

Caractérisation multicritère des profils de recharge de véhicules électriques et modèle IA de génération de grands volumes de donnée de simulation de recharge : cas nominaux, cas extrêmes et cas de comportements anormaux

ENTREPRISES

L'Institut pour la Transition Énergétique (ITE) VEDECOM est un institut français de recherche et de formation dédié aux mobilités innovantes et durables, à travers trois axes de R&D multidisciplinaire : l'électrification, le véhicule automatisé et connecté, les nouvelles solutions de mobilité et d'énergies partagées. Intégré dans le programme d'innovation "France 2030", l'Institut contribue également activement à de nombreux projets de recherche européens. Constitué de chercheurs, d'ingénieurs, de responsables d'études, de doctorants, ..., VEDECOM compte 80 collaborateurs qui ont à cœur de répondre aux problématiques de mobilité de demain.

L'ESTACA est une Ecole d'Ingénieurs spécialisée dans les transports (aéronautique, automobile, espace, transports guidés et naval). Ses équipes de recherche sont regroupées au sein d'ESTACA'LAB en deux Pôles : S2ET (« Systèmes et Energies Embarqués dans les Transports ») et MSCE (« Mécanique des Structures Composites et Environnement ») et sont réparties sur les 3 campus (Saint Quentin en Yvelines, Laval et Bordeaux). Le doctorant recruté sera intégré au pôle S2ET (« Systèmes et Energie Embarqués dans les Transports ») basé à Saint Quentin en Yvelines et à VEDECOM – Versailles.

CONTEXTE ET OBJECTIF

CONTEXTE DE LA THESE :

Cette thèse s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre l'Institut VEDECOM et l'ESTACA. Elle est proposée dans le cadre du projet SCPA (Smart Charging Protocol for All) soutenu par l'ANR.

La transition énergétique, caractérisée par la décarbonation et le verdissement du mix énergétique par l'introduction massive des énergies renouvelables, intermittente par nature, créent des besoins de flexibilité dans la production et la distribution de l'électricité. L'essor de la digitalisation de la gestion du système électrique (Smart Grid) est une des clés pour répondre à ce besoin.

Par ailleurs, la consommation et les modes de consommation de l'énergie vont fortement évoluer : la feuille de route de la réglementation européenne imposera la transition massive vers la mobilité électrique, créant ainsi une nouvelle forme de consommateurs à intégrer dans le système électrique. L'étude RTE de 2021 explique clairement les enjeux futurs.

Le développement des technologies du Smart Charging, incluant le V2G [1], permettra une intégration mieux maîtrisée de cette nouvelle demande, elle permettrait même d'installer le véhicule électrique comme une source majeure de flexibilité pour le système électrique.

ESTACA Paris-Saclay
12 avenue Paul Delouvrier - RD 10
78180 Montigny-le-Bretonneux
Tél. : 01 75 64 50 41

ESTACA Laval
Parc Universitaire Laval-Changé
Rue Georges Charpak - BP 76121
53061 Laval Cedex 9
Tél. : 02 43 59 47 00

ESTACA Bordeaux
Esplanade des Arts et métiers
33405 Talence
Tél. : 05 35 31 49 70

www.estaca.fr

ESTACA, CREATEUR DE NOUVELLES MOBILITES

Les technologies (matériels et logiciels) de charge bidirectionnelle déjà existantes seront exploitables à très courts termes. Il reste à développer l'écosystème, les interactions inter-systèmes, les cas d'usage et les business modèles pour déployer les services énergétiques basés sur la flexibilité offerte par la charge/décharge des véhicules électriques [2].

PROBLEMATIQUES/VERROUS :

L'intégration du véhicule électrique comme source de flexibilité au système électrique, tout en respectant les contraintes techniques des véhicules, des réseaux privés et publics de distribution d'électricité, des contraintes contractuels et des besoins de mobilité sont les clés du succès de cette source de flexibilité.

Le comportement de charge d'un grand nombre de véhicule électrique influencera inévitablement le réseau et les systèmes de transport. Il est donc nécessaire d'étudier leurs comportements de charge et leur programmation. La recherche actuelle s'est principalement concentrée sur les stratégies de programmation qui prennent en compte les informations relatives au système de transport ou au réseau de manière indépendante. Les premières sont planifiées pour un seul véhicule, tandis que les secondes sont planifiées pour un groupe de véhicules [2,3].

Il est primordial d'analyser et d'anticiper le comportement de charge afin d'assurer un approvisionnement énergétique continu et stable. Les efforts de recherche récents se sont orientés vers l'élaboration de stratégies de planification. Cependant, une distinction claire est observée entre celles qui se concentrent sur un seul véhicule, basées principalement sur les informations du système de transport, et celles qui envisagent la planification pour un ensemble de véhicules, en s'appuyant davantage sur les informations du réseau électrique [4].

Le développement et la validation de services énergétique basés sur la recharge se heurte à l'absence de suffisamment de recul sur les profils de recharge intégrant la réversibilité et les volumes suffisants pour évaluer la viabilité de ces services.

La modélisation de profils type, de comportement et aléas potentiels ainsi que la simulation d'un parc important de véhicules électrique constitueront un terrain pour évaluer, de manière préliminaire, les intérêts de ces nouveaux services. Ce sont autant de verrous que cette thèse adressera [5].

OBJECTIFS DE LA THESE :

- Modéliser les profils et situation de charge intégrant les services énergétiques : recharge, décharge, choix de l'utilisateur, état du réseau local et public de distribution, présence/absence d'EnR localement, cas d'usage et situations de sollicitation des services...
- Mettre en place des logiques statiques et dynamiques faisant interagir les profils dans des cas nominaux et avec génération d'aléas. La logique dynamique de l'évolution des profils actifs ainsi que l'avènement d'aléas se basera entre autres sur les techniques d'IA générative.
- Participer à la création d'un outil de simulation d'un grand nombre de sessions de charge, basé sur les résultats des travaux des points précédents. Cet outil fournira un terrain de jeu

ESTACA Paris-Saclay
12 avenue Paul Delouvrier - RD 10
78180 Montigny-le-Bretonneux
Tél. : 01 75 64 50 41

ESTACA Laval
Parc Universitaire Laval-Changé
Rue Georges Charpak - BP 76121
53061 Laval Cedex 9
Tél. : 02 43 59 47 00

ESTACA Bordeaux
Esplanade des Arts et métiers
33405 Talence
Tél. : 05 35 31 49 70

permettant aux développeurs de services énergétiques d'évaluer le potentiel de la flexibilité issue de la recharge.

- Mettre en place un modèle d'évaluation de la confiance de la disponibilité des flexibilités sur les axes temporel et puissance : le peu de prévisibilité du comportement de l'utilisateur du véhicule et l'évolution des besoins d'autres consommateurs sur le réseau électrique peuvent fausser les prévisions de flexibilité, l'effet volume pouvant créer des pondérations. Il s'agit pour cet objectif de travailler sur une modélisation permettant d'élaborer des hypothèses de travail.
- Développer des stratégies de prédiction de charge en s'appuyant sur les modèles mis en place. En exploitant les modèles déjà établis, cette démarche permettra une meilleure anticipation des demandes énergétiques. Une combinaison de données historiques, d'algorithmes avancés et d'une compréhension approfondie des comportements de consommation peut conduire à des prédictions plus précises.

Mots Clés :

Véhicule électrique, charge intelligente, profils de recharge, modélisation, V2G, prédiction de charge, IA, Data.

Références bibliographiques :

[1] Guille, Christophe, and George Gross. "A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation." *Energy policy* 37.11 (2009): 4379-4390.

[2] Luo, Yugong, et al. "Optimal charging scheduling for large-scale EV (electric vehicle) deployment based on the interaction of the smart-grid and intelligent-transport systems." *Energy* 97 (2016): 359-368.

[3] Solanke, Tirupati Uttamrao, et al. "A review of strategic charging–discharging control of grid-connected electric vehicles." *Journal of Energy Storage* 28 (2020): 101193.

[4] Usman, Muhammad, et al. "A coordinated charging scheduling of electric vehicles considering optimal charging time for network power loss minimization." *Energies* 14.17 (2021): 5336.

[5] Daina, Nicolò, Aruna Sivakumar, and John W. Polak. "Electric vehicle charging choices: Modelling and implications for smart charging services." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 81 (2017): 36-56.

POSTE ET MISSIONS

- **Début de la thèse :** Novembre 2023 **Durée du stage :** 36 mois
- **Futur doctorant salarié VEDECOM**
- **Missions principales :**

ESTACA Paris-Saclay
12 avenue Paul Delouvrier - RD 10
78180 Montigny-Le Bretonneux
Tél. : 01 75 64 50 41

ESTACA Laval
Parc Universitaire Laval-Changé
Rue Georges Charpak - BP 76121
53061 Laval Cedex 9
Tél. : 02 43 59 47 00

ESTACA Bordeaux
Esplanade des Arts et métiers
33405 Talence
Tél. : 05 35 31 49 70

- 1- **Etat de l'Art** : marché de la flexibilité électrique en Europe, Smart Charging et V2G, données et modèle des profils de charge, comportement des usagers face aux offres Smart Charging, offres de flexibilité basées sur le Smart Charging et V2G
- 2- **Modélisation des profils de charge de véhicules et de groupes de véhicules, intégrant les services énergétiques**. Ces profils tiendront compte des points ou des zones de recharge et intégreront une probabilité de situations anormales à définir (IA générative).
 - a) A partir de l'Etat de l'Art lister des scénarios qui s'intégreront dans les évolutions des réseaux et des sources d'électricité
 - b) Choisir des scénarios en fonction de leurs intérêts potentiels (probabilité) : on tentera d'avoir des scénarios ayant différents impacts sur le réseau électrique (villa, résidence, quartier, ville, réseau autoroutier)
 - c) Définir les paramètres influençant la réussite de ces scénarios pour être capable de faire des études de sensibilité et définir des seuils d'engagement des scénarios
- 3- **Participer à la réalisation d'un outil de simulation** d'un environnement permettant l'évaluation des services énergétiques basée sur la flexibilité de la recharge du véhicule électrique. Participer aux tests des modèles et de cet outil avec les scénarios retenus et conclure sur son intérêt pour valider des services de recharge bidirectionnelle.
- 4- **Production et valorisation scientifique** : rapports internes ; articles de revues et de conférences ; rédaction du manuscrit de thèse.

PROFIL

- Ingénieur ou titulaire d'un Master II, issu d'un parcours de formation technique avec des spécialisations en électricité et énergie. Des compétences en data science et en intelligence artificielle seraient un atout supplémentaire.

POLE DE RECHERCHE ET LIEU DU POSTE

☐ **POLE MECANIQUE DES STRUCTURES COMPOSITES ET ENVIRONNEMENT (MSCE)**

☐ Qualité de l'air

☐ Allègement

☒ **POLE SYSTEMES ET ENERGIE EMBARQUES POUR LE TRANSPORT (S2ET)**

☒ Energie et contrôle

☐ Systèmes embarqués

☒ ESTACA Paris-Saclay à Montigny-le-Bretonneux (78)

☐ ESTACA Laval (53)

☐ ESTACA Bordeaux à Talence (33)

ESTACA Paris-Saclay
12 avenue Paul Delouvrier - RD 10
78180 Montigny-le-Bretonneux
Tél. : 01 75 64 50 41

ESTACA Laval
Parc Universitaire Laval-Changé
Rue Georges Charpak - BP 76121
53061 Laval Cedex 9
Tél. : 02 43 59 47 00

ESTACA Bordeaux
Esplanade des Arts et métiers
33405 Talence
Tél. : 05 35 31 49 70

CONTACTS

Veuillez adresser votre dossier de candidature (CV détaillé et lettre de motivation) à :

ABDELMOUDJIB BENTERKI (DR)
ENSEIGNANT CHERCHEUR A L'ESTACA PARIS SACLAY
abdelmoudjib.benterki@estaca.fr

TOUFIK AZIB (PR)
PROFESSEUR A L'ESTACA PARIS SACLAY
toufik.azib@estaca.fr

EQUIPE D'ENCADREMENT :

DIRECTION DE THESE (ESTACA) : CHERIF LAROUCI(PR)
ENSEIGNANT CHERCHEUR (HDR) A L'ESTACA PARIS SACLAY
cherif.larouci@estaca.fr

CO-ENCADREMENT (ESTACA) : ABDELMOUDJIB BENTERKI (DR)
ENSEIGNANT CHERCHEUR A L'ESTACA PARIS SACLAY
abdelmoudjib.benterki@estaca.fr

CO-ENCADREMENT (VEDECOM) : GUY DIEMUNSCH
guy.diemunsch@vedecom.fr

ESTACA Paris-Saclay
12 avenue Paul Delouvrier - RD 10
78180 Montigny-le-Bretonneux
Tél. : 01 75 64 50 41

ESTACA Laval
Parc Universitaire Laval-Changé
Rue Georges Charpak - BP 76121
53061 Laval Cedex 9
Tél. : 02 43 59 47 00

ESTACA Bordeaux
Esplanade des Arts et métiers
33405 Talence
Tél. : 05 35 31 49 70

www.estaca.fr

ESTACA, CREATEUR DE NOUVELLES MOBILITES