



**Titre :** DEVELOPPEMENT D'UNE APPROCHE COMBINANT MODELE PHYSIQUE ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE POUR LA MODELISATION DES PROPRIETES MAGNETIQUES DES ACIERS ELECTRIQUES

**Financement prévu :** ANR / Université de Lille

**Directeur de thèse :** Abdelkader Benabou

**E-mail :** abdelkader.benabou@univ-lille.fr

**Laboratoire :** Laboratoire d'Électrotechnique et d'Électronique de Puissance (L2EP) de Lille - ULR 2697

**Équipe :** Outils et Méthodes Numériques

### Descriptif :

La maîtrise des performances énergétiques des motorisations modernes, en particulier pour l'industrie et la mobilité électrique, requiert de disposer d'outils de conception fiables et précis. L'un des paramètres importants pour atteindre cet objectif concerne les aciers électriques qui entrent en jeu dans la fabrication des circuits magnétiques de ces motorisations. Les propriétés de ces matériaux définissent les performances et l'efficacité énergétique au cours du processus de conversion de l'énergie. Une modélisation précise de ces aciers électriques doit donc être disponible en vue d'une conception optimale des motorisations électriques. Or, les procédés de fabrication et les contraintes d'exploitation sévères de ces motorisations nécessitent aujourd'hui de tenir compte du comportement multi-physique des aciers électriques. En effet, dans les applications modernes, les contraintes mécaniques et thermiques auxquelles sont soumis ces matériaux impactent les propriétés d'intérêt pour la conversion d'énergie (loi de comportement magnétique et pertes fer). Ces couplages multi-physiques forts qui apparaissent au sein des aciers électriques (magnéto-mécanique et magnéto-thermique) conduisent souvent à la dégradation des propriétés de ces aciers et donc des performances des motorisations. Afin de modéliser ces matériaux en tenant compte de l'impact des procédés de fabrication et des conditions de fonctionnement, les approches classiques aboutissent à des modèles lourds en matière de complexité d'implémentation dans les outils de conception mais aussi en temps de calcul. Or, les concepteurs ont besoin de modèles multi-physiques de matériaux qui soient à la fois précis et rapides à évaluer, notamment pour les procédures de conception de motorisations mettant souvent en œuvre des procédures d'optimisation. Ces éléments nécessitent donc de repenser la façon de représenter les comportements physiques, notamment celui des matériaux magnétiques, au sein des procédures de conception et optimisation des motorisations électriques.

### Objectifs :

Dans cette thèse il est proposé de combiner des modèles multi-physiques d'aciers électriques avec l'Intelligence Artificielle (IA) pour renforcer lesdits modèles qui seront nécessairement moins précis car adaptés aux procédures de conception et optimisation, i.e. des modèles rapides à évaluer. Pour atteindre cet objectif, l'approche envisagée s'inscrit dans le cadre plus général du Deep Learning (DL) qui ouvre de nouveaux champs d'investigation en recherche et permet d'envisager une mise en œuvre de l'IA pour des applications industrielles complexes. Contrairement aux approches historiques utilisant des architectures de Réseaux de Neurones (RN) présentant une connectivité complète (et donc une limitation du nombre de couches pouvant être considérées dans l'apprentissage), le DL permet de considérer un nombre de couches plus important pour traiter des problèmes plus complexes. Ceci est possible grâce aux développements, au cours des dernières années, des aspects théoriques (solveurs) et du matériel (mémoire et unités GPU plus rapides). On propose de s'appuyer sur l'architecture Convolutional Neural Network (CNN) qui pourra ainsi être alimentée à l'aide de données expérimentales judicieusement sélectionnées, notamment celles qui complètent les lacunes du modèle multi-physique, lors de la phase d'apprentissage.

Le travail de thèse s'articulera autour de deux axes principaux :

- le premier a trait au développement et à la validation des modèles multi-physiques des aciers électriques associés à l'IA.
- le second axe traitera de l'implémentation dans un code de calcul numérique par éléments finis pour valider l'approche sur des cas tests académiques.

On veillera également tout au long du travail à s'appuyer sur des validations expérimentales.

### Candidature:

Merci de communiquer :

un **CV**, une **lettre de motivation**, au moins **2 lettres de recommandation**, les **relevés de notes des trois dernières années** (avec le classement dans la promo).

### Contacts:

- Abdelkader Benabou ([abdelkader.benabou@univ-lille.fr](mailto:abdelkader.benabou@univ-lille.fr)) / +33 (0)3 6226 8215
- Zuqi Tang ([zuqi.tang@univ-lille.fr](mailto:zuqi.tang@univ-lille.fr))