Localisation de *hubs* et dimensionnement de flotte pour un problème de *park and ride* en mobilité urbaine

Matthieu Guillot[1], David Rey[2], Angelo Furno[1], Nour-Eddin El Faouzi[1],

[1] Univ. Gustave Eiffel, Univ. Lyon, ENTPE, LICIT
matthieu.guillot@univ-eiffel.fr
[2] SKEMA Business School, Université Côte d'Azur, Sophia Antipolis, France

Mots-clés : *Transport, Mobilité urbaine, Park and ride, Optimisation stochastique à deux niveaux, Génération de colonnes*

1 Introduction

Les centres-villes des grandes agglomérations sont souvent encombrés créant, entres autres, une dégradation de la qualité des services de mobilité [3]. Certaines villes ont restreint l'accès à ceux-ci mais la demande pour atteindre le centre ville reste forte, et les usagers doivent trouver un moyen de se déplacer vers leurs destinations. Dans cette étude, nous modélisons un problème de localisation et de dimensionnement de flotte pour un système de type *park and ride* [2].

Dans ce problème, le but est d'optimiser le placement de *hubs* pour mettre en place des services de *park and ride* dans un réseau de transport urbain. Nous considérons que ces *hubs* peuvent être placés à différents noeuds du réseaux qui représentent à la fois les différentes origines et destinations de la demande, mais aussi de potentiels points de ramassage (*pick-up*) et points de dépose (*drop-off*) des services de mobilité. Notre approche est motivée par les problème de gestion du trafic dans les centres urbains. Les usagers voulant se rendre en centre ville se rendent à un pick-up en périphérie, où une navette de transports en commun les attend pour les mener à un drop-off. Le trajet entre le drop-off et la destination peut en général être fait à pied ou grâce à un autre mode actif. Les hubs peuvent être vus comme des parkings de différentes capacités qu'on pourrait construire afin de permettre aux navettes publiques de stationner et de manoeuvrer. Pour chaque paire origine-destination dans le réseau, nous considérons des trajets qui sont composés de trois parties : un trajet en voiture entre l'origine et le pick-up ; un trajet entre le pick-up et le drop-off ; et un trajet à pied entre le drop-off et la destination avec un mode actif.

Nous considérons qu'il existe plusieurs types de services de mobilité qui diffèrent par leur capacité et leur coût d'opération. Nous supposons que la demande de transport entre les noeuds du réseau, ainsi que les temps de parcours sur les liens du réseau sont stochastiques et suivent des lois de probabilité connues. Le problème de *park and ride* considéré dans cette étude consiste à décider, parmi les hubs potentiels, lesquels construire afin d'acheminer de manière rapide les usagers de leur origine à leur destination. Il faut également décider parmi tous les types de services de mobilités disponibles lesquelles utiliser afin de minimiser le coût opérationnel tout en garantissant que la capacité maximale des services ne soit pas dépassée.

2 Modélisation

Nous proposons une formulation basée sur l'optimisation stochastique à deux niveaux [1] dans laquelle les variables du premier niveau représentent le placement des *hubs*. Les variables du second niveau sont conditionnées par la réalisation des scenarios de demande et de temps de parcours et représentent le dimensionnement de la flotte des services de mobilités ainsi que les flots de transport sur le réseau.

Formellement, soit N l'ensemble des noeuds du réseau de transport, K l'ensemble des services de mobilités disponibles et Ω l'ensemble des scénarios stochastiques de la demande et des temps de parcours. Nous dénotons par $\boldsymbol{c}^{loc} = [c_i^{loc}]_{i \in N}$ le vecteur des coûts de placements des *hubs*, ainsi que par $\boldsymbol{c}^{fleet} = [c_k^{fleet}]_{k \in K}$ les coûts dimensionnement de flotte. Pour chaque scénario $\omega \in \Omega$, nous dénotons par $\boldsymbol{d}_\omega = [d_{rs,\omega}]$ la demande de transport et $\boldsymbol{c}_\omega^{route} = [c_{ij,\omega}^{route}]_{i,j \in N \times N}$ le vecteur des temps de parcours sur les liens du réseau. Soit F_1 les contraintes du premier niveau et soit $F_2(\boldsymbol{y})$ celles du second niveau qui sont paramétrisées par le vecteur des variables de placement. Les variables de placement sont dénotées par $\boldsymbol{y} \in \{0,1\}^{|N|}$. Les flots des usagers sont représentés par des variables réelles $\boldsymbol{x}_\omega$ tandis que les variables de dimensionnent de flotte sont modélisées par des variables entières $\boldsymbol{z}_\omega$. La formulation d'optimisation stochastique proposée est :

$$\min_{\boldsymbol{y}} \ \boldsymbol{c}^{loc}\boldsymbol{y} + Q(\boldsymbol{y}) \tag{1a}$$

$$\text{s.t. } \boldsymbol{y} \in F_1 \tag{1b}$$

avec $Q(\boldsymbol{y}) = \mathbb{E}[Q(\boldsymbol{y}, \omega)]$ et :

$$Q(\boldsymbol{y}, \omega) = \min_{\boldsymbol{x}_\omega, \boldsymbol{z}_\omega} \boldsymbol{c}_\omega^{route}\boldsymbol{x}_\omega + \boldsymbol{c}^{fleet}\boldsymbol{z}_\omega \tag{2a}$$

$$\text{s.t.}(\boldsymbol{x}_\omega, \boldsymbol{z}_\omega) \in F_2(\boldsymbol{y}) \tag{2b}$$

3 Méthode et résultats préliminaires

Nous proposons plusieurs méthodes de résolution. La première consiste à reformuler (1)-(2) en programme linéaire en nombres entiers (PLNE) déterministe équivalent. Ce PLNE peut être résolu directement via un solveur dédié. Cependant, lorsque le nombre de noeuds et de scenarios augmentent, la dimension des variables $\boldsymbol{x}$ rend la résolution directe impossible en un temps raisonnable. La seconde utilise la méthode dite *L-shaped* [4] : dans cette approche, on résout itérativement les premier et second niveaux en exploitant la structure du problème en le décomposant par scénarios afin de converger vers une solution optimale. Les sous-problèmes de la méthode *L-shaped* sont des PLNE et peuvent présenter des difficultés si le nombre de noeuds est grand. Pour pallier cet obstacle, nous explorons une troisième méthode basée sur la génération de colonnes. Dans cette approches hybride les sous-problèmes PLNE de la méhode *L-shaped* sont résolu par un algorithme de type *branch and price*.

Nous avons implémenté et comparé les trois approches ci-dessus : PLNE déterministe équivalent, *L-shaped* et approche hybride sur des instances aléatoires réalistes en faisant varier à la fois le nombre de *hubs* potentiels, mais également le nombre de scénarios considérés.

Références

[1] Shabbir Ahmed. "Two-stage stochastic integer programming : A brief introduction". In : *Wiley encyclopedia of operations research and management science* (2010), p. 1-10.

[2] Antora Mohsena Haque et al. "A literature review on park-and-rides". In : *Journal of Transport and Land Use* 14 (sept. 2021). doi : 10.5198/jtlu.2021.1923.

[3] Elise Henry et al. "Locating park-and-ride facilities for resilient on-demand urban mobility". In : *Transportation Research Part E : Logistics and Transportation Review* 158 (2022), p. 102557.

[4] Gilbert Laporte et François V Louveaux. "The integer L-shaped method for stochastic integer programs with complete recourse". In : *Operations research letters* 13.3 (1993), p. 133-142.