



ED 398 Geosciences, Natural Resources and Environment

PhD thesis job offer for the 2021-2022 academic year

Variations des propriétés physiques des zones de failles au cours du cycle sismique

Adresse courriel du contact scientifique : marion.thomas@sorbonne-universite.fr

Description du projet de thèse :

Une zone de faille active est un objet complexe, en perpétuelle évolution face aux contraintes mécaniques externes. Dans la partie cassante de la croûte, on observe du glissement sur le plan de faille en réponse à ces forçages. On observe une grande **variabilité des vitesses de déformation** qui couvrent un continuum allant du mm/an au m/s. Par ailleurs, les études de terrain et les expériences en laboratoire, ont montré l'existence d'un **fort couplage entre la dynamique de glissement et l'évolution de l'organisation** (au sens thermo-mécanique) **du milieu environnant**. Ces observations suggèrent qu'elles exercent l'une sur l'autre une forme de rétro-contrôle. Afin d'améliorer **notre capacité à évaluer la taille, la magnitude et la récurrence des séismes**, ces deux objets doivent donc être étudiés comme un système unique d'accommodation des contraintes et non plus comme deux entités distinctes.

Ce projet de thèse découle de la nécessité de rassembler l'expertise accumulée dans les domaines connexes qui s'intéressent aux failles actives et à la mécanique de la fracture. En se basant sur l'expertise complémentaire des co-encadrants, nous proposons de **faire le lien entre les observations géologiques** (L. Jolivet) **et la modélisation micromécanique** (M. Thomas) du comportement des zones de failles. En s'appuyant sur les outils numériques, l'étudiant(e) étudiera l'évolution **des propriétés physique du milieu en fonction du glissement sur les failles et leur impact, en retour, sur le mode de déformation et l'aléa sismique**. Sous la tutelle de L. Jolivet, les modèles seront validés selon leur aptitude à reproduire les observations géodésiques, sismologiques et géologiques. Ils permettront également de **déterminer les observables pertinentes à documenter sur le terrain**. De ce point de vue, le projet de thèse propose une véritable démarche d'aller-retour terrain-modèles. De manière plus spécifique, la thèse comprendra deux volets complémentaires qui allient numérique et terrain (deux stages de Terrain dans les cyclades et à Taiwan sont prévus).

Partie I # - Evolution des propriétés élastiques de l'encaissant au cours du cycle sismique.

Motivation : L'endommagement créé lors de ruptures dynamiques entraîne un changement des propriétés élastiques du milieu, suivi par un recouvrement partiel des valeurs présismiques. Ces changements ont impact majeur sur la rupture sismique et pendant la période postsismique. Cela implique des variations temporelles de couplage et influe sur les répliques (impact sur l'estimation de l'aléa sismique).

Méthodologie : Implémentation d'une loi de cicatrisation des microfractures dépendant de la température et de la contrainte différentielle dans le modèle micromécanique existant. L'évolution de la quantité d'endommagement au cours du temps sera ensuite traduite en termes de loi d'évolution des modules élastiques après un séisme. Ces lois empiriques seront intégrées dans un modèle dynamique pour examiner l'effet sur plusieurs cycles sismiques. Ces résultats seront ensuite comparés à l'analyse géodésique et géologique des failles actives, à Taiwan et dans la région égéenne.

Partie II # - Variation temporelle de la perméabilité et de la pression des fluides.

Motivation : Plusieurs études ont souligné l'importance de la présence de fluides dans le comportement des zones de failles : variations de la vitesse de fluage, production de tremors, propagation des séismes majeurs dans la zone qui flue, influence sur le degré de couplage, et migration des slow slip events. Aujourd'hui, l'effet de la perméabilité et de la pression des fluides sur la rupture cosismique a été intégré dans les modèles mais l'impact sur la période entre les séismes majeurs est ignoré.

Méthodologie : Implémentation, dans le modèle micromécanique, d'une loi reliant la perméabilité à la densité des fractures afin de déterminer la pression interstitielle, pour des conditions aux limites prédéfinies. En lien avec la

partie I, on pourra alors de regarder l'évolution de la pression de fluides dans la zone de faille au cours du temps, ses effets sur le glissement et sur l'évolution de l'endommagement. Par la suite, les résultats seront intégrés dans un modèle de cycle sismique, ce qui permettra d'explorer le rôle des fluides au cours du temps et son influence sur la nucléation de nouveaux séismes. Ces développements seront comparés aux études des détachements dans les Cyclades, pour lequel L. Jolivet s'est intéressé à la présence des fluides en lien avec le déplacement cosismique. Une comparaison sera également effectuée avec Taiwan pour lequel une variation saisonnière du fluage, liée aux changements de pression du fluide interstitiel, est observée.

Spatio-temporal variations of fault zones physical properties during the seismic cycle.

Detailed description of the PhD thesis project:

Active fault zones are complex objects constantly evolving in response to external mechanical constraints. In the brittle part of the crust, the deformation is rather localized, and the accumulated stresses are essentially released along main fault planes. **Slip rate span a continuum ranging from mm/yr to m/s.** Moreover, numerous field studies, laboratory experiments, and geophysical observations, have highlighted the **strong coupling existing between sliding dynamics and the mechanical evolution of the surrounding medium.** Indeed, the properties of the bulk evolve with fault slip, which in turn influences the mode of deformation. In order to improve our ability to **assess the potential size, magnitude and recurrence of earthquakes,** bulk and faults must therefore be studied as a single system of stress accommodation and no longer as two distinct entities.

By relying of the complementary expertise of the two advisors, this PhD project aims to bring together the cumulative knowledge of two related fields: study of active faulting and fracture mechanics. Using numerical tools, the PhD candidate will study **the evolution of the Thermo-Hydro-Mechanical properties of fault systems as a function of sliding and the counter-impact on the deformation mode** (seismic vs aseismic) and **seismic hazard.** Then, the theoretical development will be tested according to their ability to reproduce geodetic, seismological and geological observations. Models will also help to **identify the relevant parameters to document in the field or using geodesy.** Thus, this proposal implies a true back-and-forth approach between numerical models and observations. More specifically, the PhD project will be subdivided in two complementary tasks that combine numerical development and field work (two field trips in the Cyclades and in Taiwan are planned).

TASK #1 - Evolution of bulk properties between major earthquakes

Motivation: Coseismic damage triggers a dynamic change of elastic properties in the medium, followed by a partial recovery of the preseismic values during the postseismic period. These changes in bulk properties not only impact the seismic failure but also the postseismic period. Therefore, it has strong implications on the determination of fault coupling and the localization of aftershocks (impact on seismic hazard assessment).

Methodology: Using our micromechanical code, the PhD student will implement a crack healing law that depends on differential stress and temperature. The evolution of damage density over time will then be translated in terms of an empirical law that describes the evolution of elastic moduli in the bulk after an earthquake. This law will be added to a quasi-dynamic code to look at its effect over several seismic cycles. These results will be later compared to the geodesic and geological analysis of the active faults, in Taiwan and in the Aegean region.

TASK #2 - Temporal variation of permeability and fluid pressure with damage

Motivation: Studies have underlined the key role fluids play on fault behavior: seasonal variation of creep, tremors generation, propagation of seismic rupture into aseismic patches, influence on the interseismic coupling and migration of slow slip events. Today, numerical codes that reproduce seismic cycles take into the effect of fluid pressure during seismic events (e.g., thermal pressurization) but not between earthquakes.

Methodology: Implementation, inside our micromechanical code, of a law that relates the permeability to the density of cracks. Relying on the results obtained for task#1, this will allow to determine the evolution of fluid pressure in the fault core after an earthquake, its impact on the sliding dynamics and on the evolution of damage density.

Subsequently, the results will be integrated into a seismic cycle model, to explore the role of fluids over time and its influence on the nucleation of new earthquakes. These new developments will be compared to studies of fault detachments in the Cyclades, where L. Jolivet & collaborators have looked at the presence of fluids in relation to fault displacement. Comparison will also be made with Taiwan where seasonal variation of creep, related to changes in pore fluid pressure are observed.

Compétences et connaissances requises :

Diplôme requis :

Le candidat au poste devra posséder un diplôme de master (ou équivalent) en sciences de la Terre avec une spécialité en géologie et/ou en géophysique.

Connaissances et compétences requises :

Le candidat devra posséder des connaissances en géologie structurale et avoir déjà réalisé des stages de terrain pendant son cursus.

Il devra également avoir des connaissances de bases sur l'utilisation des outils informatiques type Matlab et/ou fortran.

Connaissances et compétences souhaitées :

Le candidat aura de préférence une expérience en développement de code numérique.

Le candidat aura déjà travaillé sur le cycle sismique.

Savoir être requis :

Rigueur, curiosité, capacité à travailler en groupe.

Selection criteria

Required diploma:

At the time of starting the post, the PhD candidate must have a master degree (or equivalent) in Earth sciences with a specialty in geology and/or geophysics.

Essential knowledge and skills:

Demonstrable knowledge in structural geology and fieldwork experience.

Basic knowledge of Matlab and/or FORTRAN (or equivalent).

Desirable knowledge and skills:

Demonstrable aptitude in computer programming and developing numerical codes.

Experience of working on the seismic cycle.

Essential social skills:

Rigor, curiosity, ability to work in a team.