

Modélisation des systèmes électriques sous contraintes actives et passives combinées dans le cadre de l'électrification d'avions légers

Début souhaité : Septembre 2025

Consortium pour l'encadrement

- Baptiste TRAJIN – Maître de Conférences (**Directeur de thèse**), équipe e-ACE² du Laboratoire Génie de Production de l'Université de Technologie de Tarbes Occitanie Pyrénées (UTTOP).
 - baptiste.trajin@uttop.fr
- Vincent ESCROUZAILLES - Responsable Pôle Technologique, Expert électronique de puissance (**Encadrant de thèse**), Daher.
 - v.escrouzailles@daher.com

Candidatures

- Envoyer CV détaillé et lettre de motivation aux formats pdf par mail.
- Ouverture des candidatures : 10/05/2025.
- Fin des candidatures : 15/06/2025 -18pm.
- Après une phase de sélection sur dossier des auditions par visio se tiendront sur convocation entre le 15/06/2025 et le 30/06/2025.

Introduction

La soutenabilité environnementale et économique de la filière aéronautique à horizon 2050 repose en premier lieu sur l'électrification de l'aviation. La feuille de route définie par les acteurs institutionnels et industriels s'articule ainsi autour de l'électrification progressive, des fonctions non-propulsives (More-Electric Aircraft, MEA) à la propulsion hybride (Hybrid-Electric Aircraft, HEA) vers complètement électrique (All-Electric Aircraft, AEA), [1]. Dès lors, la recherche sur la conception, l'intégration et le pilotage des systèmes nécessaires à cette électrification (Stockage électrique, convertisseurs statiques et machines électriques) joue un rôle crucial. Ces systèmes doivent en effet répondre aux très fortes contraintes de densité de puissance, environnementales (surcharge, température, pression, vibrations, humidité) et de sûreté de fonctionnement du secteur aéronautique [2].

Ainsi, l'Université de Technologie de Tarbes Occitanie Pyrénées (UTTOP) et l'industriel Daher collaborent dans un projet traitant de l'intégration de fonctions électriques sur les thématiques de la compatibilité électromagnétique, du jumeau numérique et du pilotage de l'énergie. Ce projet d'une période de 5 ans (2024-2029) inclut 3 thèses et s'appuie sur le développement du banc d'essais BICEPS (Banc d'Intégration des Chaines Electriques de Puissances) dédié à l'étude et à la validation des nouvelles architectures électriques intégrées, dans un premier temps non-propulsives (quelques dizaines de kW) puis dans un second temps, propulsives (250 kW).

Contexte de la thèse

La sécurité des biens mais surtout des personnes est un élément majeur de la conception et de l'utilisation d'un aéronef. Les systèmes qui le composent sont soumis à des gradients de sollicitation extrêmes que ce soit de température, de pression ou encore d'humidité lorsqu'ils sont situés en dehors des volumes pressurisés. Ces conditions environnementales influencent à la fois le fonctionnement des systèmes électriques mais également leur durée de vie. Malgré ces contraintes, les systèmes tels que les convertisseurs statiques, doivent assurer leur mission et répondre aux différentes exigences de fonctionnement quel que soit leur environnement [3].

L'ensemble des cyclage passifs et actifs que subissent les systèmes électriques peuvent les amener à un vieillissement prématuré [4] qu'il convient de détecter pour prévoir les opérations de maintenance (maintenance prédictive) ou pour assurer un fonctionnement en mode dégradé tant que la maintenance n'est pas possible. La surveillance des systèmes est habituellement réalisée par des mesures spécifiques in situ telles que les vibrations ou encore les grandeurs électriques qui permettent de détecter les défaillances potentielles sans pour autant toujours remonter à leur causes racines.

Par ailleurs, les aéronefs sont largement équipés de capteurs environnementaux tels que la température la pression ou encore l'humidité ambiante permettant de surveiller les conditions dans lesquelles ils évoluent. La prise en compte de ces données environnementales Ainsi que des conditions d'utilisation actives dans un objectif de surveillance des systèmes électriques doit permettre de mieux maîtriser les mécanismes de défaillance tout en améliorant les algorithmes de surveillance et diagnostic à des fins de maintenance prédictive ou de fonctionnement en mode dégradé.

Objectifs scientifiques

Au travers de ce sujet de thèse, l'UTTOP et Daher visent à adresser la problématique de la modélisation des systèmes électriques tels que les convertisseurs statiques en tenant compte des sollicitations actives en cours de fonctionnement mais également des sollicitations passives dues à l'environnement. Cette étude se place dans le contexte de l'électrification de fonctions non propulsives d'avions légers par une approche associant la modélisation multi-physique des systèmes et l'identification expérimentale des effets des conditions environnementales sur leur fonctionnement. Les travaux de thèse s'appuieront sur le développement du banc BICEPS au sein de la plateforme PRIMES de l'UTTOP. L'étude portera sur la création et l'optimisation de modèles combinant une approche *physique* de type *boîte blanche* et une approche *data* de type *boîte noire*. Ainsi, il est envisagé la caractérisation des modes de défaillance du convertisseur statique de type DC-DC soumis à des sollicitations combinées passives environnementales et actives électriques.

L'objectif de cette thèse est de montrer de quelle manière une approche mixte *physique/data* de type *boîte grise* [5] permet de répondre au besoin d'un jumeau numérique représentatif des conditions d'utilisation aéronautique généralisable aux évolutions des architectures et notamment l'électrification des fonctions propulsives. Cette approche pourra inclure les différentes étapes suivantes :

- 1) Modélisation par une approche physique de type énergétique un convertisseur statique DC-DC [6]:
 - ➔ Conception d'un modèle multi-échelle du convertisseur permettant de traduire les modes de dégradation tout en étant adapté à l'intégration des effets des contraintes environnementales ;
- 2) Modélisation par une approche *data* des effets des conditions environnemental sur le fonctionnement du convertisseur statique DC-DC [7] :
 - ➔ Réalisation de campagne d'essai sous contraintes combinées représentatives du fonctionnement de l'aéronef ;

➔ Intégration des données dans la modélisation multi-échelle ;

3) Implémentation du jumeau numérique [8] :

- ➔ Définition d'algorithmes de surveillance et d'indicateurs de l'état de santé du convertisseur statique ;
- ➔ Exploitation du jumeau numérique à des fins de maintenance prédictive dans le respect des contraintes de sécurité aéronautique.

Livrables et jalons identifiés

Livrables

- L1 : Présentation dans une conférence internationale (M18)
- L2 : Un article dans une revue internationale (M24)
- L3 : Un manuscrit de thèse (M36)
- L4 : Une présentation en vue de la soutenance de thèse (M36)

Jalons

- J1 : Rapport intermédiaire d'état de l'art (M6)
- J2 : Rapport de modélisation d'un système incluant son vieillissement en conditions dégradées (M12)
- J3 : Rapport de plan de test du système visé (M18)
- J4 : Rapport sur l'étude des effets de cyclages passifs sous conditions aéronautiques et de cyclages actifs (M24)

Bibliographie

- [1] G. Buticchi, P. Wheeler and D. Boroyevich, "The more-electric aircraft and beyond", Proc. IEEE, vol. 111, no. 4, pp. 356-370, Apr. 2023.
- [2] Azzopardi, Stephane & Fradin, Jean-Pierre & Medina, Mathieu & Meuret, Regis & Piton, Michel & Rollin, Pascal & Tereskiewicz, Christophe & Vidal, Paul-Etienne. (2008). Etude prédictive de la fiabilité de l'électronique de puissance embarquée : projet CEPIA.
- [3] DO-160G - Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment
- [4] M. Makdessi, « Modélisation, vieillissement et surveillance de l'état de santé des condensateurs films utilisés dans des applications avioniques », Thèse de doctorat, Université Claude Bernard - Lyon I, 2014.
- [5] K. Karabacak, "A Grey-Box Model of a DC/DC Boost Converter for PV Energy Systems." *International Transactions on Electrical Energy Systems* 2024.1 (2024).
- [6] W. BORUTZKY, "Bond graph modelling of engineering systems". New York : springer, 2011.
- [7] R. ISERMANN, "Fault-diagnosis applications: model-based condition monitoring: actuators, drives, machinery, plants, sensors, and fault-tolerant systems". Springer Science & Business Media, 2011.
- [8] Y. Peng, S. Zhao and H. Wang, "A Digital Twin Based Estimation Method for Health Indicators of DC-DC Converters," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 36, no. 2, pp. 2105-2118, Feb. 2021, doi: 10.1109/TPEL.2020.3009600.

Profil recherché

Le (la) candidat(e) devra être issu d'une formation scientifique spécialisée dans un des domaines suivants : génie électrique et automatique / électronique de puissance. Outre des qualités techniques avérées, le (la) candidat(e) devra posséder une curiosité scientifique pour aborder les différentes étapes proposées mais aussi être force de proposition dans le déroulement de l'étude. Une bonne maîtrise des outils de simulation numérique ainsi qu'une compréhension des concepts de modélisation multiphysique sont demandées. Une expérience en test et validation de systèmes électriques constituerait un plus significatif.

La maîtrise de logiciels Matlab et/ou Python est demandée.

Le (la) candidat(e) devra également posséder un bon niveau de maîtrise de l'anglais et des qualités de communication et de synthèse écrites et orales en français comme en anglais.

Lieu de déroulement de la thèse

Les travaux se dérouleront principalement sur 2 lieux situés à 5 km l'un de l'autre :

- Laboratoire Génie de Production, Ecole Nationale d'Ingénieurs de TARBES, 47 Avenue d'AZEREIX, 65000 TARBES ;
- Plateforme PRIMES, 67 Boulevard Pierre Renaudet, 65000 Tarbes. Cette adresse sera le lieu principal de l'étude.

Financement

Ce projet s'inscrit dans le cadre d'un partenariat C2A (Campus Aéro-Adour) réunissant l'Université de Technologie de Tarbes Occitanie Pyrénées (UTTOP) et l'industriel Daher. 3 doctorants seront impliqués dans cette initiative, visant à développer l'électrification des fonctions non-propulsives et propulsives des avions légers. Les travaux s'appuieront sur le développement d'un Banc d'Intégration pour les Chaines Electriques de Puissances (BICPES) sur la plateforme PRIMES.