

## PROPOSITION DE SUJET DE THESE

**Intitulé : Étude des méthodes CDO (Compatible Discrete Operator) pour une résolution conforme des équations de Maxwell temporelles. Applications dans le domaine de la simulation 3D en Compatibilité électromagnétique.**

Référence : **PHY-DEMR-2026-6**  
 (à rappeler dans toute correspondance)

**Début de la thèse :** 01/10/2026

**Date limite de candidature :**

**Mots clés :** Equations de Maxwell temporelles, CDO (Compatible discrete operator schemes on polyhedral meshes for elliptic and Stokes equations ), FDTD, Compatibilité électromagnétique, Calcul hautes performances

### Profil et compétences recherchées

Nous recherchons un(e) candidat(e) possédant une solide formation en Mathématiques appliquées (Bac+5) avec une expertise en informatique scientifique. Une connaissance préalable du domaine électromagnétique 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

Le DEMR développe depuis de nombreuses années des outils de simulation numérique de la scène électromagnétique, tant dans le domaine fréquentiel que temporel, afin de répondre aux diverses thématiques d'études et de recherche du département comme, par exemple, la compatibilité électromagnétique (CEM), la conception d'antennes, les calculs de signatures équivalentes radar (SER) ou la guerre électronique (GE). Dans le domaine fréquentiel, nous utilisons principalement les éléments finis et les méthodes intégrales ; dans le domaine temporel, la méthode des différences finies (Finite Difference Time Domain - FDTD) reste la technique la plus aboutie pour traiter nos problématiques industrielles. Toutefois, un effort de recherche et de développement important a été réalisé autour de la résolution des équations de Maxwell dans le domaine temporel par des méthodes conformes et de hautes précisions dans un environnement multi-domaine multi-méthodes. Nous pouvons citer, par exemple, les schémas volumes finis, Galerkin Discontinu, éléments finis d'ordre élevé, Mimetic et CDO.

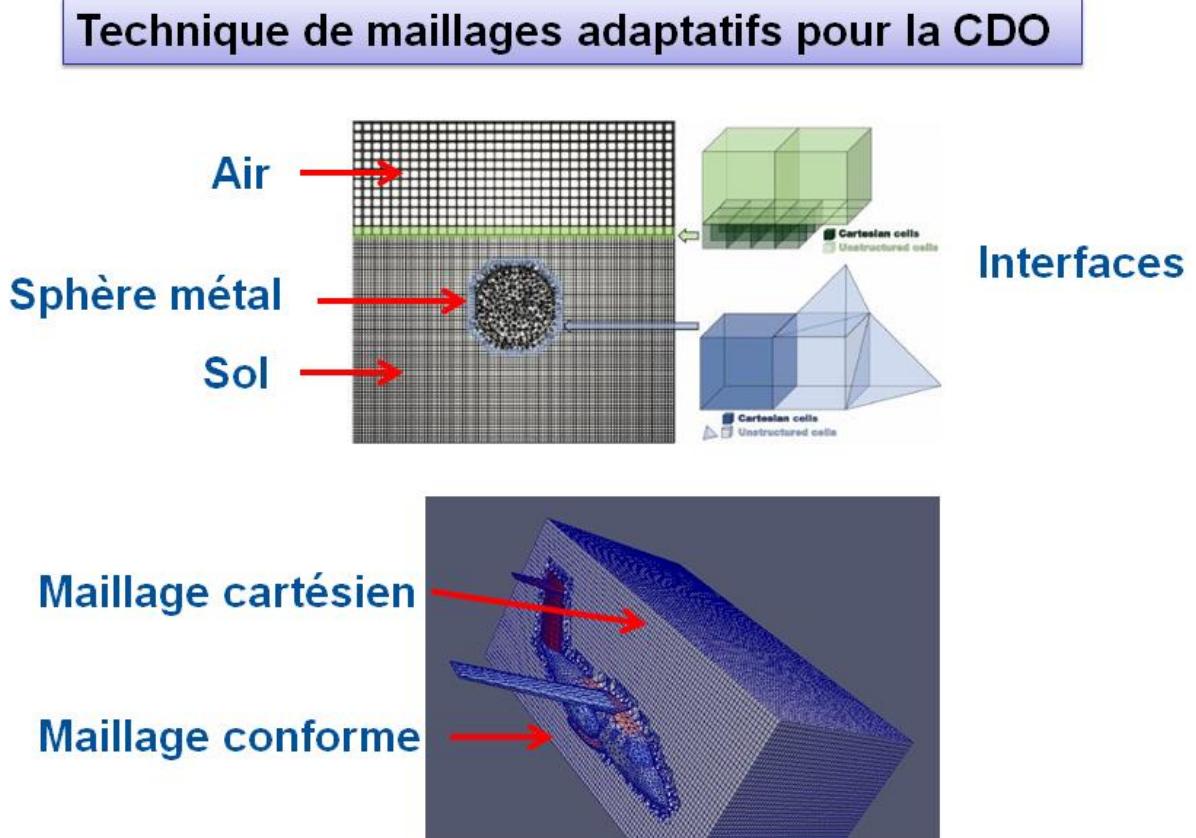
Le schéma CDO (Compatible discrete operator schemes on polyhedral meshes for elliptic and Stokes equations) a récemment fait l'objet lors de la Thèse de V. Ritzenthaler [x] pour la résolution des équations de Maxwell temporelles. Ce schéma permet l'utilisation de maillages conformes polyédriques, et nécessite l'inversion locale d'un système pour les cellules non cartésiennes. En effet, il est possible de mailler uniquement les zones comprenant des éléments géométriques courbes par éléments de type tétraèdres ou hexaèdres et le reste du domaine de calcul par des éléments cartésiens.

Le travail de thèse consistera à développer cette méthode dans le but d'obtenir un schéma conforme et précis adapté aux problématiques de simulation 3D en CEM.

Pour cela on étudiera un couplage avec la méthode FDTD pour le calcul des zones en espace libre afin d'optimiser les performances de calculs. La stratégie optimale de discréétisation temporelle sera traitée en fonction des cellules du maillage. Afin de permettre l'utilisation de cette méthode pour des applications métiers, nous envisageons l'ajout de modèles physiques dont les fils obliques, particulièrement utiles pour représenter les câblages électriques. La pertinence et l'efficacité de la méthode face à divers problèmes de simulations 3D, notamment la CEM, seront analysées. Enfin, il sera indispensable de mettre en œuvre l'aspect calculs hautes performances en environnement parallèle pour adresser la complexité des problèmes à traiter.

[1] Robust Scheme on 3D Hybrid Meshes with Non-conformity for Maxwell's Equations in Time Domain. April 2024 Journal of Scientific Computing 99(3). Valentin Ritzenthaler Valentin Ritzenthaler Pierre Cantin X. Ferrieres X. Ferrieres

Exemple de cas d'applications :



**Collaborations envisagées**

Sans objet immédiat.

**Laboratoire d'accueil à l'ONERA**

Département : DEMR

Lieu (centre ONERA) : Toulouse

**Contact** : Thibault Volpert

Tél. : 0562252732

thibault.volpert@onera.fr

**Directeur de thèse**

Nom : Sébastien Pernet

Laboratoire : ONERA/DTIS/MACI

Tél. : 0562252634

Email : sebastien.pernet@onera.fr

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