

Titre en français : **Sismicité multi-échelle : de l'expérience en laboratoire au système de failles naturelles**

Titre en anglais : **Multi-scale seismicity: from the laboratory to natural fault systems**

Keywords : **Seismicity, numerical modeling, rock mechanics**

Mots clés: **Sismicité, Modélisation, Mécanique de roche**

Ecole Doctorale : **Géosciences, Ressources Naturelles et Environnement (GRNE, ED 398)**

Spécialité : **Géosciences**

Unité de Recherche : **Laboratoire de Géologie de l'Ecole Normale Supérieure**

Etablissement de préparation de la thèse : **Ecole Normale Supérieure**

Année universitaire de 1^{ère} inscription en doctorat : **2025-2026**

Date de début de la thèse : **01/10/2025**

Date limite de candidature : **24/04/2025 for BRGM**

Direction de thèse : Hideo Aochi (BRGM)

Co-encadrant : Alexandre Schubnel (LGENS), Julie Maury (BRGM)

Modalités d'encadrement: **The PhD student will have a contract (36 months) with BRGM, and belong to the Unit "Impacts, monitoring and safety of underground uses" of the Decarbonated Energy Direction under the supervision of Hideo Aochi and Julie Maury. The main office is in Orléans, France. Besides, a part of this PhD. will be held at ENS Paris, under the supervision of Alexandre Schubnel. At LGENS, the PhD. student will belong to the Unit "Déformation et Structures". Training courses will be also available in PSL, as well as within the doctoral school GRNE.**

Selection by the supervisors and the BRGM should be carried out before submission to the ED (hopefully for the 19th May, 2025 or later). We start the selection process from the 28th April 2025 until the position is filled. The applications must include the following documents. 1) CV, 2) cover letter, 3) two names of reference, 4) transcript of grades (Bachelor's + Master's 1 & 2). The documents are sent to Hideo Aochi (h.aochi@brgm.fr).

Résumé du projet de thèse (4000)

Le processus de génération des tremblements de terre est hautement non linéaire et les paramètres physiques qui régissent le système naturel sont difficiles à contraindre. Pourtant, la sismicité naturelle présente un comportement statistique systématique (lois d'échelle, regroupement spatial et temporel, séquences de pré-secousse-secousse principale-réplique, susceptibilité aux petites perturbations). Dans le cadre du projet ANR PREMs (Prédictibilité des tremblements de terre et modèles mathématiques), nous cherchons à comprendre la physique derrière ces observables détectables.

L'objectif principal de cette thèse est d'examiner comment les simulations basées sur la physique peuvent contraindre la sismicité. D'une part, les expériences récentes en laboratoire fournissent désormais des catalogues microsismiques de haute qualité dans des conditions contrôlées. D'autre part, des modèles basés sur la physique ont été développés avec divers ingrédients tels que le frottement dépendant du taux et de l'état, l'hétérogénéité multi-échelle du frottement des failles, la distribution spatiale des failles sismogènes, ainsi que divers systèmes de chargement de contraintes. Dans ce projet, nous souhaitons d'abord commencer à modéliser l'échelle expérimentale, en mettant l'accent sur la question de la prévisibilité de la sismicité dans des conditions de laboratoire contrôlées. Dans une deuxième étape, nous espérons étendre notre modèle à l'échelle du terrain. Un étudiant très motivé devra travailler à :

- développer une méthode numérique basée sur la méthode des équations intégrales aux limites.
- effectuer des tests de sensibilité en modélisation numérique.
- analyser les résultats de simulation à l'aide de quantités statistiques.
- participer à des expériences en laboratoire
- analyser les catalogues de sismicité en laboratoire et sur le terrain

Summary of thesis project (4000)

Earthquake generation process is highly nonlinear and the physical parameters governing the natural system are difficult to constrain. Yet, natural seismicity exhibits some systematic statistical behavior (scaling laws, space and time clustering, foreshock-mainshock-aftershock sequences, susceptibility to small perturbations). In the framework of ANR project PREMs (Predictability of Earthquakes and Mathematical Models), we aim to understand the physics behind these detectable observables.

The main purpose of this thesis is to consider how physics-based simulations can constrain seismicity. On one hand, recent laboratory experiences now provide high quality of microseismic catalogs under controlled conditions. On the other hand, physics-based models have been developed with various ingredients such as rate- and state-dependent friction, multi-scale heterogeneity in fault friction, spatial distribution of seismogenic faults, as well as various stress loading system. In this project, we first aim to start modelling the experimental scale, emphasizing on the question of predictability of the seismicity in controlled laboratory settings. In a second step, we hope to extend our model to the field scale. A highly motivated student is expected to work to:

- develop numerical method based on the boundary integral equation method.
- Carry out sensitivity tests in numerical modeling.
- Analyze the simulation results through statistical quantities.
- Participate to laboratory experiments

- Analyze laboratory and field seismicity catalogs

Thématique : **Earthquake science**

Domaine : **Geosciences**

Objectifs: **Establishing physics-based simulation for the seismicity, emphasizing on the possible modulation of the seismicity due to various stress loading before a catastrophic one for exploring the predictability of the earthquakes.**

Context : **This PhD project is a part of the ANR project PREMs. The PhD student is expected to actively exchange and collaborate with the researchers in the host laboratories, the partners and international collaborators.**

Méthode :

- **Numerical modeling: Boundary integral equation method**
- **Laboratory experience: Triaxial apparatus at ENS.**

Résultats attendus :

- **Conceptual model, numerical code, experimental datasets, scientific publications**

Références bibliographiques

- Aochi and Ide (2009). Complexity in earthquake sequences controlled by multi-scale heterogeneity in fault fracture energy, JGR. <https://doi.org/10.1029/2008JB006034>
- Colledge et al. (2023). Susceptibility of microseismic triggering to small sinusoidal stress perturbations at the laboratory scale, JGR. <https://doi.org/10.1029/2022JB025583>

Conditions scientifiques matérielles

The PhD student will have a contract (36 months) with BRGM in the framework of ANR PREMs project (2025-2028). The working environment (incl. computing facility and laboratory experiments) is guaranteed by the BRGM and LG-ENS.

Ouverture internationale et collaborations envisagées :

We seek an internationally competitive and highly motivated student. It is expected to collaborate with the researchers from the University of Tokyo, in particular, and participate actively in the international communications.

The PHD student is expected to work collaboratively with different researchers and students within BRGM, ENS and the other partners of the project PREMs.

Objectifs de valorisation des travaux de recherche du doctorat : diffusion, publication et ...

All the results obtained during the PhD thesis are asked to publish in different forms (thesis, scientific articles, database, numerical programs), according to the Open Science policy.

Caractère confidentiel de la thèse : non

Lien web :

PROJECT ANR PREMs: <https://aochihi.github.io/anr-prems/>

ED GRNE: <https://ed398.sorbonne-universite.fr/>

BRGM: <https://www.brgm.fr/fr>

LG ENS: <https://www.geologie.ens.fr/>

Type de financement du projet doctoral : ANR

Date de début de financement : 01/10/2024

Date de fin du financement : 31/12/2028

Origine du financement : ANR

Employer : BRGM

Etat du financement : acquis.

Profil et compétences recherchées :

- Master en Sciences de la Terre, Physique ou Ingénierie
- Motivation et capacité de travail en équipe
- Programmation en Matlab, Python ou autre logiciel scientifique
- Rédaction et lecture d'articles scientifiques
- Des connaissances préalables en modélisation numérique ou en techniques expérimentales sont un plus

Profile and skills required :

- Master's degree in Earth Sciences, Physics or Engineering
- Motivation
- Capacity of work in a team
- Programming in Matlab, Python or other scientific software
- Prior knowledge in numerical modelling or experimental techniques is a plus
- Writing & reading scientific papers

Niveau de français : **A1**. Conversational french is welcomed

Niveau d'anglais requis : **C1**. Scientific and conversationnal english are required