

Proposition de sujet de thèse - Université Gustave Eiffel

Laboratoire LICIT-Eco7

Titre de la thèse

Détermination d'un modèle générique de vieillissement de batteries lithium-ion adapté aux nouveaux usages

Mots clés

Transition Énergétique, Batterie, Modélisation, Vieillissement, Fiabilité, Nouveaux usages

Laboratoire d'accueil

LICIT-Eco7 Eco-gestion des Systèmes Énergétiques Pour les Transports

Contexte scientifique

Le succès de la transition énergétique dépend de nombreux défis : impacts environnementaux, modifications de comportements, approvisionnements énergétiques, pour ne citer que les principaux. D'un point de vue technologique, le déploiement de véhicules électriques (VE) présente de nombreux avantages (efficacité énergétique, très faible émission de polluants locaux pendant la phase d'usage, réduction des nuisances sonores, ...). Parmi les challenges que doit relever le VE celui des impacts environnementaux de sa batterie est le plus crucial [1]. Ces impacts doivent être maîtrisés sur l'ensemble du cycle de vie de la batterie. Les impacts de la phase d'usage de la batterie sont liés à l'origine de l'électricité et aussi à la durée de vie de la batterie. La maîtrise de cette durée de vie repose sur la compréhension des mécanismes de vieillissement. Il est d'usage de séparer les mécanismes présents lors des phases de repos (le vieillissement calendaire) de ceux provoqués par le passage d'un courant (le vieillissement en cyclage). En réalité il existe un couplage entre les 2 familles de mécanismes comme l'ont montré les travaux d'Eduardo REDONDO lors de sa thèse [9, 10]. La modélisation de ce couplage est d'autant plus nécessaire que les sollicitations en puissance des batteries deviennent plus complexes à l'image des usages qui se diversifient. Tout d'abord les véhicules électriques ou hybrides rechargeables seront de plus en plus impliqués dans des échanges énergétiques bidirectionnels avec l'infrastructure de recharge et le réseau électrique. Les véhicules pourront envoyer de l'énergie au réseau lors de pointes de consommation – ce qui correspond aux concepts de V2G (vehicle to Grid), de V2H (Vehicle to Home) ou plus largement de V2X. Ensuite la mise en place de flottes de véhicules partagés – autonomes ou non – va modifier les profils de recharge : au lieu d'une charge lente unique dans la nuit ou sur le lieu de travail, une flotte de véhicules partagés pourrait imposer des charges plus courtes, et peut être plus intenses, entre chaque trajet. Enfin, la montée des énergies renouvelables dans la production d'électricité devrait s'accompagner d'un recours plus fréquent à du stockage stationnaire [2, 4], éventuellement dans des batteries de seconde vie issues de l'électromobilité [3]. Toutes ces raisons rendent nécessaire le développement de modèles de vieillissement complets intégrant les divers mécanismes et leurs couplages. Ces modèles devront être génériques pour s'adapter aux différentes technologies de batteries actuelles et futures. Les nouvelles générations de batteries lithium-ion sont basées sur la même technologie d'électrode, mais leur composition a légèrement évolué (moins de Cobalt, plus de Nickel). Les mécanismes de vieillissement prédominants dans ces technologies restent essentiellement les mêmes (SEI, déposition de lithium), mais leurs proportions et leurs interactions peuvent varier par rapport aux technologies précédents.

Ce travail s'appuiera sur et prolongera les précédents travaux du laboratoire Eco7 : les projets SIMSTOCK, SIMCAL, MOBICUS et les thèses DEVIE (2012), LI (2013), LIEVRE (2015), REDONDO (2017), BEN MAZOUK (2020), HOUBADDI (2021).

Comme pour la plupart des travaux sur le stockage d'énergie au sein du laboratoire Eco7, ces études seront réalisées dans le cadre de l'ERC GEST (Équipe de Recherche Commune Gestion de l'Énergie et son Stockage pour les Transports) et pourront bénéficier de l'expertise du Laboratoire Ampère (Université de Lyon).

Objectifs

Cette thèse portera sur le développement d'un modèle générique de vieillissement associant les mécanismes calendaires et de cyclage. Une grande partie des mécanismes de vieillissement présents dans les batteries lithium-ion ont déjà été étudiés d'une manière isolée [5-7], notamment le mécanisme de croissance de la couche SEI (Solid Electrolyte Interface - typique du vieillissement calendaire) [11] et le mécanisme de déposition de lithium dans l'électrode négative (provoqué essentiellement par des charges à froid et/ou rapides) [12]. Néanmoins, les effets des interactions entre les mécanismes de vieillissement sont encore assez méconnus. Des travaux [8-10] ont mis en évidence que la dégradation produite par la concaténation de différentes phases d'utilisation (repos, cyclages à différents régimes, variations d'états de charge, variations de température) ne peut être expliquée par une simple addition de dégradations obtenues dans des conditions stationnaires.

Les verrous scientifiques actuellement identifiés pour cette thèse sont les suivants :

- Identification des mécanismes de vieillissement dans une large plage d'utilisation de la batterie (niveaux de courant, niveaux d'état de charge, température)
- Établissement des relations entre les différents modes de fonctionnement (repos, charge lente, charge rapide) et les mécanismes de vieillissement (formation de SEI, déposition de lithium, etc.).
- Mesure des interactions entre différents mécanismes (p.ex. : formation de SEI et déposition de lithium).
- Développement d'un modèle de dégradation de performances (énergie et puissance disponibles) en fonction d'une succession complexe de modes de fonctionnement.

Programme de recherche et démarche scientifique

Le travail comprendra une étude bibliographique afin de faire l'état de l'art des connaissances sur le vieillissement des batteries. Une analyse des bases de données actuellement acquises (en particulier celles du projet MOBICUS et de la thèse de Eduardo Redondo) permettra de vérifier si les données couvrent l'ensemble des conditions d'usage envisagées. Des nouvelles expérimentations pourront alors être menées pour compléter et valider les résultats de ces projets précédents.

Après avoir identifié, compris et quantifié les mécanismes de vieillissement et leurs interactions, la deuxième phase de la thèse consistera en une démarche de modélisation. Les modèles obtenus devront être compatibles avec la bibliothèque de simulation VEHLIB développée au sein de l'équipe. Ces modèles devront être configurables et permettre de prédire l'évolution des performances de la batterie (énergie et puissance disponibles) en fonction des différents types d'usages, de la taille et de la composition des batteries et aussi des conditions ambiantes.

Enfin, l'application de ces modèles à quelques scénarios représentatifs d'usages nouveaux (véhicules hybrides rechargeables, flottes partagées, V2G, ...) pourra mettre en évidence les lignes directrices pour des travaux ultérieurs d'optimisation. Quelques scénarios pourront être choisis pour être validés expérimentalement sur des bancs de test de batteries.

Discipline et profil du candidat

Discipline : Génie Électrique

Compétences techniques :

- Connaissances en électrotechnique, électronique de puissance et instrumentation
- Connaissances d'un ou plusieurs langages de programmation (p.ex. : Matlab, Python)

Autres compétences :

- Rigueur, autonomie et curiosité scientifique.
- Anglais oral et écrit (rédaction d'articles scientifiques et présentations dans des conférences internationales).

Équipe d'encadrement

Directeur : Serge PELISSIER, DR (HDR), Université Eiffel

<https://pagespro.univ-gustave-eiffel.fr//serge-pelissier>

Encadrant : Eduardo REDONDO-IGLESIAS, IR (Docteur), Université Eiffel

<https://pagespro.univ-gustave-eiffel.fr//eduardo-redondo>

Bibliographie

- [1] Peters J-F., Baumann M., Zimmermann B., Braun J., Weil M., The environmental impact of Li-Ion batteries and the role of key parameters – A review *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **2017**, 67 pp 491–506
- [2] Martinez-Laserna E., Gandiaga I., Sarasketa-Zabala E., Badedo J., Stroe D.-I., Swierczynski M., Goikoetxea A., Battery second life: Hype, hope or reality? A critical review of the state of the art *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **2018**, 93, pp 701–718
- [3] Sinsel S-R., Riemke R-L., Hoffmann V-H., Challenges and solution technologies for the integration of variable renewable energy sources - a review, *Renewable Energy*, **2020**, 145, pp 2271-2285
- [4] Colmenar-Santos A., Munoz-Gomez A-M., Rosales-Asensio E., Lopez-Rey A., Electric vehicle charging strategy to support renewable energy sources in Europe 2050 low-carbon scenario, *Energies*, **2019**, 183, pp 61-74
- [5] Vetter, J.; Novák, P.; Wagner, M.; Veit, C.; Möller, K.-C.; Besenhard, J.; Winter, M.; Wohlfahrt-Mehrens, M.; Vogler, C. & Hammouche, A. Ageing mechanisms in lithium-ion batteries, *J. Power Sources*, **2005**, 147, pp 269 - 281
- [6] Dubarry, M.; Truchot, C. & Liaw, B. Y. Synthesize battery degradation modes via a diagnostic and prognostic model, *J. Power Sources*, **2012**, 219, pp 204 - 216
- [7] Ecker, M.; Gerschler, J. B.; Vogel, J.; Käbitz, S.; Hust, F.; Dechent, P. & Sauer, D. U. Development of a lifetime prediction model for lithium-ion batteries based on extended accelerated aging test data, *J. Power Sources*, **2012**, 215, pp 248 - 257
- [8] Grolleau, S.; Baghdadi, I.; Gyan, P.; Marzouk, M. B. & Duclaud, F., Capacity fade of lithium-ion batteries upon mixed calendar/cycling aging protocol, *EVS29-2016 Electric Vehicle Symposium and Exhibition*, **2016**, 12-p
- [9] Redondo-Iglesias E., Venet P., Pélissier S., Calendar and cycling ageing combination of batteries in electric vehicles, *Microelectronics Reliability*, 2018, 88-90, pp 1212 - 1215
- [10] Redondo-Iglesias, E.; Venet, P.; Pelissier, S. Modelling Lithium-Ion Battery Ageing in Electric Vehicle Applications—Calendar and Cycling Ageing Combination Effects. *Batteries* 2020, 6, 14
- [11] P. Verma, P. Maire, and P. Novák, “A review of the features and analyses of the solid electrolyte interphase in Li-ion batteries”, *Electrochimica Acta*, vol. 55, no. 22, pp. 6332 – 6341, 2010
- [12] N. Legrand, B. Knosp, P. Desprez, F. Lapique, and S. Rael, “Physical characterization of the charging process of a Li-ion battery and prediction of Li plating by electrochemical modelling”, *Journal of Power Sources*, vol. 245, pp. 208 – 216, 2014.