Méthodologie d'évaluation de l'impact CEM de l'électrification d'avions légers sur l'environnement électromagnétique interne

Début souhaité : Février-Mars 2027

Consortium pour l'encadrement

- Paul-Etienne VIDAL –Professeur des Universités (**Co-Directeur de thèse**), équipe e-ACE^2 du Laboratoire Génie de Production de l'Université de Technologie de Tarbes Occitanie Pyrénées (UTTOP).
  - paul-etienne.vidal@uttop.fr
- Guillaume Viné, Maître de conférences (**Co-Directeur de thèse**), équipe e-ACE^2 du Laboratoire Génie de Production l'Université de Technologie de Tarbes Occitanie Pyrénées (UTTOP).
  - guillaume.vine@uttop.fr
- Michel Beltramini – Responsable d'unité compatibilité et modélisation électromagnétique, Département Electromagnétisme et Radar (**Encadrant de thèse**), ONERA.
  - michel.beltramini@onera.fr
- Michael Ridel – Ingénieur de recherche, Département Electromagnétisme et Radar (**Encadrant de thèse**), ONERA.
  - michael.ridel@onera.fr
- Vincent Escrouzailles - Responsable Pôle Technologique, Expert électronique de puissance (**Encadrant de thèse**), Daher.
  - v.escrouzailles@daher.com

Candidatures

- Envoyer CV détaillé, lettre de motivation et relevé de notes MASTER 1er et 2ème année, aux formats pdf par mail.
- Ouverture des candidatures : 01/11/2026.
- Fin des candidatures : 01/12/2026
- Après une phase de sélection sur dossier des auditions par visio se tiendront sur convocation entre le 07/12/2026 et le 15/12/2026 .

Modalité particulière

- **Une part du financement de ces travaux est soumise à validation début Décembre 2026. Les auditions se tiendront sous réserve de l'obtention de ce financement.**

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 complétement 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 (température, dépression, vibrations, humidité) et de sureté de fonctionnement du secteur aéronautique [2].

Dans ce cadre, l'Université de Technologie de Tarbes Occitanie Pyrénées (UTTOP) et l'industriel aéronautique Daher collaborent dans un projet de recherche traitant des enjeux de l'intégration de ces fonctions électriques sur les thématiques de la Compatibilité ElectroMagnétique (CEM), du jumeau numérique et du pilotage. Ce projet d'une période de 5 ans (2024-2029) inclus 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 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). Ce sujet concerne un point critique de l'électrification de l'aviation, lié en particulier à l'intégration des convertisseurs statiques de moyenne à forte puissance. La thèse est co-encadrée par le département Electromagnétisme et Radar (DEMR) de l'ONERA, localisée sur le site de Toulouse.

Contexte de la thèse

Afin de permettre une forte densité de puissance, ces convertisseurs statiques sont amenés à fonctionner à des fréquences de commutation élevées, associées à des fronts de commutation très rapides en tension et courant. Les convertisseurs statiques constituent ainsi une source importante d'interférences électro-magnétiques et de très large spectre de fréquences.

Leur intégration entraîne donc un nouvel Environnement ElectroMagnétique (EEM) interne plus contraignant susceptible d'affecter le fonctionnement des systèmes électriques et électroniques existants de l'avion, [3]. Notamment, l'augmentation du nombre de chemins de câblage, tant pour les interconnexions de puissance que pour la transmission de données, accentue les problèmes de diaphonie entre signaux perturbateurs et systèmes sensibles. Également, la tendance généralisée à l'introduction de matériaux structurels composites carbone amène à revisiter les règles d'installations des câblages électriques et des équipements de façon à limiter les problèmes de CEM résultant de la conductivité électrique limitée de ces matériaux.

Cette évolution drastique de l'EEM axe la recherche CEM d'une part, au niveau équipements, vers des solutions visant à atténuer les interférences électromagnétiques émises par les dispositifs [4] et, d'autre part, au niveau intégrateur, vers des méthodes et outils permettant de prédire et maitriser le nouvel EEM résultant des différents composants et choix d'intégration. L'objectif de ces études est de réduire les risques au plus tôt du processus de développement et de permettre la validation lors de la phase de qualification [5].

Objectifs scientifiques et Question recherche

Dans ce contexte, l'UTTOP, l'ONERA et DAHER visent, par ce sujet de thèse, à adresser la problématique de prédiction du nouvel EEM (Environnement Electro-Magnétique) de l'électrification d'avions légers TBM/Kodiak. L'approche envisagée associe les moyens d'essais des chaînes de conversion de puissance du banc BICEPS, la modélisation numérique et la caractérisation de l'infrastructure avion. Le banc d'expérience concernera l'intégration d'un réseau MVDC interfacé au réseau d'alimentation avionique 28 V existant par un convertisseur DC-DC.

L'objectif final de la thèse est alors de montrer de quelle manière une approche couplée caractérisation expérimentale/modélisation permet de répondre à cet objectif en développant une méthode généralisable aux évolutions des architectures associées à l'électrification des fonctions. Cette approche pourra inclure les différentes étapes suivantes :

1) Caractérisation et modélisation CEM d'un convertisseur avion DC-DC :
   ➔ Mettre en œuvre et évaluer la robustesse des différentes méthodologies [6], [7], [8]

Contacts : paul-etienne.vidal@uttop.fr ; guillaume.vine@uttop.fr
Laboratoire Génie de Production, Université de Technologie de Tarbes Occitanie Pyrénées,
http://www.uttop.fr
47 avenue d'AZEREIX, 65000 TARBES.

2) Modélisation d'un réseau représentatif au banc BICEPS, incluant le convertisseur DC-DC :
   - ➔ Modélisation numérique incluant le câblage et les différents équipements connectés (basé par exemple sur l'utilisation d'outils de simulation réseau usuels du secteur aéronautique [9], [10]).
   - ➔ Validation par rapport aux mesures au banc
   - ➔ Formalisation de la méthode de modélisation

3) Etude d'impact du nouveau EEM au banc BICEPS :
   - ➔ En partant du réseau initialement déployé, définir des variations de configuration (cheminement et ségrégation des câblages par exemple) permettant de tester les différents concepts d'intégration envisagés au niveau avion.
   - ➔ Mettre en œuvre des méthodes de réduction de modèle pour permettre une étude paramétrique des concepts d'intégration [11], 12].

4) Formalisation de la méthodologie
   - ➔ Evaluer la mise à l'échelle de la méthodologie développée au réseau avion complet.
   - ➔ Discuter la pertinence de l'approche développée dans le cadre du processus de conception (établissement de règles d'installation par exemple).



Avion d'affaire DAHER gamme TBM900

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)
- J3 : Rapport sur les méthodes et résultats de caractérisation CEM de convertisseurs DC/DC (M12)
- J2 : Rapport sur les méthodes et résultats de modélisation d'un réseau complexe (M18)
- J4 : Rapport sur la conception, la mise en œuvre et les tests de maquettes d'intégration au banc (M24)
- J5 : Rapport sur la méthodologie de simplification d'un modèle de réseau complexe (M30)

Profil recherché

Le (la) candidat(e) devra être issu d'une formation ou présentée une expérience significative dans un des domaines suivants : génie électrique / électronique / électronique de puissance / CEM. Outre des qualités techniques à attester, 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

Contacts : paul-etienne.vidal@uttop.fr ; guillaume.vine@uttop.fr
Laboratoire Génie de Production, Université de Technologie de Tarbes Occitanie Pyrénées,
http://www.uttop.fr
47 avenue d'AZEREIX, 65000 TARBES.

bonne maîtrise de l'électronique de puissance ainsi qu'une compréhension des concepts de compatibilité électromagnétique sont demandées. Une expérience en test et validation de systèmes électriques constituerait un plus significatif.

La maîtrise de logiciels Scilab, Python et/ou Matlab couplée à une connaissance d'un logiciel circuit de type Spice est demandé. Également, la maîtrise de logiciels de simulation numérique électromagnétique serait appréciée.

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.

Le doctorant sera amené à se déplacer ponctuellement pour les besoins des travaux de recherche sur le site de Daher, Rte de l'Aéroport, 65290 Louey, et sur le site de l'ONERA, 2 Av. Marc Pélegrin, 31400 Toulouse.

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, auquel participe l'ONERA pour ce sujet spécifiquement.

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 & Tereskiewiez, Christophe & Vidal, Paul-Etienne. (2008). Etude prédictive de la fiabilité de l'électronique de puissance embarquée : projet CEPIA.

[3] L. Malburg, N. Moonen and F. Leferink, "The Changing Electromagnetic Environment Onboard All-Electric Aircraft, an EMC Perspective," 2021 IEEE International Joint EMC/SI/PI and EMC Europe Symposium, Raleigh, NC, USA, 2021, pp. 845-850.

[4] V. D. Santos, B. Cougo, N. Roux, B. Sareni, B. Revol and J. -P. Carayon, "Trade-off between losses and EMI issues in three-phase SiC inverters for aircraft applications," 2017 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility & Signal/Power Integrity (EMCSI), Washington, DC, USA, 2017, pp. 55-60

[5] Pierre-Louis Bourlon. Compatibilité électromagnétique des aéronefs à voilures tournantes à propulsion électrique. Autre. Ecole Centrale de Lyon, 2024. Français

[6] J. P. Parmantier, "S-parameter determination with a pair of current injection and measurement probes," Interaction Notes, Note 552, Oct. 1998. [Online]. Available: http://ece-research.unm.edu/summa/notes/

[7] Noan Artaud, Jean-Marc Dienot, Isabelle Junqua, Laurent Guibert, Sara Boujoujex. Thevenin black box model to characterize conducted electromagnetic interference of DC/AC converters for aerospace applications. EMC Europe 2024, Sep 2024, Bruges, Belgium

[8] L. Guibert, J. -P. Parmantier, I. Junqua and M. Ridel, "Determination of Conducted EM Emissions on DC–AC Power Converters Based on Linear Equivalent Thevenin Block Circuit Models," in IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 64, no. 1, pp. 241-250, Feb. 2022, doi: 10.1109/TEMC.2021.3080590

[9] J. A. Puértolas and R. Perraud, "Conducted Coupling Analysis of Flat Cabling Structures for Launcher Applications: Electrostructural Composite," 2019 ESA Workshop on Aerospace EMC (Aerospace EMC), Budapest, Hungary, 2019, pp. 1-6

[10] Houssem Chebbi, Michael Ridel, Philippe Reulet. Modélisation du couplage CEM-Thermique dans les installations des lignes de transmission dans les aéronefs électriques. CEM 2023, Jun 2023, Toulouse, France.

[11] Ridel, Michael, and Parmantier Jean-Philippe. "Determination of EM coupling on an electrical wiring interconnection system: Application of condensation approaches on cable models." 2014 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Tokyo. IEEE, 2014.

[12] J-P. Parmantier, I. Junqua, S. Bertuol, F. Issac, S. Guillet, S. Houhou, R. Perraud, "Simplification Method for the Assessment of the EM Response of a Complex Cable Harness". Proc. of the 20th Zurich'09 EMC International conference, pp. 161-164, 13-15 January 2009.

Contacts : paul-etienne.vidal@uttop.fr ; guillaume.vine@uttop.fr
Laboratoire Génie de Production, Université de Technologie de Tarbes Occitanie Pyrénées,
http://www.uttop.fr
47 avenue d'AZEREIX, 65000 TARBES.