



# ÉCOLE DOCTORALE

## SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT ET PHYSIQUE DE L'UNIVERS, PARIS

[ed560.stepup@u-paris.fr](mailto:ed560.stepup@u-paris.fr)

---

**Titre du sujet : Détection, caractérisation et modélisation des séismes de très basse fréquence**

Directeur :

**VALLÉE Martin, Physicien, [vallee@ipgp.fr](mailto:vallee@ipgp.fr)**

Equipe d'accueil :

**IPGP- Equipe de sismologie – UMR7154**

Financement : **Contrat doctoral avec ou sans mission d'enseignement**

---

### **Développement du sujet :**

La plupart des séismes suivent des lois d'échelle bien établies, qui relient notamment la durée de leur source à leur magnitude. Pour ces séismes classiques, les événements de magnitude 5 ne durent pas plus de quelques secondes, tandis que les séismes 1000 fois plus grands (magnitude 7) ne durent pas plus de quelques dizaines de secondes. Certains tremblements de terre sont toutefois connus pour s'écarter de ce comportement général, avec une durée plus longue et un contenu en hautes fréquences plus faible que ce que leurs magnitudes prédisent. L'un des exemples connus est celui des "tsunami earthquakes", dont la très longue durée est un indicateur fort de leur potentiel tsunami. Une autre catégorie intrigante est constituée par les VLFs («Very Low Frequency Earthquakes») qui sont presque indétectables par les outils de détection standard. À l'échelle mondiale, leur abondance doit encore être déterminée et leur rôle dans le cycle sismique doit être mieux compris.

Le premier volet de cette thèse s'attache donc à progresser dans leur détection systématique. Pour ce faire, cette thèse analysera les longues séries temporelles (>20 ans) fournies par les stations sismologiques large-bande des réseaux régionaux ou mondiaux (Geoscope, GSN en particulier). Une approche s'inspire des techniques de "template matching" et de "double différence" et permet de trouver des nouveaux événements sur la base de leurs similitudes avec des tremblements de terre connus. Une fois ces événements détectés (généralement à des fréquences basses à modérées), l'analyse de leur spectre complet nous permet de caractériser si leurs sources sont classiques ou originales. En plus de cette approche qui a déjà fait ses preuves, la thèse pourra s'orienter vers des approches exploratoires (utilisation de la covariance, apprentissage profond...) dans ce même but de détecter ces VLFs dans les données continues. L'objectif de ce premier volet observationnel est double : (1) déterminer si des VLFs se produisent dans des zones ou contextes dans lesquels ils n'ont pas été déjà identifiés et (2) améliorer leurs détections et localisations dans les zones où ils ont déjà été observés (par exemple la subduction de Ryukyu entre Taiwan et le Japon).

Le deuxième volet de cette thèse vise à mieux caractériser les VLFs détectés, en vue d'en obtenir une meilleure compréhension mécanique. Pour ce faire, un premier pas sera de déterminer leur fonction source, qui traduit comment et avec quelle complexité le moment sismique se relâche en fonction du temps. Des approches déconvolutives permettront d'y avoir accès et permettront de mieux appréhender l'origine du caractère basse-fréquence de ces sources : vient-il plutôt d'une source très longue ou plutôt d'une source très « lisse » ? Une dernière piste sera de construire des modèles de rupture physiques capables de rendre

compte des propriétés des fonctions source. Mécaniquement, l'origine des faibles radiations à haute fréquence des VLFES est souvent attribuée à des caractéristiques frictionnelles spécifiques de l'interface, à la transition entre un comportement instable (générant des séismes classiques) et stable (générant un glissement continu). Cette hypothèse pourra être testée en vue de reproduire les VLFES dans les différents contextes où ils auront été observés.

La réunion de ces deux volets doit permettre d'avancer à la fois dans la caractérisation et dans la compréhension de ces phénomènes basse fréquence. L'absence, comme l'abondance, de VLFES dans une zone de failles sont informatives sur la nature du contact à l'interface. Leur articulation avec les autres processus de déformation à l'œuvre dans les zones sismogènes (séismes lents, glissement stable, séismes classiques) pourra aussi être davantage documentée et interprétée.

***Collaborations prévues :***

- *Léonard Seydoux (IPGP) pour des approches systématiques de détection des VLFES (par apprentissage profond ou méthodes reposant sur la covariance)*
- *Pierre Dublanche (MINES ParisTech) pour les modélisations mécaniques des VLFES*