

# **Modélisation de la réponse ultrasonore de défauts de type fissure par méthode BEM et couplage à un modèle de propagation - Application à la simulation des contrôle non destructifs**

**Résumé:** Le CEA LIST développe la plate forme de simulation CIVA pour le contrôle non destructif qui propose des outils de simulations dédiés aux principales techniques d'inspection. L'objectif général de la thèse est d'enrichir les outils de simulation ultrasonore disponibles dans CIVA. Plus précisément, on propose de modéliser un défaut de géométrie complexe et son voisinage par la méthode des éléments de frontière accélérée par multipôles rapides ("fast multipole boundary element method", ou FM-BEM), en conditions élastodynamiques 3D, et de coupler cette modélisation avec les autres méthodes présentes dans CIVA pour prendre en compte la propagation des ultrasons diffractés par le défaut dans la pièce entière, et notamment vers les capteurs.

## **Sujet détaillé**

**Contexte:** Le CEA LIST développe la plate forme de simulation CIVA pour le contrôle non destructif (CND) qui propose des outils de simulations dédiés aux principales techniques d'inspection. Le présent sujet est proposé dans le cadre de la collaboration existant de longue date autour de CIVA entre le CEA LIST et le laboratoire POEMS (Propagation d'Ondes: Etudes Mathématiques et Simulation), unité mixte de recherche CNRS-ENSTA-INRIA et composante de l'unité de Mathématiques appliquées de l'ENSTA. En ce qui concerne les techniques ultrasonores la simulation vise à prédire les échos reçus en présence d'un défaut. Aujourd'hui dans CIVA la propagation est modélisée par une approche dérivée de la théorie des rayons tandis que la diffraction par le défaut utilise des approximations haute fréquence. Ces approximations sont mises en défaut pour des tailles de fissures plus petites ou de l'ordre de la longueur d'onde ainsi que pour des défauts de géométrie complexe. L'objectif de la thèse est de développer un modèle de diffraction s'appuyant sur la méthode des éléments finis de frontière capable de traiter ces cas là et qui puisse être couplé au modèle de propagation.

**Travail proposé: motivations et principaux axes.** On propose plus précisément de modéliser un défaut de géométrie complexe (que l'expérience de CND cherche à identifier) et son voisinage par la méthode des éléments de frontière accélérée par multipôles rapides ("fast multipole boundary element method", ou FM-BEM), en conditions élastodynamiques 3D, et de coupler cette modélisation avec les autres méthodes présentes dans CIVA pour prendre en compte la propagation des ultrasons diffractés par le défaut dans la pièce entière, et notamment vers les capteurs.

La FM-BEM élastodynamique en variable fréquentielle fait l'objet d'un code existant sur lequel le travail s'appuiera, et il ne s'agit donc pas de la développer ab initio. Le travail proposé se concentrera ainsi sur les extensions (conceptuelles et numériques) visant à adapter la FM-BEM aux besoins de la simulation du CND et à son couplage avec les outils de CIVA. On développera ainsi les aspects suivants:

- 1) Extensions de la formulation FM-BEM aux défauts d'épaisseur très faible modélisés par des fissures (surfaces à travers lesquelles le déplacement est discontinu), par ajout de l'opérateur intégral hypersingulier aux opérateurs existants.
- 2) Calcul de solutions temporelles s'appuyant sur la formulation existante en variable fréquentielle: outre la synthèse de Fourier déjà disponible, on construira et mettra en place une formulation Laplace-temps basée sur la "convolution quadrature method", mieux adaptée au couplage avec d'autres méthodes basées sur une résolution incrémentale en temps.
- 3) Analyse des stratégies possibles de couplage entre FM-BEM et les outils (éléments finis ou méthode des rayons) présents dans CIVA: couplage approché non-itératif, couplage exact par décomposition de domaine ou autre stratégie itérative, dans une optique de résolution en variable temporelle dans les régions à coupler. Proposition, mise en oeuvre et évaluation sur cas représentatifs du CND ultrasonore d'une approche couplée.
- 4) Prise en compte optimisée, dans le cadre de solveurs itératifs, de simulations multiples sur configurations proches (déplacement progressif de capteurs, études paramétriques).

Préalablement à leur mise en oeuvre, ces extensions donneront ainsi lieu à un travail de réflexion sur leur conception. Elles conduiront à des méthodes originales, et feront l'objet de publications. Par ailleurs, la méthodologie de travail se vaudra graduelle, et mettra l'accent sur l'évaluation de chaque apport par confrontation à des cas tests représentatifs du CND ultrasonore.

Le sujet est ainsi susceptible d'intéresser un(e) candidat(e) disposant d'une solide formation en mathématiques appliquées, calcul scientifique et mécanique des solides, souhaitant s'investir dans un travail de recherche combinant de façon équilibrée les aspects théoriques, numériques et applicatifs et effectué dans un environnement mixte associant les aspects académiques et finalisés du travail.

**Cadre de travail et encadrement.** L'encadrement est assuré par Marc Bonnet (DR CNRS, POems), Stéphanie Chaillat-Loseille (CR CNRS, POems) et Vincent Dorval (CEA LIST).

Le LIST et POems, tous deux implantés sur le plateau de Saclay, sont géographiquement proches, ce qui facilitera une interaction forte et la synergie de tous les aspects (théoriques, numériques, applicatifs) du travail. Les développements (méthodologiques et algorithmiques) et leurs applications s'appuieront ainsi sur les acquis suivants:

- CND + CIVA. CIVA comprend des modules de simulation basés sur (i) des modèles semi-analytiques, (ii) les éléments finis, (iii) la méthode des rayons.
- La FM-BEM élastodynamique 3D en domaine fréquentiel, implémentée dans le code COFFEE issu des travaux de thèse de Stéphanie Chaillat-Loseille [1] et dont le développement se poursuit au sein du laboratoire Poems.

### **Références.**

[1] S. Chaillat: Fast Multipole Method for 3-D elastodynamic boundary integral equations. Application to seismic wave propagation. Thèse, ENPC, déc. 2008. <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00359461>

[2] S. Chaillat, M. Bonnet, J.F. Semblat: A multi-level fast multipole BEM for 3-D elastodynamics in the frequency domain. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2008, 197:4233-4249. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00276092/en>