

Modélisation stochastique de la Qualité de service de charge pour véhicules électriques en compétition

Alix Dupont^{1,2}, Yezekael Hayel¹, Tania Jiménez¹, Cheng Wan², Olivier Beaude²

¹ Université d'Avignon, LIA, Avignon, France
prenom.nom@univ-avignon.fr

² EDF lab Paris-Saclay, dep. OSIRIS, Saclay, France
prenom.nom@edf.fr

Mots-clés : *Véhicules électriques, Modèles stochastiques, Jeux de congestion.*

Introduction Avec l'essor des Véhicules Electriques (VEs), la demande de places de stationnement équipées d'un dispositif de recharge dans les stations de charge (SdC) augmente considérablement. Ceci nous motive à étudier la qualité du service de charge (QdSC) dans ces stations. Dans notre modèle, nous prenons en considération le comportement des conducteurs des VEs. Ces derniers peuvent choisir entre deux SdCs. Nous considérons que les usagers choisissent une SdC dans l'objectif de partir avec une batterie pleine. Ce scénario peut correspondre par exemple à l'arrivée de VEs dans un centre commercial avec plusieurs parkings équipés de points de charge (PdCs).

1 Modélisation

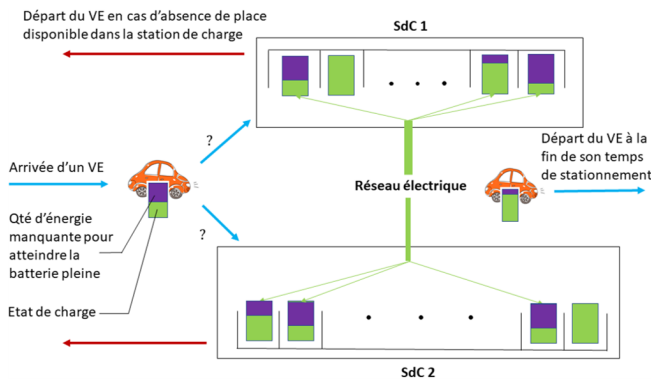


FIG. 1 – Schéma de principe de la modélisation considérée.

Dans le modèle proposé, une seule classe de VEs est considérée. L'arrivée des VEs suit un processus de Poisson. Leur temps de stationnement, ainsi que la quantité d'énergie nécessaire pour avoir une batterie pleine, sont aléatoires et suivent des lois exponentielles indépendantes. Un VE quitte la SdC seulement quand son temps de stationnement est écoulé, indépendamment du niveau de charge de sa batterie. Ainsi, un VE dont la batterie a atteint sa capacité va occuper physiquement une place avec un point de charge sans se charger jusqu'à son départ de la station, ce qui contribue à congestionner la SdC en terme de places de stationnement disponibles. Les SdCs sont caractérisées par le nombre de places de stationnement (toutes équipées d'un point de charge) et par la puissance totale disponible pour la SdC. Cette dernière correspond à une contrainte à respecter du point de vue de la QdSC, et peut provenir d'un accord dans un contrat d'électricité ou d'une limite physique d'équipement de la SdC. La règle de répartition de la puissance pour les VEs au sein d'une SdC est la même pour les deux SdCs. En dessous d'un certain seuil (différent pour chaque SdC) en terme de nombre de VEs en charge, ces derniers peuvent se charger à pleine puissance. Dans le cas contraire, les VEs en charge se partagent uniformément la puissance totale disponible à la SdC.

Dans chaque SdC, le nombre de VEs en charge et le nombre total de VEs peuvent être étudiés à partir d'une chaîne de Markov à temps continu. Un VE choisit entre les deux SdCs

Dans le modèle proposé, une seule classe de VEs est considérée. L'arrivée des VEs suit un processus de Poisson. Leur temps de stationnement, ainsi que la quantité d'énergie nécessaire pour avoir une batterie pleine, sont aléatoires et suivent des lois exponentielles indépendantes. Un VE quitte la SdC seulement quand son temps de stationnement est écoulé, indépendamment du niveau de charge de sa batterie. Ainsi, un VE dont la batterie a atteint sa capacité va occuper physiquement une place avec un point de charge sans se charger jusqu'à son départ de la station, ce qui contribue à congestionner la SdC en terme de places de stationnement disponibles.

laquelle lui sera la plus favorable par rapport à son objectif de charge. Le choix de la SdC se fait sans observation au préalable du nombre de VEs présents. Donc un VE peut choisir, sans le savoir, d'aller à une station pleine. Dans ce cas, le VE quitte le système sans se charger, voir FIG. 1. On suppose que l'objectif des VEs est de quitter la station choisie avec une batterie pleine. D'après la propriété PASTA (*Poisson Arrival See Time Average*), un nouvel arrivant voit le système dans son régime stationnaire. Le critère de satisfaction des VEs est défini comme la probabilité, dans l'état stationnaire du système, de partir avec une batterie pleine. Cela signifie en particulier que si la SdC choisie par un VE est pleine, alors l'utilité du VE est nulle. Le critère de choix des VEs dépend donc du nombre de VEs en stationnement ainsi que du nombre de VEs en charge dans chaque SdC dans l'état stationnaire du système. On peut alors modéliser cette inter-dépendance entre les décisions des VEs par un jeu sur un système de files d'attente [1]. Dans ce jeu, défini sous forme normale, les joueurs sont les VEs, leur action est le choix de la SdC, et leur utilité est le critère de satisfaction décrit plus haut.

2 Apport des travaux

Etat de l'art : Plusieurs modèles similaires ont été étudiés dans la littérature. En particulier, [2] a étudié un modèle similaire mais seulement dans le cas d'une seule SdC. Le modèle n'intègre donc pas de prise de décision stratégique des VEs. [3] a étudié un modèle intégrant le choix entre deux SdCs. Cependant, la possibilité d'être rejeté à l'entrée d'une SdC n'a pas été prise en compte par les VEs, et la QdSC considèrent seulement ceux ayant trouvé une place dans la SdC choisie.

Travaux effectués : L'existence et l'unicité de l'équilibre du jeu décrit plus haut ont été démontrés. Des résultats numériques sur l'équilibre et le prix de l'anarchie sont également fournis. FIG. 2 donne des indications sur une répartition optimale de la ressource en puissance entre les deux SdCs, dans un système où les VEs choisissent individuellement leur meilleur option, sans prendre en compte les externalités positives ou négatives sur le bien commun.

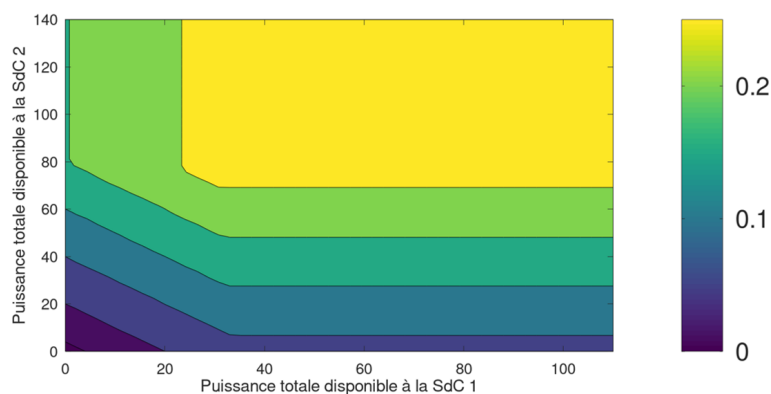


FIG. 2 – Probabilité de partir avec une batterie pleine à l'équilibre du jeu pour le cas d'étude suivant : il y a 5 places de stationnement (resp. 20) à la SdC 1 (resp. 2), toutes équipées d'un point de charge ; les PdCs de la SdC 1 (resp. 2) délivrent au maximum 22kW (resp. 7kW) ; les VEs arrivent en moyenne toutes les 3 minutes, restent en moyenne 2h en stationnement (lorsqu'ils trouvent une place), et nécessitent en moyenne 20kWh pour atteindre la batterie pleine. Sous la contrainte d'une capacité de puissance totale pour les deux SdCs limitée (par ex. 130kW), il est plus intéressant de fournir une proportion de cette puissance totale plus importante à la SdC 2, qui comporte plus de PdCs mais dont les PdCs délivrent une puissance de charge maximale plus faible aux VEs.

Références

- [1] R. Hassin, and M. Haviv, *To queue or not to queue : Equilibrium behavior in queueing systems*, Kluwer, 2003.
- [2] A. Aveklouris, M. Vlasios, and B. Zwart, *Bounds and limit theorems for a layered queueing model in electric vehicle charging*, *Queueing Systems*, 93 :83–137, 2019.
- [3] A. Dupont, Y. Hayel, T. Jiménez, O. Beaude, C. Wan, *Coupled queueing and charging game model with energy capacity optimization*, in *proc. of ASMTA*, 2021.