

# Modélisation bi-niveaux pour un problème de tarification de bornes de recharge de véhicules électriques

Alasseur C.<sup>1</sup> Anjos M.F.<sup>2</sup> Brotcorne L.<sup>3</sup> Guillot G.<sup>3</sup> Zorgati R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>EDF, R&D OSIRIS, France, [clemence.alasseur@edf.fr](mailto:clemence.alasseur@edf.fr), [riadh.zorgati@edf.fr](mailto:riadh.zorgati@edf.fr)

<sup>2</sup>University of Edinburgh, Scotland, [anjos@stanfordalumni.org](mailto:anjos@stanfordalumni.org)

<sup>3</sup>INRIA Lille, INOCS, France, [luce.brotcorne@inria.fr](mailto:luce.brotcorne@inria.fr), [gael.guillot@inria.fr](mailto:gael.guillot@inria.fr)

**Mots-clés** : Optimisation bi-niveaux, Programmation en nombres entiers, Recharge de véhicules électriques

## 1 Contexte

Suite à de nombreux incitatifs politiques et environnementaux, le nombre de voitures électriques a très fortement augmenté durant ces dernières années, notamment dans les zones urbaines. Cette croissance rapide suscite un nombre important de challenges au niveau de la gestion de la recharge. Plus précisément, il importe de gérer à la fois la localisation des bornes, le dimensionnement des stations pour éviter les files d'attentes et l'impact de la recharge sur la grille électrique.

Après avoir présenté dans l'exposé une brève revue de la littérature sur ces sujets, nous nous concentrons sur la gestion des stations de recharge. Plus précisément, nous proposons un modèle de tarification dynamique visant à répartir les utilisateurs dans le temps et l'espace sur les stations de recharge de façon à réduire l'impact sur la grille électrique et donc éviter les black outs. Afin de représenter le processus de décision hiérarchisé, ce problème de tarification sera modélisé par un problème d'optimisation bi-niveaux où l'institution gérant les bornes de recharge (le meneur) détermine des tarifs dynamiques en tenant en compte explicitement des préférences des utilisateurs (les suiveurs) par rapport à leurs choix de recharge.

A la différence des modèles bi-niveaux proposés dans la littérature pour la recharge des véhicules électriques, nous ne prenons pas en compte le cheminement des usagers dans le réseau mais leurs souhaits représentés par des listes de préférences. En effet, chaque usager dispose d'une liste de couples station/temps pour la recharge, ordonnée par préférence ainsi que d'une valeur de réserve par rapport au tarif. L'hétérogénéité des usagers par rapport à leur sensibilité au prix ou à leurs préférences est prise en compte.

Ce type de modèle peut être utilisé dans une optique "day ahead" en intégrant des estimations de demande de recharge fournies de façon exogène.

## 2 Modèle

Le modèle bi-niveau est un modèle bilinéaire avec variables entières au second niveau. Afin que le modèle soit bien défini, nous faisons les hypothèses suivantes :

- La localisation des stations de recharge est une donnée du problème.
- Chaque usager effectue une recharge complète de son véhicule. On considère qu'une recharge complète correspond à une unité d'énergie. Le temps de recharge est négligé.
- Chaque usager doit effectuer une unique recharge durant son parcours.
- Les prix possibles pour une unité d'énergie sont limités à un ensemble discret de prix .
- Un usager peut recharger à une station concurrente si le prix est plus grand que son budget  $\beta$ .

L'objectif du meneur est de maximiser son bénéfice provenant du revenu suit à la vente de l'énergie moins le prix d'achat, tout en souhaitant limiter les pics de consommation pour chaque instant de temps. Les variables de décision du meneur correspondent aux quantités d'énergie achetées à chaque temps, et aux prix pour chaque couple station/temps. Il doit s'assurer que le nombre de chargeur et la quantité d'énergie disponible à chaque couple station/temps est suffisante pour répondre à la demande.

Le problème du suiveur représente le processus d'optimisation des usagers, qui prennent leur décision indépendamment les uns des autres. Pour chaque problème, l'utilisateur doit choisir un couple station/temps parmi sa liste de préférences (ou recharger à la concurrence) tout en minimisant le prix payé plus le désagrément provoqué par sa liste de préférence.

## 3 Contribution et perspectives

Etant donné la complexité des problèmes d'optimisation bi-niveaux, nous nous sommes basés sur la structure du problème pour proposer une méthode de résolution efficace. Plus précisément, nous proposons une reformulation sous forme de programme linéaire en nombres entiers à un niveau, basée sur les travaux de [1]. Cette reformulation intègre les conditions d'optimalité des différents problèmes des usagers dans le problème du meneur.

Nous présenterons des résultats numériques sur des instances de taille moyenne permettant de mettre en évidence les performances de la méthode de résolution proposée par rapport à des approches classiques. De plus, une analyse des cas extrêmes permet de définir les conditions pour obtenir un problème bi-niveaux réalisable, et d'étudier l'impact des différents paramètres des usagers.

## Références

- [1] Davila, S., Labbé, M., Marianov, V., Ordóñez, F., Semet, F. (2022). Product line optimization with multiples sites. *Computers Operations Research*, 148, 105978.