

## PROPOSITION DE SUJET DE THESE

**Intitulé : Raffinement auto-adaptatif en métrique pour les formulations intégrales de problèmes de diffraction d'ondes**

Référence : **SNA-DTIS-2023-11**  
(à rappeler dans toute correspondance)

**Début de la thèse :** 01/10/2023

**Date limite de candidature :** 01/08/2023

### Mots clés

Equations intégrales, éléments finis de frontière, raffinement auto-adaptatif, estimation d'erreur en métrique, diffraction d'ondes

### Profil et compétences recherchées

Université ou école d'ingénieur, spécialité en Mathématiques Appliquées, méthodes numériques pour la simulation des équations aux dérivées partielles

Connaissances et goût en programmation

### Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Les équations intégrales de frontières (BIM, pour "Boundary Integral Methods") sont communément utilisées pour la résolution des problèmes de diffraction d'onde par des obstacles de formes arbitraires en 3 dimensions. En électromagnétisme, par exemple, on les retrouve pour la conception d'antennes, l'évaluation des signatures radar et en compatibilité électromagnétique. Leur popularité tient à différents facteurs. D'abord, les solutions BIM vérifient automatiquement les conditions de causalité et de radiation. D'autre part, elles ne nécessitent que la discrétisation des frontières du domaine de calcul, la simulation conduisant à un plus faible nombre d'inconnues comparé à d'autres méthodes usuelles telles que les différences finies ou les éléments finis. Depuis plusieurs années l'ONERA travaille sur ces schémas afin de proposer des méthodes numériques à la pointe de l'existant avec son code de production Maxwell3D (ce dernier étant 10 fois plus rapide que des codes commerciaux sur des exemples industriels).

A l'instar d'autres méthodes de type éléments finis, la méthode BIM est basée sur une approximation polynomiale par morceaux de la solution. Cette dernière est construite sur un maillage surfacique de l'objet diffractant et la convergence du schéma ainsi que de l'ensemble des éléments construits à partir de ce dernier sont obtenus par le raffinement du maillage. Ceci est classique pour les méthodes basées sur une discrétisation de la géométrie. Or, la création d'un maillage extrêmement fin de la scène d'étude d'un objet industriel complexe peut présenter des coûts mémoire et CPU (le nombre d'inconnues étant directement lié au nombre de mailles) prohibitifs. Il est toutefois possible de localiser cet effort en générant un maillage adapté. Typiquement, un tel maillage présentera des éléments localement plus fins autour de zones d'intérêts ou présentant de fortes variations de la solution, et plus relâchés ailleurs. Cette stratégie est appliquée avec succès dans le domaine de la CFD (Computational Fluid Dynamics) pour des schémas volumes finis via la librairie de remaillage en métrique Feeflo.a développée à l'INRIA Gamma. A notre connaissance, cette stratégie n'a jamais été mise en œuvre dans le contexte BIM. Notre objectif dans cette thèse est donc d'explorer des pistes d'améliorations significatives, aussi bien au niveau des performances que de la qualité des résultats, en utilisant cette technique.

Dans une première partie, on s'intéressera au couplage Maxwell3D/Feeflo.a, d'un point de vue autant pratique que théorique. L'utilisation de la méthode de remaillage par métrique requiert de donner une évaluation sous forme de métrique d'un majorant de l'erreur du schéma. Il faudra donc définir un estimateur a posteriori qui soit à la fois constructible via les éléments de la BIM, si possible peu coûteux, fiable et adapté à la forme particulière de l'espace d'éléments finis utilisés (fonctions

permettant d'approcher un opérateur à noyau). La validation de la méthode et l'étude de ses apports seront évaluées sur des cas tests aussi bien académiques qu'industriels.

Dans une seconde partie de la thèse nous chercherons à étendre cette stratégie de raffinement adaptatif à la construction d'opérateurs complexes utiles en BIM. Ainsi, elle sera vue comme une méthode numérique de convergence en maillage pour approcher des opérateurs différentiels, ou pseudo-différentiels, donnés. Parmi les applications, on envisage de créer des préconditionneurs locaux « simples » mais amenés à convergence par raffinement de maillage. Ce type de « préconditionneurs en maillage » pourrait amener des gains CPU intéressants lors de la phase de résolution. On investiguera aussi la mise en place d'un raffinement de la solution guidé par estimation de type « goal oriented » dans un contexte multi seconds membres. Par ailleurs, une telle méthode entraînerait une réduction du coût ingénieur de préparation du calcul dans les simulations BIM.

#### Collaborations envisagées

Cette thèse se déroulera dans le cadre de la nouvelle équipe commune INRIA-ONERA, donc dans un cadre de collaboration avec l'équipe INRIA Gamma. En outre, l'étudiant participera au Laboratoire de Mathématiques Appliquées (LMA2S) de l'ONERA et pourra donc bénéficier de ces deux environnements d'échanges particuliers.

#### Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Traitement de l'Information et Systèmes

Lieu (centre ONERA) : Toulouse

**Contact** : David Levadoux, Vincent Mouysset

Tél. : 05.62.25.28.78, 05.62.25.26.72

Email : [david.levadoux@onera.fr](mailto:david.levadoux@onera.fr),  
[vincent.mouysset@onera.fr](mailto:vincent.mouysset@onera.fr)

#### Directeur de thèse

Nom : Guillaume Puigt

Laboratoire : ONERA

Tél. : 05.62.25.29.40

Email : [guillaume.puigt@onera.fr](mailto:guillaume.puigt@onera.fr)

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