www.onera.fr

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Extension d'une méthode de base réduite pour la signature radar de cibles complexes

Référence : **PHY-DEMR-2024-22**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : Octobre 2024	**Date limite de candidature :** 31/07/2024

Mots clés : Méthode base réduite, Réduction d'ordre, Réduction de modèle, Éléments finis, Équations Intégrales, Électromagnétisme

Profil et compétences recherchées

Mathématiques appliquées, des compétences en électromagnétisme et plus généralement la physique des ondes sont appréciées

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

En électromagnétisme, l'imagerie radar est un outil de traitement essentiel pour effectuer une analyse fine des interactions entre une onde et une cible. Pour obtenir une image radar utile (en termes de localisation et de résolution), il est nécessaire de mesurer ou de calculer une multitude de fréquences et d'angles d'incidence en fonction de la longueur de la cible et du domaine d'observation d'analyse. On doit alors résoudre successivement des problèmes de diffusion électromagnétique associés à des ondes planes pour chaque fréquence et un nombre variable d'angles d'incidence.

La BEM (Boundary Element Method) est couramment utilisée pour les études acoustiques notamment pour l'évaluation des effets de masquage des nouvelles architectures d'aéronefs ; et pour les études électromagnétiques afin de simuler la signature radar d'un objet. Même si des méthodes performantes sont utilisées pour accélérer les résolutions BEM, le coût global du balayage en fréquence reste considérable à cause du grand nombre de fréquences à résoudre indépendamment les unes des autres.

Dans ce contexte, la méthode base réduite, qui permet d'approcher la solution d'un problème dépendant d'un (ou de plusieurs) paramètre(s) à l'aide des solutions obtenues pour un nombre limité de valeurs du paramètre, gagne un intérêt grandissant depuis une dizaine d'années et est aujourd'hui un sujet de recherche très actif. En pratique, l'algorithme de construction de la base réduite appelle un code BEM électromagnétisme comme un service extérieur. Si le paramètre qui nous intéresse est la fréquence, la méthode base réduite permet alors de minimiser le nombre de fréquences pour chacune desquelles une résolution BEM (i.e. assemblage de la matrice et résolution du système linéaire par une méthode itérative) est nécessaire afin d'effectuer le balayage en fréquence, réduisant ainsi le coût de calcul global (de même si le paramètre considéré est l'angle d'incidence). Le gain obtenu par rapport à une résolution classique (un calcul par fréquence et/ou angle d'incidence) est d'autant plus grand quand les deux paramètres sont considérés simultanément.

Les travaux de thèse de P. Edel au sein de l'ONERA ont permis de développer et de mettre en œuvre la méthode base réduite pour des problèmes multi-fréquences et multi-incidences en diffraction électromagnétique résolus par des équations intégrales de surface discrétisées par la méthode des éléments de frontière pour des objets parfaitement conducteurs seulement. La figure 1présente les résultats d'imagerie radar obtenus à partir de l'algorithme base réduite issu des travaux de thèse de Philip Edel. Ces résultats ont été obtenus pour 101 fréquences et 121 incidences pour un coût de calcul 1.5 fois plus rapide que l'approche classique (un calcul = une fréquence et une incidence).

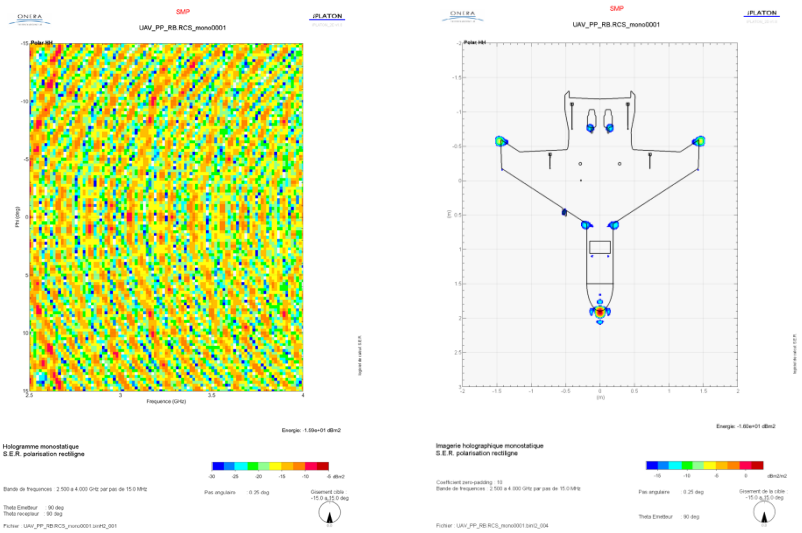

Figure 1 : imagerie radar multi-fréquences/multi-incidences avec hologramme et image holographique

L'objectif de la thèse doit permettre notamment

1. D'étendre la méthode base réduite pour l'électromagnétisme :
   i. pour des objets non parfaitement conducteurs à impédance de surfaces,
   ii. pour des objets avec matériaux épais (couplage équations intégrales / éléments finis volumiques)
   iii. pour des excitations différentes d'une onde plane
      a) Pour générateur de tension modélisé par un monopole il faudra introduire une formulation filaire.
      b) Pour bases modales lors d'un calcul multi-domaines
2. D'évaluer
   i. les performances de la méthode sur des objets réalistes lors de la montée en taille du problème (cavités, fentes, antennes, ...)
   ii. l'influence sur les performances et la précision des résultats de l'estimateur d'erreur utilisé dans la méthode pour évaluer et contrôler l'erreur introduite.
   iii. l'influence du produit matrice-vecteur et de l'assemblage, par MLFMM ou H-Matrix (Multi Level Fast Multipole Method ou Hierarchical Matrix) qui sont les services (coûteux en temps de calcul/mémoire) appelés par l'algorithme de base réduite.

Bibliographie :

- P. Edel, Reduced basis method for parameter-dependent linear equations. Application to time-harmonic problems in electromagnetism and in aeroacoustics, Thèse de doctorat 2022.
- M. Fares, J. S. Hesthaven, Y. Maday, and B. Stamm. The reduced basis method for the electric field integral equation. Journal of Computational Physics, 230(14):5532–5555, 2011.
- M. Barrault, Y. Maday, N. C. Nguyen, and A. T. Patera. An 'empirical interpolation' method: application to efficient reduced-basis discretization of partial differential equations. Comptes Rendus Mathématique, 339(9):667–672, 2004.

Collaborations envisagées

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département Electromagnétisme et radar

Lieu (centre ONERA) : Palaiseau

Contact : Jérôme Simon

Tél. : +33 1 80 38 62 64

Email :jerome.simon@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Y. Maday

Laboratoire Jacques-Louis Lions UMR7598, Sorbonne Université

Tél. :

Email :yvon.maday@sorbonne-universite.fr

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