

Optimisation de la fréquences des lignes sur un réseau de bus

H. Gatt^{1,3}, J.M. Freche³, A. Laurent² and F. Lehuédé¹

¹ IMT Atlantique, LS2N, Nantes, France

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

² Nantes Université, LS2N, Nantes, France

arnaud.laurent@univ-nantes.fr

³ Lumiplan, Saint-Herblain, France

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

Mots-clés : *Mobilité, Conception de réseau de bus, Programmation bi-niveaux*

1 Le problème de détermination des fréquences

L'adaptation de la fréquence des lignes à la demande de transport est une phase clé du processus de planification d'un réseau de bus. Le problème d'optimisation associé est connu sous le nom de *Frequency Setting Problem* (FSP). Il est résolu après la conception des lignes d'un réseau [3] ou de manière saisonnière pour adapter les fréquences à l'évolution de la demande. Ce problème consiste ainsi à déterminer, pour une période de temps donnée, le dimensionnement d'une flotte de bus hétérogène, le nombre de passages de bus de chaque type sur chacune des lignes, afin de satisfaire une demande de transport de passagers représentée sous la forme d'une matrice origine-destination (matrice OD). Le problème intègre des contraintes opérationnelles d'une part, par exemple des contraintes de capacités sur les liens et noeuds du réseau et des contraintes de niveau de service d'autre part. Nous considérons un objectif de minimisation des coûts d'exploitation.

Un enjeu majeur du problème est la modélisation du comportement des passagers. L'hypothèse retenue dans ce travail est qu'un passager emprunte un trajet de durée minimum sur le réseau sans tenir compte de la congestion ou d'autres critères de choix. Plus précisément, pour chaque paire OD, les trajets possibles sont modélisés comme des chemins. Chaque chemin est défini par une séquence d'arcs, chacun associé à une ligne. La *durée* d'un chemin est définie comme la somme du *temps de trajet* sur ce chemin et du *temps d'attente estimé* induit par la montée au premier arrêt et les temps de transferts. Ce temps d'attente estimé dépend des fréquences déployées sur les lignes.

Le problème de détermination des fréquences déployé est donc un problème bi-niveaux où le leader est l'exploitant du réseau de bus qui fixe les fréquences des lignes en minimisant ses coûts et les followers sont les passagers qui minimisent la durée de leurs trajets en fonction des fréquences des lignes.

2 Approche de résolution

Pour résoudre ce problème, nous proposons un programme linéaire mixte en nombres entiers (noté *FSP*). Nous considérons un ensemble discret de fréquences admissibles. Le problème bi-niveaux est reformulé comme un problème mono-niveau comportant un nombre quadratique de variables et contraintes dépendant du nombre de chemins possibles sur le réseau. Pour rendre ce modèle traitable sur des instances réelles, nous proposons un processus de sélection dynamique de chemins de passagers appelé *PPSP* (*Passenger Path Selection Process*). Ce processus sélectionne les chemins qui sont intégrés au modèle. Il est composé de trois étapes :

- **Etape 0 : Affectation initiale de fréquences.** On génère l'ensemble Ω des chemins non-dominés compatibles avec les niveaux de service visés. Un ensemble initial $\mathcal{P} \subset \Omega$ est composé des chemins directs et avec transfert les plus courts pour chaque paire OD. $FSP(\mathcal{P})$ est ensuite résolu pour produire une solution S .
- **Etape 1 : Obtention d'une solution réalisable.** La solution S peut utiliser des chemins sous-optimaux pour les passagers. Nous répétons un processus itératif en deux étapes, exécuté pour chaque paire OD, tant que la solution obtenue n'est pas réalisable :
 1. Pour les fréquences de S , recherche de chemins dans $\Omega \setminus \mathcal{P}$ de durée inférieure aux chemins utilisés dans S .
 2. Parmi ces chemins, ajout de ceux de durée minimum à l'ensemble \mathcal{P} et résolution de $FSP(\mathcal{P})$ pour produire une solution S .
- **Etape 2 : Amélioration de la solution réalisable.** Résolution de $r - FSP(\Omega)$, la relaxation linéaire de $FSP(\Omega)$. Les chemins sélectionnés sont ajoutés à \mathcal{P} et $FSP(\mathcal{P})$ est résolu.

Enfin, l'étape 1 est exécutée afin de s'assurer que la solution obtenue est bien réalisable.

3 Cas d'étude

Un cas d'étude a été défini sur l'agglomération de Poitiers, en France, qui compte plus de 130 000 habitants. Pour réaliser cette étude, un graphe composé de 80 noeuds et 218 arcs a été défini, sur la base du réseau existant. De plus, à partir d'une étude des déplacements des passagers menée par l'exploitant RTP, nous générons 15 matrices OD d'une heure couvrant une journée d'exploitation typique de 6h à 21h. Cette étude de cas est basée sur l'optimisation de la fréquence des 22 lignes de bus actuellement exploitées sur deux périodes horaires différentes. Pour chacune de ces périodes, nous utilisons le processus PPSP et évaluons la qualité de la solution obtenue par rapport aux limites supérieures et inférieures. Le tableau ci-dessous compare les résultats obtenus pour deux périodes horaires de la journée par la résolution du FSP sur l'ensemble des chemins réalisables non dominés, aux résultats du PPSP.

Instance			FSP			PPSP		
Time period	# OD	# Pass.	Up. b. ub^*	Opt. gap	Solv. time	Obj value	Gap to ub^*	Solv. time
5pm-6pm	1941	5205	167713	84.80%	600 min (tl)	33169	-80%	30 min
6pm-7pm	1681	2596	19591	0%	400 min	19591	0%	12 min

Nous observons que le modèle FSP complet est résolu optimalement sur la tranche horaire 6pm-7pm et que le PPSP obtient une solution équivalente en un temps très inférieur. Sur la tranche horaire 5pm-6pm, le PPSP obtient une solution de meilleure qualité (-80%) que celle obtenue avec le modèle FSP complet arrêté après 10h de calcul.

Références

- [1] Ibarra-Rojas, O.J. and Delgado, F. and Giesen, R. and Muñoz, J.C. *Planning, operation, and control of bus transport systems : A literature review TRB : Methodological, 2015*
- [2] Martínez, H. and Mauttone, A. and Urquhart, M. E. *Frequency optimization in public transportation systems : Formulation and metaheuristic approach EJOR, 2014*
- [3] Gatt, H. and Freche J.M. and Lehuédé F. and Yeung T.G. *A column generation-based method for the Line Planning Problem with service-level*
- [4] Gatt, H. and Freche J.M. and Laurent A. and Lehuédé F.. *A bilevel model for the frequency setting problem ATMOS Conference, Potsdam, 2022*