www.onera.fr

# PROPOSITION DE SUJET DE THESE

**Intitulé : Réseaux de neurones profonds pour la modélisation des couplages électromagnétiques d'architectures de câblages électriques**

Référence : **PHY-DEMR-2024-07**

| | |
|---|---|
| **Début de la thèse :** 01/10/2024 | **Date limite de candidature :** 01/09/2024 |

**Mots clés**

Compatibilité électromagnétique, paramètres électriques primaires, lignes de transmission, Intelligence Artificielle, Deep Learning.

**Profil et compétences recherchées**

Nous recherchons un(e) candidat(e) possédant une solide formation en Data Science (Bac+5) avec une expertise en informatique scientifique. Une connaissance préalable du domaine électrique serait un atout majeur. Les diplômé(e)s d'écoles d'ingénieurs ou d'universités sont les bienvenu(e)s.

**Présentation du projet doctoral, contexte et objectif**

La Compatibilité Electromagnétique (CEM) est le domaine qui étudie le risque lié aux interférences électromagnétiques sur les systèmes électriques. Les câbles électriques y jouent un rôle prédominant qu'il est essentiel de maitriser.

A ce titre, les modèles de réseaux de lignes de transmission multiconducteurs (Multiconductor-Transmission-Line-Networks, MTLN) sont devenus des outils incontournables dans le domaine de la CEM, en particulier pour la modélisation d'architectures complexes de faisceaux de câbles électriques pour l'aéronautique. Le département Electromagnétisme et Radar (DEMR) de l'ONERA développe depuis de nombreuses années un logiciel de simulation numérique de référence, appelé CRIPTE, basé sur le formalisme de Topologie Électromagnétique et couplé à la théorie MTLN. Ce logiciel permet de créer un modèle de réseau de câbles électriques dans lequel les torons de câbles sont modélisés par des lignes de transmission multiconducteurs caractérisées par des matrices de paramètres électriques primaires dits « RLGC » (Résistance, Inductance, Conductance, Capacité), déduites de la géométrie des conducteurs à l'intérieur du faisceau ainsi que de leurs propriétés électriques. Actuellement, le calcul de ces matrices se fait soit analytiquement pour les cas simples, soit par un outil numérique annexe résolvant numériquement l'équation de Laplace en deux dimensions. L'évaluation précise de ces paramètres est essentielle puisqu'ils régissent la réponse des réseaux électriques à des excitations électromagnétiques. Dans le cas de configurations de câblages complexes comprenant des torons composés de nombreux conducteurs, ce modèle peut présenter des limitations importantes en termes de performance de calculs pour des analyses nécessitant des calculs nombreux et systématiques (statistique de réponses électriques de réseaux, optimisation de placement de câbles dans des torons…).

Cette thèse propose une approche novatrice utilisant l'intelligence artificielle (IA pour améliorer le calcul des paramètres électriques primaires des lignes de transmission). Dans ce contexte, cette recherche se concentrera plus particulièrement sur le développement de modèles de réseaux de neurones capables d'extraire ces paramètres et de capturer leur variation fine pour calculer la réponse de réseaux de câbles dans diverses conditions opérationnelles et environnementales. Ces modèles seront entraînés et validés à l'aide de données simulées et réelles. De plus, l'utilisation de l'IA sera étendue à la gestion du risque CEM, en analysant les interactions complexes entre les câbles et en proposant des solutions pour minimiser les interférences électromagnétiques indésirables. Cette recherche contribuera ainsi à la fiabilité et à l'efficacité des réseaux électriques pour des applications représentatives de l'industrie. Par exemple, les solutions proposées pour la gestion de la CEM auront des applications pratiques pour l'installation des architectures électriques à bord des futurs aéronefs électriques.

Dans un premier temps, le doctorant réalisera une revue bibliographique sur l'application de l'IA dans le domaine de la CEM. Le développement de modèles Deep Learning pour l'estimation des paramètres des lignes de transmission sera l'objectif prioritaire. Dans un second temps, le doctorant cherchera à évaluer si la modélisation obtenue est conforme à la physique des interactions électromagnétiques en se concentrant sur des configurations d'architectures de câblages complexes. Un focus sera réalisé sur la visualisation et

l'interprétabilité des modèles afin de permettre de mieux comprendre les décisions prises par les modèles de Deep Learning.

Au cours de cette thèse, le candidat aura l'opportunité unique d'acquérir et de développer un ensemble diversifié de compétences et de connaissances techniques hautement recherchées. Parmi celles-ci :
1. Maîtrise des Modèles de Deep Learning : à travers l'utilisation et le développement des modèles de Deep Learning, le candidat acquerra une expertise approfondie dans la conception, l'entraînement et l'optimisation des réseaux de neurones.
2. Compétences en Programmation et en Informatique Scientifique : le candidat développera des compétences avancées en programmation, en manipulant des données massives et en utilisant des outils informatiques scientifiques pour résoudre des problèmes complexes.
3. Expertise en CEM : le candidat perfectionnera ses compétences dans le domaine de la CEM, en comprenant les défis liés à la modélisation des réseaux de lignes de transmission multiconducteurs et en développant des solutions innovantes pour améliorer la CEM dans des environnements complexes.

**Références :**

[1] T. Sekine, "An Estimation Method for the Capacitance Matrix of Bundle of Wires Based on Machine Learning," *2018 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE)*, Amsterdam, Netherlands, 2018, pp. 1004-1007, doi: 10.1109/EMCEurope.2018.8485122.

[2] J. C. Clements, C. R. Paul and A. T. Adams, "Computation of the Capacitance Matrix for Systems of Dielectric-Coated Cylindrical Conductors," in IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. EMC-17, no. 4, pp. 238-248, Nov. 1975, doi: 10.1109/TEMC.1975.303430.

**Collaborations envisagées**

SO

**Laboratoire d'accueil à l'ONERA**
Département : DEMR/CME
Lieu (centre ONERA) : Toulouse
**Contact** : Houssem Chebbi
Tél. : 0562252590 Email : houssem.chebbi@onera.fr

**Directeur de thèse**
Nom : Jérôme Morio
Laboratoire : ONERA/DTIS
Tél. : 0562252663
Email : Jerome.Morio@onera.fr

Pour plus d'informations : https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche