ...) aux véhicules ordonnancés : *crew scheduling*.

Sous leur forme académique, ces problèmes classiques de l’optimisation combinatoire sont déjà connus comme très complexes et sont d’ailleurs le plus souvent résolus de manière heuristique. Mais ces problèmes s’en trouvent ici encore complexifiés par l’existence d’une multitude potentielle de contraintes associées au transport urbain et interurbain. Ces contraintes peuvent être aussi bien des contraintes métiers directement liées aux spécificités des problèmes que des contraintes liées au droit du travail ou à des accords locaux entre les partenaires sociaux. On se retrouve donc avec un volet très important de contraintes qui peuvent ou non être actives selon les applications. On peut d’ailleurs noter que cela se traduit chez les opérateurs de transport par la formation d’équipes de spécialistes qui construisent en partie “à la main” (bien qu’aides par des systèmes d’information conséquents) et de manière séquentielle, d’abord le graphique puis l’habillage.

2 Description du travail

Nous commençons par présenter les problèmes de graphicage et d’habillage. En particulier nous nous appuyons sur un ensemble de cas concrets pour décrire la diversité de ces problèmes et les difficultés de résolution que cela induit.

*Ce travail a été développé dans le cadre du projet HORUS (*Horaires Optimisés dans les Réseaux de transports Urbains et interurbainS*), projet ANR du programme COSINUS. Démarré depuis octobre 2010, c’est un projet qui réunit trois partenaires : le laboratoire PRiSM (Versailles), le laboratoire CRESTIC (Reims) et la société Eurodécision. Le travail présenté ici est celui réalisé dans le cadre de la sous-tâche “*Modèles - Modélisation par arcs-états*” de ce projet.

La seconde partie de l'exposé sera dédiée aux modélisations possibles de ces problèmes et à leur impact sur les méthodes de résolution qui peuvent être appliquées. Nous pensons ici principalement à la méthode de génération de colonnes, très utilisée pour ce genre de problématique. Nous présentons ainsi plusieurs types de modélisations mathématiques en jouant à la fois sur les types de variables de décision et sur les séries d'inégalités plus ou moins fortes.

De par la multiplicité et la variabilité d'une application à l'autre du volet des contraintes actives, il s'agit de concevoir un outil logiciel générique et très souple d'utilisation. L'idéal serait de pouvoir activer ou non chacune des contraintes possibles et qu'une méthode générique soit à même de proposer des solutions pour ce cas particulier. Mais on comprend bien alors l'importance de l'exercice de modélisation. Il faut que ces contraintes nombreuses et variées puissent toutes rentrer dans un cadre commun qui serait supporté par la méthode générique.

Afin d'illustrer ce point, nous proposons donc un certain nombre de contraintes représentatives, plus ou moins difficiles, et discutons de leurs différentes possibilités de modélisation et de l'impact sur la méthode de résolution. Il convient là en particulier, dans le cadre d'une résolution par génération de colonnes, de décider les contraintes qui peuvent être rattachées au sous-problème et celles qui figurent dans le programme maître. Ainsi, si on considère la contrainte (plutôt simple par rapport à d'autres) empruntée au problème de graphissage : "*Tout service-voiture doit commencer et terminer au même dépôt*", on peut imaginer trois niveaux pour la prendre en compte :

- traiter la contrainte en amont : pour cela on intègre la règle dès la construction du graphe de données en considérant un graphe pour chaque dépôt,
- traiter la contrainte dans le sous-problème : le graphe de données n'est plus dupliqué mais l'algorithme de construction des plus courts chemins doit intégrer la règle pour ne construire que des chemins valides, c'est à dire qui se terminent bien au dépôt où ils ont commencé,
- traiter la règle dans le programme maître : ceci suppose que le sous-problème génère des bouts de chemin (arcs) couplés à un indice correspondant au dépôt de départ (état) et que le programme maître soit doté d'une contrainte de conservation de flux permettant d'associer des variables arcs-états formant un service-voiture valide.

Enfin, nous terminons l'exposé avec des premiers résultats comparatifs permettant d'illustrer et de valider ce qui précède.

Références

- [1] A. Caprara, M. Fischetti, P.L. Guida, P. Toth, D. Vigo. Solution of large-scale railway crew planning problems : the italian experience. Technical report, *Computer-Aided Transit Scheduling*, 1997.
- [2] R. Freling, A. Wagelmans, and J. Paixo. Models and algorithms for single-depot vehicle scheduling. *Transportation Science*, 35(2) :165–180, 2001.
- [3] T. Mautor, E. Naudin. Arcs-States Models for the Vehicle Routing Problem with Time Windows and related problems. *Computers and Operations Research*, Volume 34, Issue 4, :1061–1084, 2007.
- [4] E. Naudin, P. Chan, M. Hiroux, T. Zemmouri, G. Weil. Staff Rostering Problem : Comparison of three mathematical models. *Journal of Scheduling* : Volume 15, Issue 1 :23–38, 2012.