

Congrès des Jeunes Chercheurs en Mathématiques Appliquées

Laura BAGUR, S. CHAILLAT, J.-F. SEMBLAT, I. STEFANOU

Laboratoire POEMS, CNRS - ENSTA Paris - INRIA Institut Polytechnique de Paris (IPP); Laboratoire IMSIA, CNRS - EDF - CEA - ENSTA Paris IPP; Laboratoire GEM, Centrale Nantes - Université de Nantes - CNRS

Email : laura.bagur@ensta-paris.fr

Mots Clés : Mathématiques Appliquées, Méthodes d'éléments de frontière (rapides) (BEMs (rapides)), Equation intégrale, Contrôle sismique, Sismicité induite, Problèmes en domaine non-borné, Benchmark

Biographie – Doctorante en première année au laboratoire POEMS sous la direction de S. CHAILLAT, J.-F. SEMBLAT et I. STEFANOU, ma thèse porte sur la "Modélisation 3D du glissement sismique et asismique en utilisant les méthodes d'éléments de frontière rapides". Ce travail est financé par un Contrat Doctoral Spécifique Normalien. Diplômée de l'Ecole Normale Supérieure Paris-Saclay en 2020, en Sciences de l'Ingénieur option Ingénierie Mécanique, j'ai également été reçue au concours de l'Agrégation Externe dans cette spécialité en 2019.

Resumé :

Les séismes naturels ou liés à l'activité humaine causent des dégâts humains et matériels importants. Ceci justifie le besoin d'outils numériques puissants pour les modéliser. En particulier, des simulations à grandes échelles (spatiale et temporelle) sont nécessaires pour décrire le phénomène sismique et envisager la réduction de ses effets. Ce travail s'inscrit au sein du projet ERC "Controlling Earthquakes" (CoQuake), porté par Ioannis Stefanou. L'objectif y est d'explorer la possibilité de contrôler les séismes naturels et/ou induits par l'activité humaine. Plus précisément, il s'agit d'étudier la possibilité d'imposer un glissement asismique contrôlé au niveau d'une faille, par injection de fluide dans le sol [7], pour la ramener à un niveau d'énergie inférieur et stable.

Ce travail se concentre sur le développement de nouveaux outils numériques basés sur les méthodes d'éléments de frontière rapides (BEMs rapides) [1], [2]. Ces méthodes sont particulièrement adaptées aux problèmes en domaine non-borné. En effet, elles ne nécessitent pas de tronquer artificiellement le domaine, la condition de radiation étant intrinsèque à la méthode. Cet avantage permet d'envisager des calculs plus réalistes comparativement à d'autres méthodes numériques. Le but des simulations BEMs au sein de CoQuake est précisément de vérifier numériquement et le plus fidèlement possible les stratégies de contrôle de séismes par injection de fluide. Les principales difficultés et originalités résident dans l'extension des BEMs rapides à des problèmes de mécanique des failles de grandes tailles incorporant des couplages thermo-hydro-mécaniques [6], [4].

Dans cette présentation, on s'intéressera tout d'abord au principe de la BEM et des BEMs rapides utilisées pour modéliser des séquences de glissements sismique et asismique. La BEM est basée sur la discrétisation des équations intégrales de frontière (BIE). Ces équations sont obtenues par reformulation de l'EDP grâce à l'utilisation d'une fonction de Green. Cette discrétisation conduit à une matrice pleine, une difficulté que l'on peut contourner par l'utilisation des BEMs rapides. Les méthodes accélérées permettent en effet de réduire le coût de calcul et de stockage des BEMs standards.

Les BEMs standards, parmi d'autres méthodes numériques, ont déjà été utilisées pour résoudre des problèmes de mécanique des failles [3]. Afin de vérifier l'approche BEM sur ce type de problèmes, j'utiliserai dans un premier temps une méthode simple proposée par les mécaniciens qui consiste à implémenter des BEMs standards simplifiées par FFT spatiale dans le cas 2D anti-plan Figure

1 (modèle de [5]). Cette technique n'est valable que pour ce cas simplifié et pour une faille de géométrie non réaliste. Des études de convergences spatiale et temporelle du problème discrétisé seront présentées. Je montrerai alors comment, en utilisant les BEMs rapides, on est capable de traiter des cas plus réalistes (géométrie, comportement poro-élasto-dynamique de la faille...). Enfin, une validation des outils développés sera menée en comparaison avec des observations sismologiques.

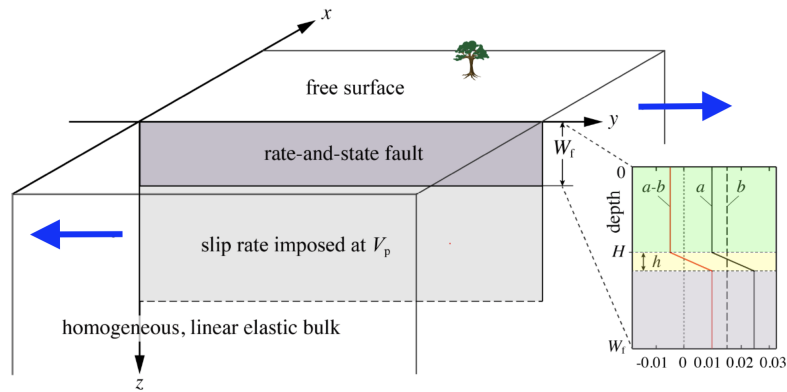


Figure 1: Description simplifiée du problème

Références

- [1] Stéphanie Chaillat and Marc Bonnet. Recent advances on the fast multipole accelerated boundary element method for 3D time-harmonic elastodynamics. *Wave Motion*, 50(7):1090–1104, 2013.
- [2] Stéphanie Chaillat, Luca Desiderio, and Patrick Ciarlet. Theory and implementation of H-matrix based iterative and direct solvers for Helmholtz and elastodynamic oscillatory kernels. *Journal of Computational Physics*, 351:165–186, December 2017.
- [3] Brittany A. Erickson, Junle Jiang, Michael Barall, Nadia Lapusta, Eric M. Dunham, Ruth Harris, Lauren S. Abrahams, Kali L. Allison, Jean-Paul Ampuero, Sylvain Barbot, Camilla Cattania, Ahmed Elbanna, Yuri Fialko, Benjamin Idini, Jeremy E. Kozdon, Valère Lambert, Yajing Liu, Yingdi Luo, Xiao Ma, Maricela Best McKay, Paul Segall, Pengcheng Shi, Martijn van den Ende, and Meng Wei. The Community Code Verification Exercise for Simulating Sequences of Earthquakes and Aseismic Slip (SEAS). *Seismological Research Letters*, 91(2A):874–890, March 2020.
- [4] Hadrien Rattetz, Ioannis Stefanou, Jean Sulem, Manolis Veveakis, and Thomas Poulet. The importance of Thermo-Hydro-Mechanical couplings and microstructure to strain localization in 3D continua with application to seismic faults. Part II: Numerical implementation and post-bifurcation analysis. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 115:1–29, June 2018.
- [5] James R. Rice. Spatio-temporal complexity of slip on a fault. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 98(B6):9885–9907, 1993.
- [6] Martin Schanz. *Wave Propagation in Viscoelastic and Poroelastic Continua: A Boundary Element Approach*. Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2001.
- [7] Ioannis Stefanou. Controlling Anthropogenic and Natural Seismicity: Insights From Active Stabilization of the Spring-Slider Model. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124(8):8786–8802, 2019.