

# Éléments finis d'ordre élevé pour la résolution des équations de Maxwell harmoniques en géométrie axisymétrique.

**Sébastien CAMBON**, CEA-DAM-CESTA, FRANCE

**Anne-Sophie BONNET-BEN DHIA**, POEMS, PARIS FRANCE

**Francis COLLINO**, CERFACS, TOULOUSE FRANCE

**Patrick LACOSTE**, CEA-DAM-CESTA, FRANCE

Les études de furtivité, réalisées par exemple au CEA [1], ont pour objectif de réduire la signature radar d'objets dont la structure de matériaux et la géométrie peuvent être très complexes. Ces études s'appuient en partie sur des codes de modélisation massivement parallèles permettant de quantifier la surface équivalente radar (SER). Ainsi, en utilisant ces résultats, les ingénieurs peuvent améliorer et concevoir des objets performants respectant des critères prédéfinis.

Dans notre étude, nous considérons des objets à symétrie de révolution, notés  $\Omega$  de frontière régulière  $\Gamma$ , éclairés par des ondes planes. La modélisation numérique de la diffraction des ondes planes par ces objets nous conduit à résoudre les équations de Maxwell harmoniques en domaine non borné. Une méthode présentée pour la première fois en trois dimensions dans [2], consiste à coupler une approche dite directe en volume à la méthode des équations intégrales pour le domaine extérieur. Ce couplage est particulièrement intéressant car il permet principalement :

- de traiter des milieux hétérogènes complexes, isotropes ou anisotropes de façon naturelle ;
- d'utiliser, dans le milieu extérieur, une représentation exacte du champ électrique  $\mathbf{E}$  et magnétique  $\mathbf{H}$  en fonction des courants surfaciques associés  $\mathbf{J} = \mathbf{n} \times \mathbf{H}_{|\Gamma}$  et  $\mathbf{M} = \mathbf{E}_{|\Gamma} \times \mathbf{n}$  respectivement.

Un des objectifs de nos travaux est d'introduire dans ce couplage la propriété d'invariance géométrique par rotation et de proposer une nouvelle méthode d'éléments finis d'ordre élevé. Tout d'abord, la présence d'un axe de révolution permet de ramener le problème posé en trois dimensions à un ensemble dénombrable de problèmes en deux dimensions. Le coût mémoire et les temps CPU des résolutions sont ainsi extrêmement réduits. Ensuite, nos éléments finis d'ordre élevé permettent de relâcher les critères de maillage (en général 10 points par longueur d'onde à l'ordre 1) tout en conservant la précision du calcul. De plus, par construction, les fonctions de bases surfaciques utilisées pour la discrétisation de la partie équation intégrale se raccordent parfaitement aux traces tangentielles des fonctions de bases volumiques situées sur  $\Gamma$ . Le couplage entre la formulation volumique et la formulation équation intégrale est ainsi facilité. Toutefois, la montée en ordre détériore le conditionnement des systèmes linéaires. L'utilisation d'un solveur hybride direct-itératif pour la résolution des systèmes pourra parfois permettre de contourner cette difficulté. Des résultats numériques illustreront ces propriétés sur différents types d'objets : diélectriques avec (ou sans) noyau conducteur constitué de matériaux isotropes et/ou anisotropes. Nous présenterons également les méthodes d'intégration pour l'évaluation des intégrales singulières (méthode dite de Gay, méthode multipôle,...) ainsi que la méthode de parallélisation sur une machine petaflopique du CEA.

## Références

- [1] P. BONNEMASON, B. STUPFEL, *Modeling high frequency scattering by axisymmetric perfectly or imperfectly conducting scatterers*, Electromagnetics 13, pp. 111-129, 1993
- [2] V. LEVILLAIN, *Couplage éléments finis équations intégrales pour la résolution des équations de Maxwell en milieu hétérogène*, Thèse de l'École Polytechnique, 1991.

**Sébastien CAMBON**, CEA-DAM-CESTA, Avenue des sablières, 33 114 Le Barp, FRANCE  
sebastien.cambon@cea.fr

**Anne-Sophie BONNET-BEN DHIA**, POEMS, 32 boulevard Victor, 75 739 PARIS cedex 15, FRANCE  
Anne-Sophie.Bonnet-Bendhia@ensta.fr

**Francis COLLINO**, CERFACS, 42 avenue Gaspard Coriolis, 31 057 TOULOUSE cedex 1, FRANCE  
collino@cerfacs.fr

**Patrick LACOSTE**, CEA-DAM-CESTA, Avenue des sablières, 33 114 Le Barp, FRANCE  
patrick.lacoste@cea.fr