

Thèse CIFRE Airbus Defence and Space – LAPLACE (Toulouse)

Cadrage général, intérêt pour l'entreprise

Airbus Defence and Space est une division d'Airbus Group responsable du développement de produits et services dans les domaines de la défense et du spatial. Le département Advanced Electrical Product apporte support et expertise dans plusieurs domaines dont les systèmes électriques et de puissance, les radio-fréquences, et la compatibilité électro magnétique. Le département est connu au sein d'Airbus Group en tant que Chambre de Référence pour les batteries pour des applications variées : avions, drones, taxis volants, ballons stratosphériques, satellites, lanceurs, rovers, ...

Depuis quelques années, Airbus design et produit à la BAL (Battery Assemble Line) ses propres batteries pour ses produits. Le département est équipé d'un laboratoire électrique dans lequel les batteries sont testées et caractérisées. Pour chaque projet batterie, il est nécessaire dès le début du développement d'estimer avec précision la durée de vie de la batterie en fonction de ses conditions d'utilisation, afin de la dimensionner correctement et de s'assurer qu'elle pourra être fonctionnelle sur toute la durée de vie du produit. Cette durée de vie varie selon le type d'application, et peut atteindre une dizaine d'années dans le cas d'un satellite. Aujourd'hui, les estimations se basent sur des résultats d'essais au niveau cellule batterie. Il n'est pas possible de tester en conditions exactes et sur une durée suffisante, ces données sont donc extrapolées et souvent pour le pire des cas. Il existe donc un réel besoin d'avoir une estimation plus fiable, plus rapide et nécessitant moins d'essais.

Objectifs

Il est bien connu que plusieurs facteurs tels que les contraintes électriques (amplitude du courant, profondeur de décharge, fréquence), environnementales (température, humidité) et fonctionnelles (vibrations, sollicitations thermomécaniques) influencent la durée de vie des batteries des satellites de manière significative. Par contre, la mise en œuvre de modèles de durée de vie donnant des indicateurs de dégradations robustes incluant ces contraintes reste difficile.

Les travaux prévus dans cette thèse s'inscrivent dans le contexte méthodologique de la modélisation de la durée de vie et plus largement le pronostic, ainsi que la modélisation de la dégradation de batteries Li-Ion en contraintes accélérées et en contraintes opérationnelles pour des applications aérospatiales.

Pour les applications « véhicule électrique », des travaux ont été menés pour étudier le vieillissement des batteries Li-Ion et plus particulièrement de la combinaison des effets du vieillissement calendaire et de cyclage. Généralement, une loi de cumul des dommages est utilisée afin d'estimer le vieillissement dans le cadre d'une sollicitation mixte (calendaire + cyclage). Toutefois, ces modèles de vieillissement ont été peu étudiés dans le contexte particulier de l'industrie spatiale. Ainsi, dans le cadre des travaux de thèse, il convient :

- d'évaluer la robustesse des modèles de vieillissement basés sur la loi de cumul des dommages et voire d'adapter ces modèles afin de prendre en compte la combinaison et les interactions des effets du vieillissement calendaire et de cyclage pour des applications spatiales dont les contraintes électriques et thermiques sont différentes que dans le domaine de l'automobile.
- de se rapprocher des contraintes opérationnelles et non de contraintes volontairement amplifiées pour provoquer un vieillissement certes accéléré, mais pas nécessairement représentatif du vieillissement sous contraintes nominales, ce qui sous-entend l'identification de marqueurs du vieillissement. Il conviendra d'identifier plus finement par fouille de données notamment, la dynamique de dégradation des batteries en vue d'une modélisation de vieillissement afin de tendre vers le pronostic.
- de travailler la notion de « missions test représentatives » (1 ou 2 profils de mission caractéristiques) sans pour autant faire exploser le coût expérimental.

Bien sûr, l'objectif final de la méthodologie présentée étant le pronostic, il sera tout particulièrement intéressant, mais évidemment difficile, de tester des niveaux de contraintes plus bas, s'approchant des conditions nominales de fonctionnement des composants. Ceci permettrait de tester la validité de la méthodologie et des modèles dans le domaine des longues durées de vie. Il sera également intéressant de travailler sur d'autres mesures que la durée de vie (et donc des tests destructifs) afin de modéliser la dégradation et ce à partir de données censurées.

Nous explorerons la modélisation statistique de la durée de vie et comment la distribution de cette durée de vie peut être influencée par les différentes contraintes notamment à travers le principe de Sedyakin. Différents processus statistiques (Gamma, Wiener, Poisson) seront étudiés en fonction des modes de dégradation observés de manière à prédire au mieux la durée de vie. Une attention particulière sera portée à l'actualisation et la correction de ces modèles au cours du temps en fonction des mesures existantes. Plusieurs pistes sont envisagées afin de prendre en compte le cyclage dans les modèles de prédiction. L'idée d'intégrer notamment la perte de durée de vie en fonction du temps passé sous différentes contraintes lors d'un profil donné ainsi que l'impact du nombre de cycles passés dans certaines conditions fortement dégradantes, constitueront une première solution à explorer.

En parallèle de la modélisation de la durée de vie, ce travail s'intéressera également aux indicateurs de la durée de vie des batteries Li-Ion. Ces indicateurs peuvent intervenir à 2 niveaux : soit de manière à alerter sur un niveau critique de la batterie et son incapacité à poursuivre la mission, soit de manière à enrichir et actualiser le modèle de durée de vie au cours du temps. Ces travaux pourront s'inspirer de la littérature abondante sur le sujet dans le cadre des utilisations terrestres en considérant les contraintes liées au spatial et aux profils de mission propre à cette thèse.

Expérience du LAPLACE

6 thèses (notamment dans le cadre de coopérations industrielles) et un contrat post doctoral réalisés au LAPLACE ont d'ores et déjà permis :

- de mettre en évidence indicateurs simples et robustes adaptés au diagnostic de batteries automobiles au plomb en vue d'une seconde vie en termes de stockage d'énergie électrique dans des systèmes de production d'électrification rurale basés sur les principes de l'innovation frugale,
- de développer des modèles de batteries Li-ion pour la conception systémique de systèmes embarqués et stationnaires,
- de développer de modèles de durée de vie d'isolants de machines électriques en régime de contraintes statiques accélérées, basés sur les plans d'expériences, les surfaces de réponses et les arbres de décision. Des modèles hybrides de durée de vie (combinant le pouvoir de classification des arbres de régression et celui de modélisation des plans d'expériences) ont été proposés et validés,
- de réaliser des bancs de vieillissement représentatifs des contraintes électriques et thermiques subies par des systèmes d'isolation de moteurs alimentés par onduleurs;
- de valider les méthodes élaborées sur les isolants sur d'autres objets du génie électrique et de commencer à construire des modèles de dégradation.

Expérimentations

Les résultats des tests permettront la conception de modèles de durée de vie et de vieillissement multi-contraintes établis sous stress accélérés, dont la validité devra être étendue vers le domaine des contraintes plus proches des contraintes nominales, mais gardant la même physique de dégradation). Des mesures spécifiques électriques (résistance interne, paramètres de spectroscopie d'impédance, SOH...) seront réalisées à l'état neuf et périodiquement durant le vieillissement, qu'il soit calendaire, cyclique ou les deux.

Les éléments étudiés se présenteront sous forme de batteries des différents fournisseurs d'Airbus, qui restent généralement très discrets sur les paramètres de leurs produits, la manière dont ils les ont mesurés et leurs évolutions dans le temps.

Co-encadrants

- Antoine Picot, Fabien Lacressonnière, Pascal Maussion LAPLACE, pascal.maussion@laplace.univ-tlse.fr
- Ada Czesnakowska, Didier Loup, Airbus

Statuts

- La personne sera recrutée sur un CDD ingénieur doctorant CIFRE de 3 ans par Airbus Defence and Space, salaire 36k€brut annuel
- Début : septembre 2022