

Modélisation multi-physique des performances et du vieillissement des batteries tout solide ou semi-solide

Mots clés :	batteries tout solide, modélisation, caractérisation, test, performances, mécanismes de dégradation, indicateurs, vieillissement, état de santé
Laboratoire :	IMS (Intégration du Matériau au Système) UMR 5218 CNRS 351 cours de la Libération, 33405 Talence Cedex - France
Encadrement :	Olivier Briat (olivier.briat@ims-bordeaux.fr), Jean-Michel Vinassa (jean-michel.vinassa@ims-bordeaux.fr)

Contexte de projet collaboratif

Le projet « Solid State Battery (SSB) » regroupe les industriels AIRBUS, ALSTOM, EXOES, RENAULT, SAFRAN et les laboratoires Ampère, IMS, LEPMI. Il est piloté par l'IRT Saint Exupéry à Toulouse, et son objectif consiste à explorer les performances et la fiabilité des batteries dites tout solide ou semi-solide.

Dans ce contexte académique et industriel, en plus d'un post-doctorat sur une technologie SSB prototype, deux thèses en parallèles seront effectuées sur deux technologies de batteries tout solide ou semi-solide commerciales, dont une au laboratoire IMS. Le doctorant bénéficiera d'une expérience dans un projet multi-partenaires avec un intérêt industriel fort. En plus de son travail de thèse, il/elle participera à des réunions de présentation aux autres partenaires du projet.

Description du sujet de thèse

La décarbonation de l'énergie passe notamment par son stockage sous forme électrochimique pour lequel la maîtrise de la fiabilité et la sécurité sont essentielles, surtout dans les applications transport, dont l'aéronautique. En regard de la technologie précédente, la batterie tout solide (SSB) ou semi-solide est présentée comme intrinsèquement plus sécuritaire dans une gamme de température plus vaste, grâce en particulier à la stabilité thermique de son électrolyte. La question de sa robustesse se pose alors et doit être considérée pour les cellules commerciales disponibles.

Les spécificités du comportement électrochimique, thermique et mécanique de cette nouvelle technologie doivent être comprises et leurs conséquences sur les performances quantifiées. Des tests de caractérisation multi-physique et de vieillissement sur cellules commerciales sont alors nécessaires pour identifier les paramètres d'un modèle de performances et les suivre dans le temps dans différentes conditions d'usage. La modélisation du vieillissement est alors une tâche complexe mais indispensable pour permettre le diagnostic, en faisant le lien entre les mécanismes de dégradation et l'état de santé, puis le pronostic, en estimant la fin de vie par extrapolation des performances grâce aux lois identifiées.

Ainsi, la thèse proposée ambitionne de contribuer à l'étude de la fiabilité des batteries tout solide ou semi-solide commerciales en répondant aux principaux défis scientifiques suivants :

- Proposer des protocoles spécifiques de caractérisation multi-physique, dont mécanique,
- Valider un modèle de performances sur une gamme de conditions étendue,
- Comprendre et identifier les principaux mécanismes de dégradation et leurs interactions,
- Définir un plan d'expériences visant à minimiser le volume d'essai de vieillissement accéléré,
- Proposer des indicateurs précoces d'état de santé,
- Etablir et valider un modèle de vieillissement, l'exploiter en l'étendant à d'autres conditions.

Pour mener à bien ce travail, la personne recrutée devra maîtriser les méthodes de caractérisation électriques et électrochimiques de type temporelle lente (CC, CV) et impulsionnelle (HPPC, GITT), différentielle (DVA, ICA) et fréquentielle (EIS). Elle devra potentiellement se familiariser avec la physique des matériaux et l'exploitation d'analyses physico-chimiques.

Organisation du travail proposée

1. Etat de l'art sur la technologie SSB

Une première étape consiste à définir une méthode de classification et de comparaison des performances de cellules SSB. L'état de l'art concerne aussi les mécanismes de dégradation, mode de vieillissement de cette technologie. À tout moment de la thèse, il sera important d'identifier la part non-réutilisable des résultats déjà obtenus avec du Li-ion classique de manière à proposer des approches propres aux SSB.

2. Caractérisation à l'état neuf et modèle de performances

Des tests de caractérisation seront réalisés pour quantifier les performances d'une cellule et leur dépendance aux conditions extérieures, tel que le régime de décharge, la fenêtre d'état de charge, la température ou le niveau de compression appliqué. Cette approche expérimentale, et nécessairement multiphysique, devra permettre d'aboutir à un modèle de performances (e.g. par circuits équivalents) capable de prédire l'énergie et la puissance disponible pour une combinaison donnée de sollicitations externes, considérées statiques ou à variation lente par rapport aux constantes de temps caractéristiques de la cellule. Le modèle multiphysique obtenu sera calibré pour les technologies disponibles dans le cadre du projet. Ce modèle pourra être exploité pour simuler le comportement des cellules sur des profils de mission représentatifs d'applications aéronautiques par exemple.

3. Tests de vieillissement accéléré

A partir d'essais de vieillissement calendaire, en cyclage, voire combiné, l'objectif de cette partie est d'identifier les principaux mécanismes de dégradation d'une cellule et d'établir les liens avec les facteurs d'accélération du vieillissement. Pour minimiser le nombre et la durée des tests, le plan d'expériences (e.g. de type D-optimal) sera construit en s'appuyant sur les tendances observées lors de phases de pré-test et sur les données existantes dans la littérature pour des technologies voisines, voire identiques. A l'occasion de ces essais longue durée, les tests de caractérisation périodique (off line) de quantification des indicateurs d'état de santé (SOH) classiques pourront être complétés par des méthodes pendant le cyclage (on-line) tirant parti d'indicateurs précoces à déterminer.

4. Indicateurs d'état de santé et modélisation du vieillissement

L'indicateur de SOH peut aller de la simple capacité ou résistance interne à des grandeurs plus difficilement mesurables de l'extérieur de la cellule mais en rapport direct avec les mécanismes de dégradation internes (e.g. SEI, Li plating). Même avec des sollicitations ciblées, ces mécanismes apparaissent souvent combinés au travers de modes de vieillissement (e.g. pertes LLI, LAM). La modélisation du vieillissement consistera alors à proposer une combinaison multifactorielle de lois (e.g. modèle de Dakin) pour quantifier un indicateur de SOH en fonction des facteurs de stress ou d'accélération du vieillissement. La validation de ce modèle pourra être faite grâce à un test supplémentaire dans d'autres conditions de vieillissement ou bien en utilisant un test déjà réalisé mais prolongé au-delà des critères de fin de vie classique.

Laboratoire et équipe d'accueil

Le laboratoire IMS a une expertise reconnue en caractérisation, modélisation, suivi des performances lors du vieillissement et méthodes de détermination d'état de santé des batteries dans le but de maîtriser leur fiabilité. Sa participation aux projets de recherche nationaux majeurs sur les systèmes de stockage d'énergie, notamment à batteries, a permis de bâtir une base de données unique sur les cellules de dernière génération grâce aux ressources expérimentales de la plateforme CACYSSÉE.

Profil du candidat recherché

- Diplôme d'ingénieur ou Master en Génie Electrique, en électrochimie
- Connaissances en modélisation multi-physique, simulation
- Expérience dans le domaine des batteries appréciée
- Bonne connaissance de Matlab-Simulink
- Anglais courant

Modalités de candidature

Envoyer CV et lettre de motivation à :
olivier.briat@ims-bordeaux.fr et
jean-michel.vinassa@ims-bordeaux.fr