

Génération de Colonnes pour le Problème de Conception de Lignes de Bus avec Niveaux de Service

H. Gatt^{1,2}, J.M. Freche², F. Lehuédé¹ and T.G. Yeung¹

¹ IMT Atlantique, LS2N, Nantes, France

{hector.gatt,fabien.lehuede,thomas.yeung}@imt-atlantique.fr

² Lumiplan, Saint-Herblain, France

{hector.gatt,jean-marie.freche}@lumiplan.com

Mots-clés : *Conception de Réseau de Bus, Génération de Colonnes, Niveaux de Service*

1 Le problème de conception de lignes de bus

Concevoir un réseau de bus qualitatif et exploitable à un coût raisonnable est l'objectif de nombreux gestionnaires de transport public. Connu sous le nom de *Line Planning Problem* (LPP), ce problème est situé à un niveau stratégique. Il consiste à concevoir un ensemble de lignes, chacune d'entre elles étant associée à une fréquence théorique, de telle sorte que les demandes de voyageurs puissent être satisfaites. Les deux principaux défis du LPP sont le coût et la qualité du service. Alors que les dépenses d'investissement et d'exploitation du réseau constituent le principal défi de l'opérateur, le passager recherche pour sa part un réseau fiable lui permettant de voyager de manière rapide et confortable. Par conséquent, les modèles de planification de ligne existants peuvent être classés en deux types : orientés vers une minimisation des coûts ou vers une maximisation de la satisfaction des voyageurs. Pour chacun de ces deux objectifs, de nombreuses approches mathématiques ont été développées [1]. Ce travail aborde le problème de planification de lignes avec niveaux de service. Pour résoudre ce problème, nous proposons une approche basée sur la génération de colonnes.

2 Positionnement dans la littérature

Un des grands verrous de la modélisation de la qualité de service dans le LPP repose dans la modélisation du nombre de transferts (correspondance) devant être effectués par chaque voyageur. Schöbel et Scholl [2] proposent la modélisation du problème sur un graphe appelé «change-and-go». L'approche consiste à dupliquer chaque nœud du réseau pour chaque possibilité de transfert entre lignes. Néanmoins l'approche reste limitée à des réseaux de petite taille en raison de l'explosion combinatoire de la taille du graphe généré. Borndörfer et Karbstein [3] introduisent une distinction sur les trajets de passagers sans transferts et avec un ou plusieurs transferts. Cette méthode perd en précision par rapport à la méthode «change-and-go» en ne déterminant pas le nombre exact de transferts, mais elle peut être utilisée sur de grands graphes et donc exploitée sur des réseaux de taille réelle. Enfin, Bertsimas et al. [4] proposent une méthode pour modéliser les trajets directs et non-directs des passagers tout en générant des lignes de bus. Les transferts de passagers étant modélisés en analysant le nœud de transfert exact et la ligne utilisée sur chaque partie du trajet, les trajets de passagers sont alors limités à un maximum d'un transfert pour éviter la saturation de leur modèle.

3 Résolution par génération de colonnes

Dans le cadre de nos travaux, nous considérons un objectif de minimisation du nombre total de kilomètres parcourus combiné à deux contraintes sur la qualité de service. La première contrainte modélise un écart maximal à la durée du plus court chemin théorique sur le réseau pour chaque voyageur. La seconde contrainte impose un pourcentage minimum de passagers sans transferts. Pour intégrer ces deux contraintes, une formulation basée sur les chemins est utilisée pour modéliser les flux de passagers. Pour cela, nous étendons l’approche de [3] en divisant les chemins des voyageurs en deux groupes, l’un pour les chemins directs et l’autre pour les chemins non directs. Ainsi, nous proposons un processus de résolution composé d’une étape de génération de colonnes suivie d’une méthode d’énumération de colonnes basée sur [5]. Durant l’étape de génération de colonnes ainsi que durant celle d’énumération de colonnes élémentaires, des lignes de bus ainsi que des chemins directs et non-directs sont générés à l’aide de deux algorithmes d’étiquetage dédiés. Dans chacun d’eux, une règle de dominance est établie entre les étiquettes afin de rendre ces générations efficaces.

4 Cas d’étude

Un cas d’étude a été défini sur la ville de Poitiers (200 000 habitants). Le réseau est modélisé par un graphe composé de 80 nœuds et 106 arêtes. Chaque nœud et arrête font référence à des stations existantes reliées entre elles par des lignes du réseau actuel. Le Tableau 1 présente les coûts estimés par notre modèle pour le réseau actuel ainsi que ceux trouvés après réoptimisation du réseau en nous basant sur des caractéristiques identiques. A l’issue d’une première phase d’étude à confirmer, la méthode proposée estime qu’il est possible de réaliser une économie de près de 19% en terme de coûts kilométriques cumulés à iso qualité de service.

TAB. 1 – Perspectives d’économie pour le réseau de Poitiers en terme de coûts kilométriques

Réseau Considéré	Coûts kilométriques Cumulés	Nombre de Bus requis
Réseau Actuel	15 052	64
Réseau Redéfini	12 236	40

5 Conclusions et perspectives

Nous avons proposé un processus pour résoudre le problème de la planification des lignes avec niveaux de service. Ce processus, composé de méthodes de génération de colonnes et d’énumération de colonnes élémentaires, vise à minimiser les coûts d’exploitation du gestionnaire tout en respectant des contraintes de qualité de service. Des résultats de calcul pour une instance basée sur la ville de Poitiers ont été obtenus et ont montré la pertinence de notre processus pour les entreprises de transport public.

Références

- [1] Schöbel, A. *Line planning in public transportation : models and methods*. Springer, 2012.
- [2] Schöbel, A. and Scholl, S. *Line Planning with Minimal Traveling Time* ATMOS, 2005.
- [3] Borndörfer, R and Karbstein, M *A Direct Connection Approach to Integrated Line Planning and Passenger Routing* Discrete Optimization, 2012.
- [4] Bertsimas, D. and Ng, Y. S. and Yan, J. *Driven Transit Network Design at Scale* Operations Research, 2021.
- [5] Baldacci, R. and Christofides, N. and Mingozzi, A. *An exact algorithm for the VRP based on the set partitioning formulation with additional cuts* Mathematical Programming, 2008.