

Invitation à la soutenance de thèse

**METHODE DES ELEMENTS VIRTUELS POUR LA DISCRETISATION DES
EQUATIONS INTEGRALES DE FRONTIERE EN ELECTROMAGNETISME
DANS LE DOMAINE FREQUENTIEL**

**VIRTUAL ELEMENT METHOD FOR THE DISCRETIZATION OF BOUNDARY
INTEGRAL EQUATIONS IN ELECTROMAGNETISM IN THE TIME-HARMONIC
DOMAIN**

Alexis TOUZALIN

29 avril 2025 à 14h00

Amphithéâtre de l'Institut Lasers et Plasmas, 2640 Av. du Médoc, 33114 Le Barp

Devant le jury composé de :

M. Jérôme DRONIOU	Université de Montpellier	Rapporteur
M. Christophe GEUZAINÉ	Université de Liège	Rapporteur
M. Abderrahmane BENDALI	INSA Toulouse	Examineur
Mme Stéphanie CHAILLAT	ENSTA-UMA	Examinatrice
M. Xavier CLAEYS	ENSTA-UMA	Examineur
M. Sébastien PERNET	ONERA	Directrice de thèse
Emanuele ARCESE	CEA CESTA	Co-directeur de thèse

Résumé

L'analyse des phénomènes de diffraction des ondes électromagnétiques par des objets en trois dimensions nécessite l'utilisation de méthodes numériques, capables d'approcher finement les différentes composantes du champ électromagnétique. Aujourd'hui, avec l'avancée des techniques de compression et de préconditionnement, les solveurs basés sur les équations intégrales de frontière, discrétisées en utilisant la méthode des éléments finis de frontière (BEM), font partis des outils de calcul efficaces et reconnus pour la simulation numérique de ces phénomènes.

Le maintien de compétitivité de ces solveurs est essentiel pour garantir leur capacité à simuler des objets de complexité géométrique, et structurelle croissante. Dans ce contexte, cette thèse vise à améliorer la performance et la flexibilité des approches BEM, face aux maillages irréguliers et non conformes. Pour cela, nous avons proposé une nouvelle approche de discrétisation des équations intégrales de frontière en électromagnétisme, dans le régime harmonique, en s'appuyant sur la méthode des éléments virtuels (VEM). Introduite en 2013, cette méthode numérique innovante généralise la méthode des éléments finis, aux maillages polygonaux et polyédriques, pour la résolution de nombreuses équations aux dérivées partielles. Plus précisément, nous avons étendu le principe de la VEM aux formulations intégrales, modélisant trois scénarios caractéristiques de diffraction par des

objets non réguliers : parfaitement conducteurs, revêtus et pénétrables. Une analyse théorique et numérique approfondie a été menée sur la discrétisation par éléments virtuels de l'équation intégrale en champ électrique, démontrant en particulier une convergence du schéma induit équivalente à celle du schéma traditionnel, mais dans le cadre de maillages composés de polygones comme, par exemple, de triangles avec des nœuds d'ancrage (soit hanging nodes en anglais). Par ailleurs, des stratégies d'implémentation, de la discrétisation basées sur des techniques numériques de calcul des intégrales singulières, ont été proposées afin d'optimiser la complexité des algorithmes et de garantir la précision des résultats. Enfin, nous mettons en avant l'efficacité et l'intérêt pratique de ces nouveaux schémas de discrétisation au travers de benchmarks dédiés au calcul de la surface équivalente radar et à la compatibilité électromagnétique.

Mots clés

Éléments virtuels, Diffraction électromagnétique, Équations intégrales de frontière, Maillages polygonaux, Analyse de convergence.

