

Méthode accélérée d'équations intégrales
pour l'interaction dynamique sol-structure

- ▷ **Contexte scientifique** : La modélisation de l'interaction dynamique sol-structure, permettant par exemple d'évaluer l'effet d'ondes sismiques sur des ouvrages, conduit fréquemment à traiter le sol (au-delà de l'environnement immédiat de l'ouvrage) comme un demi-espace infini dans lequel se propagent des ondes (visco)élastiques. La structure et son environnement proche sont modélisés par éléments finis (FEM), tandis que le domaine de propagation semi-infini est traité par équations intégrales, conduisant à une discrétisation par éléments de frontière (*boundary element method*, ou BEM). Le problème d'interaction conduit alors à coupler BEM et FEM. Le maillage BEM peut être réduit à l'interface BEM-FEM à condition d'utiliser dans l'équation intégrale le tenseur de Green élastodynamique prenant en compte les conditions de surface libre (ainsi que celles de transmission entre interfaces en cas de milieu stratifié).

La BEM sous sa forme classique conduit cependant à des matrices d'influence pleines, limitant fortement son champ d'application en termes de complexité géométrique ou de fréquence. Des travaux récents¹ ont conduit à la définition d'une version accélérée de la BEM (visco)élastodynamique reposant sur la méthode multipôle rapide (FMM), qui permet non seulement à une réduction très importante du temps de calcul, mais également une forte augmentation de la taille des modèles BEM permis.

- ▷ **Travail demandé** : Sous sa forme actuelle, la FMM ne permet cependant pas une prise en compte implicite de surfaces libres ou d'interfaces, et demande donc le maillage de ces surfaces. Une réflexion engagée sur la généralisation de la FMM aux milieux semi-infinis nous a conduit à une formulation théorique, pour l'instant écrite pour le cas d'un demi-espace homogène.

La mise en œuvre de cette formulation nécessite toutefois la mise au point d'un algorithme d'intégration numérique spécialisé, à la fois adapté (le tenseur de Green étant exprimé sous la forme d'une intégrale de Fourier 2D) et compatible avec les exigences liées à l'accélération de la BEM. Ce point, et plus généralement la mise en œuvre numérique de la formulation, constitue le noyau du travail proposé, qui devra comprendre également la réalisation d'une série de tests numériques d'évaluation (de précision et d'efficacité) en conditions (visco)élastodynamiques 3D.

- ▷ **Connaissances préalables** : Le ou la stagiaire devra avoir des notions d'analyse numérique. Des connaissances sur la méthode des équations intégrales seront appréciées.
- ▷ **Perspectives** : Ce stage est susceptible de publication (selon résultats) ainsi que d'extensions sous la forme d'une thèse (financement public ou collaborations à explorer, notamment EDF ou CEA).

¹dont les thèses de S. Chaillat (2005-08) et de E. Grasso (2008-11) dirigées par J.F. Semblat (IFSTTAR) et M. Bonnet

Le stage peut être effectué par un étudiant de nationalité étrangère.

Renseignements pratiques :

- **Responsables (téléphone, télécopie, courriel) :**
 - *Stéphanie Chaillat (stephanie.chaillat@ensta.fr, 01 45 52 42 15)*
 - *Marc Bonnet (marc.bonnet@ensta.fr, 01 45 52 55 36)*
- **Lieu :** *Le stage (durée souhaitée 5-6 mois) se tiendra au sein de l'équipe PO-ems (Propagation d'ondes: études mathématiques et simulation) de l'unité de mathématiques appliquées de l'ENSTA (32, Boulevard Victor, 75739 PARIS Cedex 15).*