

## **Modélisation Numérique des Phénomènes Electrothermiques dans les Câbles Aéronautiques en Vue de l'Evaluation du Rôle de la Charge d'Espace**

**Mots-clés :** matériaux polymères, caractérisations diélectriques, modélisation numérique, transport de charges, Haute tension courant continu (HVDC), aéronautique

### **1. Contexte et enjeux**

La transition vers des architectures de propulsion hybride, voire intégralement électrique, constitue un axe majeur de développement pour l'aéronautique civile et spatiale. Dans ce contexte, l'introduction de niveaux de tension élevés en courant continu (HVDC) à bord des avions devient inévitable pour limiter la masse des systèmes électriques tout en garantissant des performances conformes aux exigences opérationnelles. Des tensions atteignant 3 kV DC, voire plusieurs dizaines de kilovolts pour certaines applications de propulsion, sont désormais envisagées.

Actuellement, les systèmes électriques embarqués opèrent à des tensions relativement faibles ( $\pm 270$  V DC, 115/230 V AC). Toutefois, la montée en puissance électrique à bord requiert une refonte des systèmes harnais de puissance. Ces composants doivent fonctionner dans des environnements sévères, soumis à des contraintes couplées : forts champs électriques, températures élevées pouvant excéder 200°C, gradients thermiques marqués, entre autres.

Dans ces conditions, les isolants polymères des câbles sont le siège de phénomènes physiques complexes susceptibles d'altérer leurs performances, et d'entraîner des défaillances prématurées. Parmi eux, l'accumulation de charges d'espace peut jouer un rôle critique dans la redistribution du champ électrique, l'intensification locale des contraintes et l'apparition de mécanismes de dégradation tels que les décharges partielles en régime continu.

### **2. Problématique scientifique**

Malgré l'intérêt croissant pour les architectures HVDC embarquées, les mécanismes de dégradation liés à l'injection, l'accumulation et la dynamique des charges d'espace dans les isolants de câbles aéronautiques restent encore insuffisamment compris et quantifiés, notamment sous des sollicitations électrothermiques représentatives des applications aéronautique et spatiale.

Ces questions se posent à un stade où les matériaux utilisés pour l'isolation électrique doivent, outre leurs performances diélectriques et leur fiabilité, répondre à des exigences d'acceptabilité environnementale. Les matériaux candidats pour ces applications évoluent et il convient d'être en mesure de les évaluer et de prédire leur comportement de manière sûre et représentative.

Ces lacunes scientifiques peuvent constituer un frein majeur à l'adoption industrielle de ces systèmes HVDC, d'autant plus que les approches de conception actuelles reposent encore largement sur des campagnes d'essais longues et coûteuses, dépourvues de capacité prédictive suffisante.

Il est donc nécessaire de faire évoluer les outils de modélisation électrothermique. L'objectif est de mieux évaluer l'impact des charges d'espace sur la distribution du champ électrique, les performances diélectriques et la durée de vie des câbles, tout en intégrant les contraintes spécifiques aux applications aéronautiques.

Les verrous scientifiques et techniques à lever sont les suivants :

- Manque de données quantitatives robustes sur le comportement des charges d'espace au sein des isolants polymères soumis à des champs électriques DC élevés et des gradients thermiques ;
- Complexité des corrélations multi-échelles : Difficulté à établir un lien entre les phénomènes microscopiques de charge d'espace et les performances diélectriques macroscopiques du câble ;

- Maîtrise limitée de facteurs d'influence : Influence mal connue du design de câble et du vieillissement des isolants polymères sur l'accumulation et la dynamique des charges d'espace.

### 3. Objectifs généraux de la thèse

L'objectif de la thèse est de contribuer à une meilleure compréhension et à la modélisation des phénomènes de charge d'espace dans les câbles HVDC aéronautiques, en tenant compte des contraintes électrothermiques réalistes.

Plus précisément, les travaux viseront à :

- Effectuer des mesures de propriétés électriques et thermiques sur les isolants polymères des câbles sélectionnés, destinées à consolider les paramètres d'entrée de la modélisation électrothermique. Ces mesures, sur câbles, dans des conditions de fort champ électrique et de gradients thermiques, pourront être i/ des mesures de charge d'espace, afin d'évaluer la répartition du champ électrique et la densité de charges d'espace dans les isolants en régime DC ; ii/ des mesures de courant de conduction ;
- Analyser les mesures afin d'identifier les seuils critiques de champ électrique et de température pour différents isolants polymères, ainsi que les phénomènes d'intensification ou d'inversion du champ électrique liés à l'accumulation de charges dans les câbles ;
- Prendre en main et continuer le développement de la modélisation de ces phénomènes non linéaires. Cela doit permettre d'une part d'appréhender par simulation le risque d'apparition de décharges partielles en DC dans les systèmes d'isolation, et d'autre part d'étudier par simulation l'impact du vieillissement des matériaux polymères sur les mécanismes d'accumulation des charges d'espace.

### 4. Environnement de la thèse

La thèse est basée à Toulouse, et se fera en collaboration entre l'IRT Saint Exupéry et l'équipe DSF (Diélectriques Solides et Fiabilité) du Laplace - Laboratoire Plasma et Conversion d'Energie. Elle devrait commencer en octobre 2026.

#### Profil recherché :

Candidat titulaire d'un master dans le domaine du Génie Electrique ou de la physique des matériaux ayant des prédispositions sur la caractérisation diélectrique des isolants. Des compétences en modélisation numérique (Comsol MultiPhysics© en particulier) seront fortement appréciées.

#### Modalités de candidature :

- CV complet et détaillé, coordonnées des référents pédagogiques et de recherche (adresse électronique et numéro de téléphone inclus) ;
- lettre de motivation.

#### Coordinateur(s) de la thèse :

##### - IRT Saint Exupéry :

Youcef KEMARI : [youcef.kemari@irt-saintexupery.com](mailto:youcef.kemari@irt-saintexupery.com)

##### - LAPLACE :

Séverine LE ROY: [severine.leroy@laplace.univ-tlse.fr](mailto:severine.leroy@laplace.univ-tlse.fr)

Gilbert TEYSSERE: [gilbert.teyssere@laplace.univ-tlse.fr](mailto:gilbert.teyssere@laplace.univ-tlse.fr)

## L'entreprise

L'Institut de Recherche Technologique (IRT) Saint Exupéry est un accélérateur de science, de recherche technologique et de transfert vers les industries de l'aéronautique et du spatial pour le développement de solutions innovantes sûres, robustes, certifiables et durables.

A l'IRT Saint Exupéry, nous réalisons des projets de Recherche en Technologie collaboratifs, principalement pour les secteurs aéronautique et spatial. Créé et cofinancé par l'Etat, notre mission est d'accélérer la recherche technologique française au profit de l'écosystème national, en créant un pont entre le monde académique et l'industrie.

Vous travaillerez dans un environnement collaboratif avec des équipes issues du monde académique, industriel, du personnel détaché par de grands groupes, des chercheurs ou encore des doctorants.

Notre force c'est le niveau d'expertise de nos collaborateurs et nos plateformes technologiques différenciantes : <https://storage.net-fs.com/hosting/6834310/4/>

## Le laboratoire

Le laboratoire LAPLACE (Laboratoire PLASma et Conversion d'Énergie), à Toulouse, est une Unité Mixte de Recherche du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), de l'Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT) et de l'Université de Toulouse. C'est l'une des plus importantes unités de recherche françaises spécialisées dans le génie électrique, les plasmas et la conversion d'énergie.

Les activités de l'équipe DSF (Diélectriques Solides et Fiabilité) du Laplace (<https://www.laplace.univ-tlse.fr/dsf/>), qui accueillera le doctorant, concernent en premier lieu la fiabilité des systèmes isolés. Les travaux ont pour objectif la compréhension des mécanismes de génération et de transport de charges dans les isolants, ainsi que l'identification des processus conduisant au vieillissement et à la rupture de matériaux compte tenu des contraintes fonctionnelles rencontrées dans les dispositifs. Pour cela, des techniques de caractérisation originales sont mises en œuvre, et on s'appuie sur une simulation numérique des phénomènes de transport de charges, afin de répondre à des problématiques spécifiques d'amélioration de la fiabilité des systèmes dans des domaines tels que l'aéronautique, le spatial, le transport et le stockage d'énergie.