

Défis : Dans le cadre de la transition énergétique et du développement de la mobilité électrique, les batteries font parties aujourd'hui du panel de solutions. A titre d'exemple, la décision de l'UE de convertir le parc de véhicules thermiques actuel vers un parc de véhicules électriques pour 2035, donne une idée du développement attendu des batteries et notamment des batteries Lithium-ion. Les batteries sont également envisagées dans le cadre d'application stationnaire comme stockage des énergies renouvelables par nature intermittentes. De nombreux verrous scientifiques sont encore à être résolus en vue d'améliorer leur fiabilité et leur durée de vie et donc de diminuer leur impact environnemental. Par ailleurs, en vue du développement du véhicule électrique, la charge rapide reste un sujet plus que d'actualité. La promesse d'une charge rapide (de l'ordre de 10 à 20 minutes) constitue pour chaque constructeur un défi et un argument de vente indéniable. Cependant, une charge rapide peut entraîner des dommages irréversibles tels que des dégradations électro-mécaniques et chimiques ou un dépôt de lithium, qui réduisent l'autonomie, la durée de vie et la sécurité de la batterie [1-4]. Dans le cadre du projet IBIS porté par Stellantis, SAFT, E2CAD et Sherpa Engineering avec l'appui des laboratoires GeePs, Lepmi et SATIE, nous avons développé un protocole de charge rapide basé sur un contrôle en pulses de tension très efficace. Cette thèse s'inscrit donc dans le contexte de l'étude des charges rapides afin d'avoir une meilleure compréhension des phénomènes internes à la batterie et de proposer une modélisation fine de ces phénomènes.

Objectifs : Dans le cadre de la mobilité électrique, la charge rapide est devenue aujourd'hui une nécessité. Cependant, quel que soit le protocole choisi, les charges rapides entraînent des dégradations et limite la durée de vie des batteries. En effet, lors d'une charge rapide, les déformations mécaniques liées aux phénomènes thermiques (expansion physique) ou aux phénomènes électrochimiques d'insertion/désinsertion (expansion chimique) impactent fortement la durée de vie de la batterie. De plus un dépôt de lithium peut se former pouvant impacter le comportement en sécurité de la batterie. L'originalité de la thèse porte sur un nouveau protocole innovant basé sur des pulses de tension. La thèse aura donc pour objectifs :

- D'étudier les mécanismes de dégradation liés à des protocoles de charge rapide pulsée,
- De développer une modélisation physique afin de mieux comprendre l'apparition des mécanismes/phénomènes de dégradation.

Les essais permettront d'une part de déterminer les mécanismes de vieillissement mais d'autre part d'alimenter et de valider le modèle développé. Une fois le modèle validé, les simulations permettront d'affiner le protocole en vue de réduire les conditions conduisant aux dégradations.

Plan de travail :

- État de l'art : Charge rapide et vieillissement
 - État de l'art des protocoles de charge rapide (brevets et articles).
 - État de l'art des mécanismes de vieillissement des batteries lithium sous charge rapide.
 - État de l'art des modèles électrochimiques des batteries
- Définition des protocoles d'essai et étude du vieillissement
 - Choix des cellules
 - Définition des protocoles de vieillissement et de check-up
 - Campagne de tests et analyse des vieillissements
- Modélisation
 - Développement d'un modèle électrochimique prenant en compte les mécanismes de vieillissement identifiés en charge rapide
 - Validation du modèle basée sur la campagne d'essais de vieillissement
 - Évaluations des performances du protocole de charge

Conditions et environnement : Le laboratoire LEPMI offre un environnement scientifique riche combinant enseignement et recherche. D'un point de vue expérimental, les activités du LEPMI reposent sur l'utilisation de nombreux outils de caractérisation dont un plateau technique dédié à la caractérisation et au cyclage des batteries. Le laboratoire entretient également des relations suivies et privilégiées avec les grands instruments du site grenoblois : ESRF et ILL pour la caractérisation structurale des matériaux et des surfaces, essentiellement pour les générateurs électrochimiques (batteries, piles à combustible). Enfin, des outils de simulation tels que MATLAB, COMSOL, sont largement utilisés. L'ancrage de la thèse conduite dans le cadre d'une collaboration avec le laboratoire SATIE, adresse les questions autour des batteries du matériau au modèle.

Profil souhaité et connaissances techniques : Les candidats doivent être titulaires d'un diplôme de Bachelor + 5 (M2 ou Ingénieur) avec un intérêt à la fois pour l'expérience et la modélisation. Une expérience préalable en caractérisation expérimentale ou en modélisation dans le domaine des batteries est souhaitable. La connaissance des outils de modélisation comme COMSOL est un plus. Niveaux CECRL en français et en anglais : minimum B2.

Compétences : *Rigueur / Fiabilité (respect des engagements) / Capacité d'analyse et de synthèse / localisation au sud de Paris / intérêt pour la durabilité avec l'aide de la circularité technologique.*

Mots Clé : Batteries lithium-ion, Charge rapide, Mécanisme de dégradation, Durée de vie

Conditions : École doctorale : IMEP2 Université Grenoble Alpes, au laboratoire LEPMI

Contacts : yann.bultel@grenoble-inp.fr, jean-claude.lepretre@univ-grenoble-alpes.fr, pierre-xavier.thivel@grenoble-inp.fr

Références bibliographiques :

- [1] K. S. N. Vikrant and Srikanth Allu, Modeling of Lithium Nucleation and Plating Kinetics Under Fast Charge Conditions, **2021 J. Electrochem. Soc.** 168 020536
- [2] Alec S. Ho, Dilworth Y. Parkinson, *et al.* 3D Detection of Lithiation and *Lithium-plating* in Graphite Anodes during Fast Charging, **ACS Nano** **2021**, 15, 6, 10480–10487
- [3] Nikolaos Wassiliadis, Johannes Kriegler *et al.* Model-based health-aware fast charging to mitigate the risk of *lithium-plating* and prolong the cycle life of lithium-ion batteries in electric vehicles, **Journal of Power Sources** 561 (**2023**) 232586
- [4] Konz, Z.M., Wirtz, B.M., Verma, A. *et al.* High-throughput Li plating quantification for fast-charging battery design. **Nat Energy** (2023).