



Sujet proposé pour un début de contrat en octobre 2016

---

**TITRE du SUJET : Complexité radiative des grands séismes: de l'imagerie à l'échelle régionale à la modélisation des mouvements forts**

Directeur (trice) : Vilotte, Jean-Pierre, Physicien, [vilotte@ipgp.fr](mailto:vilotte@ipgp.fr)

Co-directeur (trice) : Bernard, Pascal, Physicien, [bernard@ipgp.fr](mailto:bernard@ipgp.fr)

Equipe d'accueil : IPGP-Equipe de sismologie – UMR 7154

Financement : **Contrat doctoral**

---

Plus de renseignement voir : <http://ed560.ipgp.fr>, Rubrique : Offres\_de\_thèse.  
Il est indispensable de faire acte de candidature sur le site de l'Ecole doctorale

---

### Développement du Sujet :

Le caractère destructeur des grands séismes est lié à la complexité et au large contenu spectral du rayonnement sismique de la rupture. Cette complexité radiative est elle-même dépendante de la géométrie et des propriétés intrinsèques, a priori hétérogènes, de l'interface de faille. Elle résulte également des interactions dynamiques, lors de la rupture, entre les différentes parties de la faille et son environnement (surface libre, hétérogénéités latérales). Ces deux composantes, hétérogénéités gelées et dynamiques, contrôlant la complexité radiative et l'extension des ruptures sismiques, ne sont actuellement pas séparées dans les analyses classiques des données (sismologiques et géodésiques). Si ces effets sont mis en évidence par des modèles numériques 2D et 3D de la rupture sismique, ces derniers ne permettent pas aujourd'hui de simuler ni d'inverser des modèles de rupture à haute fréquence. Simuler et imager/inverser la rupture sismique et les zones radiatives associées sur une large bande de fréquence constitue un enjeu majeur aujourd'hui pour la compréhension et la prévention des risques sismiques - et du potentiel tsunamigénique - des grands séismes dans différents contextes géodynamiques.

Les modèles large-bande spectraux des sources sismiques sont limités aujourd'hui à des modèles purement cinématiques. Ces derniers décrivent le glissement le long de l'interface par un processus spatio-temporel stochastique, forcé à grande échelle par la propagation d'un front de rupture effectif, et calé dans le détail pour produire un rayonnement sismique de type  $\omega^{-2}$ , ou ses variantes. Ainsi le modèle k-square est construit sur l'hypothèse d'un spectre en  $k^{-2}$  du glissement final résultant de la superposition d'un très grand nombre d'« aspérités » dont les tailles sont distribuées en loi de puissance, et qui rompent au passage du front de rupture avec un temps de rupture proportionnel à leur dimension.

Les récentes observations détaillées des grands séismes, grâce aux nouvelles méthodes d'imagerie par antenne exploitant la densité croissante des réseaux télé-sismiques, montrent cependant des caractéristiques clairement non stochastiques du rayonnement de l'interface de faille. Pour les très grands séismes de subduction, la partie profonde de l'interface semble rayonner de manière cohérente plus fortement et à plus haute fréquence que les parties plus proches de la fosse. Ces observations sont aujourd'hui interprétées comme résultant de variations des propriétés thermomécaniques et des hétérogénéités le long de l'interface et de son milieu environnant. Cependant, les images obtenues par ces techniques d'antenne sont en fait encore très mal comprises. Par ailleurs, les enregistrements sismiques *régionaux*, qui apportent a priori une vision

rapprochée de la rupture sismique, ne sont pas encore exploitées par ces techniques d'antenne, en raison de leur complexité et de l'incohérence du signal d'une station à l'autre. Exploiter ces observations importantes implique aujourd'hui des avancées dans les méthodes d'analyse statistique du signal (imagerie/inversion) et de modélisation/simulation de la rupture sismique large bande. Le sujet de Thèse proposé se place au cœur de cette problématique visant à améliorer la prévision des mouvements forts via la caractérisation statistique de la complexité des ruptures sismiques et de leur rayonnement, en lien avec les propriétés mécaniques des interfaces de failles, de leur hétérogénéité, et de leur environnement thermomécanique. La thèse sera réalisée en coopération étroite avec des chercheurs du Earthquake Research Institute (ERI) de l'Université de Tokyo, dans le cadre de la coopération scientifique existante entre le ERI et l'IPGP.

Elle comporte 4 volets complémentaires, dont l'équilibre dépendra du profil de l'étudiant(e) et de l'évolution du travail au cours de la thèse.

1. Développer des outils statistiques d'imagerie (temps-fréquence) d'antenne à l'échelle régionale via des méthodes de retroprojection ou de déconvolution. L'enjeu ici est d'identifier les fonctions caractéristiques pertinentes par leur degré de cohérence entre stations via des méthodes d'analyse et de décomposition adaptées à la non stationnarité du signal. Les données régionales de plusieurs grands séismes de l'archipel du Japon, de grande qualité et enregistrées sur des réseaux exceptionnellement denses, seront analysées à cette fin.
2. Interpréter les images radiatives obtenues par ces méthodes en terme de caractéristiques statistiques des sources (distribution spatio-temporelle de la vitesse de glissement de l'interface, propriétés spectrales du rayonnement cohérent observé). Cela pourra être réalisé par la simulation et l'inversion de rayonnement via des modèles cinématiques stochastiques non homogènes basés sur l'approche  $k_2$  et ses extensions.
3. Développer de nouveaux modèles multi-échelles pour la simulation numérique large bande de la rupture sismique le long d'interfaces de faille hétérogènes et de géométrie complexe. Cette approche consistera à coupler des modèles dynamiques déterministes (basses fréquences) et des modèles cinématiques stochastiques (hautes fréquences) de la rupture via des conditions de fermeture consistantes. Ces modèles permettront de tester les caractéristiques spectrales hétérogènes du rayonnement de la rupture associée aux grands séismes, en lien avec les hétérogénéités mécaniques de l'interface, sa géométrie et la structure de la zone sismique. Ces modèles en retour permettront de mieux déterminer les domaines de validité des approches cinématiques et de développer/valider de nouvelles méthodes d'imagerie pour l'exploitation des données régionales.
4. Analyser statistiquement les caractéristiques spécifiques des distributions de zones préférentiellement radiatives le long des failles, et en déterminer le caractère prédictible. L'objectif est ici de prendre en compte ces caractéristiques pour générer différents scénarios de rupture et simuler les mouvements forts associés, dans le but d'améliorer l'évaluation probabiliste de l'aléa sismique.

Cette thèse se déroulera entre l'IPGP et le ERI. L'étudiant(e) sera amené(e) à partager son temps entre les deux environnements scientifiques.