Planification et optimisation de la recharge des bus électriques

Amira Bendjebba^{1,2}, Ammar Oulamara¹, Lhassane Idoumghar², Michel Basset²

¹ Université de Lorraine, LORIA, Nancy, France

{amira.bendjebba, ammar.oulamara}@loria.fr

² Université de Haute Alsace, IRIMAS, Mulhouse, France

{lhassane.idoumghar, michel.basset}@uha.fr

Mots-clés : *Bus électriques, planification et ordonnancement, programmation linéaire en variables mixtes*

1 Introduction

L'utilisation des Bus Electriques (BEs) par les opérateurs de transport publics ou privés a augmenté ces dernières années grâce aux différents avantages économiques et écologiques qu'ils représentent. Cependant, leur déploiement pose des défis scientifiques et techniques complexes touchant divers aspects tels que le dimensionnement des stations de recharge, la prise en compte des contraintes associées à la recharge, l'affectation des BEs aux lignes, etc. Plusieurs travaux de recherche portent sur le déploiement des BEs [1], [2]. La richesse des travaux scientifiques sur l'utilisation des BEs est due à la diversité des technologies des bus utilisés, aux technologies de recharge existantes et aux contraintes opérationnelles liées à chaque cas d'étude. Une revue des travaux scientifiques sur les problèmes de planification et d'ordonnement de recharge des BEs est proposée dans [2]. Dans ce résumé, nous présentons un problème opérationnel rencontré par un opérateur de transport public. Dans ce qui suit, nous exposons le problème étudié et les différentes contraintes, nous détaillons notre approche de résolution, ainsi que les perspectives des travaux futurs.

2 Description du problème

Un opérateur de transport possède une flotte homogène de BEs, chaque bus est équipé d'une batterie de capacité B . Ces bus sont déployés pour effectuer un ensemble prédéfini de services. Chaque service est caractérisé par un horaire de début, un horaire de fin ainsi qu'une demande d'énergie électrique spécifique. Cette quantité d'énergie permet à un bus d'accomplir le service sans nécessiter de recharge en cours d'exécution du service. A la fin de chaque service, les bus retournent au parking pour la recharge et éventuellement pour la maintenance.

Le parking est conçu de manière à maximiser le nombre de places de stationnement. Cependant, cette organisation entraîne des blocages lors du stationnement des bus à leur entrée après la réalisation d'un service et/ou lors de leur sortie pour effectuer de nouveaux services. Chaque place est équipée d'un chargeur rapide capable de fournir une puissance maximale de p_M et une puissance minimale de p_m . Les bus peuvent être rechargés simultanément, à condition que les puissances fournies par les différents chargeurs ne dépassent pas la capacité maximale du réseau électrique G . De plus, pour des raisons de sécurité lors du fonctionnement des batteries de bus et pour maintenir leur durée de vie, à tout moment, l'énergie électrique stockée dans les batteries doit être dans l'intervalle $[SoC_m \times B, SoC_M \times B]$, où SoC_m et SoC_M représentent respectivement l'état de charge minimum et maximum autorisé et prennent leur valeurs dans $[0, 1]$. De plus, SoC_0 représente l'état de charge initial des bus. Il est important de noter que si nous considérons des états de charge initiaux différents, la flotte de bus devient hétérogène bien que les batteries des bus soient identiques. Notre objectif est de déterminer une affectation

des bus aux services, tout en assurant une allocation réalisable de places de stationnement aux bus, et un planning de recharge respectant les différentes contraintes. Nous cherchons principalement à minimiser le nombre de bus à utiliser, puis à minimiser les coûts de recharge. Nous nous intéressons dans ce résumé au premier objectif.

3 Approche de résolution

Le problème a été initialement posé dans [1]. Les auteurs l'ont modélisé sous forme d'un programme linéaire en variables mixtes, noté (P_1). Ce modèle utilise des variables binaires d'affectation des bus aux services et des bus aux places. De plus, ils ont discretisé l'horizon de temps en périodes de 15 minutes. Ce modèle n'arrive pas à résoudre des instances de taille moyenne à grande, et il met même beaucoup de temps à résoudre les petites instances. Face à cette problématique, les auteurs ont adopté une approche par décomposition. Cependant, cette solution demeure insatisfaisante. C'est dans cette perspective que nous avons abordé simultanément les différentes composantes du problème et à proposer une approche de résolution exacte. Dans ce contexte, nous proposons un nouveau modèle linéaire en variables mixtes, noté (P_2). Cette nouvelle formulation est basée sur le problème de partition, intégrant des contraintes supplémentaires pour assurer l'allocation des places de stationnement et la recharge des bus. Pour ce faire, nous introduisons le concept de "collection", définie comme un ensemble de services deux à deux disjoints respectant les restrictions sur les niveaux de charge minimum et maximum des batteries. De plus, afin de gérer les contraintes de recharge, nous subdivisons l'horizon du temps en événements relatifs aux horaires de début et de fin des services.

Notre nouveau modèle surpasse l'ancienne formulation en termes de temps de calcul et arrive à résoudre à l'optimum des instances de taille moyenne qui étaient auparavant inenvisageables, même en relâchant les contraintes de blocage du (P_1). Cependant, lorsque nous augmentons la taille des instances et, par conséquent, le nombre de blocages d'entrée/sortie, le modèle (P_2) éprouve des difficultés à fournir la solution optimale. Dans ce cas, nous relâchons les contraintes de blocage de (P_2) afin d'obtenir une affectation des bus aux services et un planning de recharge. Ensuite, une allocation réalisable de places dans le parking est assurée à l'aide d'une heuristique. L'idée principale de l'heuristique est de classer les places en fonction de plusieurs attributs (nombre de places causant le blocages en E/S, nombre de places bloquées en E/S, etc), puis de les assigner progressivement aux intervalles de stationnement déduits de la solution obtenue du relaxé. Les tests ont été réalisés sur des instances générées de manière aléatoire, en se basant sur les instances réelles fournies par l'opérateur de transport. Nous exposerons les détails des résultats lors de la conférence.

4 Perspectives

La recherche d'un planning optimal minimisant à la fois le nombre de bus à utiliser et le coût de la recharge, n'est plus possible suivant le schéma de résolution précédent. Ceci est le cas des instances de taille moyenne et grande. Nous sommes donc contraints d'adopter une autre approche de résolution : la génération de colonnes intégrée dans un algorithme de séparation et évaluation, autrement dit, une méthode de Branch and Price. Les tests préliminaires ont révélé une importante opportunité d'exploiter cette méthode pour résoudre notre problème.

Références

- [1] B. Messaoudi A. Oulamara. Electric bus scheduling and optimal charging. In Proceedings of ICCL 2019 : 233-247. Springer 2019.
- [2] Perumal, S. S., Lusby, R. M., Larsen, J. Electric bus planning scheduling : A review of related problems and methodologies. European Journal of Operational Research (2022), 301(2), 395-413.