

# THÈSE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITÉ

ÉCOLE DOCTORALE N° 601  
*Mathématiques et Sciences et Technologies  
de l'Information et de la Communication*  
Spécialité : *Génie Électrique*

Par

**Suyang LOU**

**«Contribution à la modélisation électromagnétique des matériaux composites par le couplage de méthodes de réduction d'ordre et de décomposition de domaine»**

Thèse présentée et soutenue à Saint-Nazaire, le 13/12/2022

Unité de recherche : Institut de Recherche en Énergie Électrique de Nantes Atlantique (IREENA)

## Rapporteurs avant soutenance :

Olivier CHADEBEC    Directeur de Recherche CNRS, Grenoble Alpes, G2ELab  
Anouar BELAHCEN    Professeur des Universités, Aalto University, Espoo, Finlande

## Composition du Jury :

*Attention, en cas d'absence d'un des membres du Jury le jour de la soutenance, la composition du jury doit être revue pour s'assurer qu'elle est conforme et devra être répercutée sur la couverture de thèse*

Examineurs :	Olivier CHADEBEC Anouar BELAHCEN Claude MARCHAND Mathilde CHEVREUIL Yves LE GUENNEC	Directeur de Recherche CNRS, Grenoble Alpes, G2ELab Professeur des Universités, Aalto University, Espoo, Finlande Professeur des Universités, Université Paris-Saclay, GEEPS Maitre de conférence, Nantes Université, GeM Docteur-Ingénieur R&D, IRT Jules Verne, Nantes
Dir. de thèse :	Didier TRICHET	Professeur des Universités, Nantes Université, IREENA
Encadrement de thèse :	Guillaume WASELYNCK Antoine PIERQUIN	Maitre de conférence, Nantes Université, IREENA Maitre de conférence, Nantes Université, IREENA

## Invité :

Nicolas BRACIKOWSKI    Maitre de conférence, Nantes Université, IREENA

---

**Titre :** Contribution à la modélisation électromagnétique des matériaux composites par le couplage de méthodes de réduction d'ordre et de décomposition de domaine

**Mot clés :** matériau composite stratifié, décomposition de domaine, méthode de réduction d'ordre de modèle, thermo-induction, simulation multi-échelle

**Résumé :** L'objet de cette thèse est la recherche de nouvelles méthodes numériques pour améliorer la simulation des procédés thermo-inductifs en tenant compte des phénomènes allant de l'échelle microscopique à l'échelle macroscopique.

Le matériau étudié dans cette thèse est un composite stratifié à fibres longues de carbone utilisé dans l'industrie aéronautique.

En raison du grand facteur d'échelle entre la taille des fibres de quelques micromètres et de la structure de plusieurs mètres, la simu-

lation directe sur ces matériaux est impossible. De nombreux travaux ont été réalisés pour résoudre ce problème, notamment les méthodes d'homogénéisation, mais ces dernières génèrent une perte d'informations à l'échelle microscopique.

Dans cette thèse, il est proposé d'utiliser des méthodes de réduction d'ordre de modèle et de décomposition de domaine pour garder ces informations tout en préservant un temps de calcul acceptable.

---

**Title:** Contribution to the electromagnetic modelling of composite materials by coupling of order reduction and domain decomposition methods

**Keywords:** stratified composite, domain decomposition, model order reduction method, induction thermography, multi scale simulation

**Abstract:** The object of this thesis is to find new numerical methods to improve the simulation of thermo-inductive processes by taking into account phenomena from the microscopic to the macroscopic scale.

The material studied in this thesis is stratified composite which is used in the aerospace industry.

Due to the large factor between the fibre size of a few micrometres and the structure of sev-

eral metres, direct simulation on these materials is impossible. Much work has been done to solve this problem, especially homogenisation methods, but these methods generate a loss of information at the microscopic scale.

In this thesis, it is proposed to use model order reduction and domain decomposition methods to keep this information while preserving an acceptable computation time.