

Sujet de thèse - **Bilan énergétique, contraintes et déformations à l'échelle du cycle sismique dans la partie frontale des prismes d'accrétion.**

Université de Lorraine – laboratoire GeoRessources - Nancy



Encadrement

Direction : Yann Gunzburger, Professeur, GeoRessources

Co-Direction : Marianne Conin, Maître de conférences, GeoRessources

Contexte et motivations de la thèse

Les zones de subduction sont connues pour être le lieu de génération des méga-séismes et des méga tsumani (e.g. Heuret et Lallemand, 2011). La sismicité y résulte du frottement entre les plaques chevauchante et subduite. Elle est principalement liée à l'état de contrainte sur l'interface, et à la capacité de certaines portions de l'interface à se bloquer au cours du cycle sismique (e.g. Perfettini et al., 2010). Ces portions bloquées vont accumuler de la déformation élastique jusqu'à atteindre leur résistance ultime puis rompre et glisser sur de larges distances, relâchant ainsi les contraintes accumulées. Le comportement mécanique de l'interface est décrit par le modèle de « rate and state » (deDietrich, 1992 ; Scholz, 1999 ; Perfettini et al., 2010 ; Barbot, et al, 2012 ; Lapusta et al, 2008), qui prédit un adoucissement progressif du frottement sur la faille lorsqu'elle glisse sur une distance critique, à forte vitesse. Passée cette distance, la résistance de la faille devient faible ce qui favorise la propagation de la rupture co-sismique. Cet adoucissement a été montré lors d'expériences de frottement en laboratoire à vitesse rapide sur des surfaces planes (e.g. Di Torro et al., 2011, Ujje et al, 2017, Remitti et al, 2012; Ikari et al, 2015), et est largement favorisé par la présence d'eau dans des conditions non drainées. De son côté, l'énergie élastique accumulée avant la rupture sismique est dissipée sous forme de glissement sur les failles, de chaleur, d'ondes sismiques et par plastification du milieu (e.g. Kanamori et al 1997 ; Kanamori et Brodsky, 2004).

La magnitude des séismes dépend donc à la fois de la capacité du système à accumuler de l'énergie et de sa capacité à la restituer. Etablir un bilan énergétique avant un séisme, et comprendre comment l'énergie va se dissiper dans le milieu fracturé est donc l'un des enjeux primordiaux en sismologie.

L'énergie contenue dans un prisme d'accrétion dépend du (i) travail des forces de gravité, liées à la topographie et au poids des terrains ; (ii) travail des forces de frottement sur les failles, liées à leur frottement statique et à leur orientation par rapport à l'état de contraintes; (iii) des déformations dans le matériau, (iv) de la propagation de la rupture; (v) de la radiation de l'énergie sismique ; et (vi) travail des forces externes (e.g. Herbert et al., 2015 ; Passelègue et al. ,2016 ; McBeck et al., 2018, 2019 ; Aben et al., 2019). Le bilan est équilibré si le l'ensemble des cinq premiers travaux égale le dernier (Cooke and Madden, 2014), et des travaux récents suggèrent que les travaux des forces de frottement et de propagation de la rupture dominent les 3 autres lors de la construction des prismes d'accrétion (McBeck et al, 2018) et des ruptures sismiques (e.g. Okubo et al, 2019). Les forces de gravité et de déformations internes dans le prisme sont donc souvent négligées lors des bilans énergétiques. Pourtant, au cours du séisme de Tohoku de mars 2011, près de la fosse, le front de la marge s'est déplacé de 62m vers la mer (e.g. Sun et al, 2017), des observations de rupture en traction ont été faites sur le plancher océanique et les failles satellites ont fonctionné en failles normales (Conin et al., 2012 ; Cubas et al ; 2013) suggérant un effondrement gravitaire du front de la marge et une rupture jusqu'à la fosse. Cette observation a également été réalisée dans la zone de subduction des Aluetiennes (Becel et al, 2017). Dans ce cas précis, et très proche du front de la marge, donc d'un bord libre, la plasticité de la plaque supérieure et l'effet gravitaire semblent avoir joué un rôle majeur dans l'intensité du tsunami (Romano et al, 2014) voire

dans la propagation de la rupture à la fosse. Elle n'est pourtant pas prise en compte dans les bilans énergétiques qui se focalisent sur l'interface de subduction (e.g. Brodsky et al, 2020). Par ailleurs, dans le cas de Tohoku et de Nankai, l'interface de subduction n'est pas plan (e.g. Chester et al, 2018). Il s'agirait plutôt de système de duplexes avec plusieurs failles qui jouent en même temps, au moins pendant l'intersismique. Cette géométrie questionne les scientifiques. Il s'agit notamment de comprendre si ce sont ces mêmes structures sinueuses qui jouent pour accommoder la construction des prismes sur le long terme et pour accommoder le glissement co-sismique, ce qui pourrait changer le calcul de l'énergie dissipée pendant le glissement (e.g. Kanamori et Brodsky, 2004).

Dans les prismes d'accrétions de Nankai et du Nord Japon, la quantité de données de terrains, notamment les profils sismiques (géométrie de la marge et de l'interface de subduction), les mesures sismologiques, les données de forages océaniques IODP (fracturation, état de contraintes, rhéologie, pressions de fluides) et les mesures de laboratoires sur les échantillons collectées permettent de quantifier une partie des travaux des forces à un moment donné (e.g. Ismat, 2009 ; Meade, 2013; Fulton et al., 2013; Savage et al., 2014 ; Coffey et al., 2019 ; Brodsky et al, 2020 ; Lin, Conin et al, 2012, Conin et al, AGU abstract 2019) et donnent une formidable opportunité de modéliser l'énergie stockée dans la partie frontale de ces marges avant un très probable méga séisme dans le cas de Nankai (McBeck et al 2020), et avant celui qui a eu lieu à Tohoku en mars 2011.

Objectifs de la thèse

Le premier objectif est d'établir un bilan énergétique à l'échelle du front des marges de Nankai et du Nord Japon à partir d'une modélisation numérique hydro-géomécanique 3D, pour comprendre la capacité du massif fracturé à accumuler de l'énergie avant un séisme. Les modélisations seront effectuées à l'aide du logiciel de modélisation aux éléments distincts 3DEC V7, qui possède une loi de rate and state pour les failles, et la possibilité de simuler un effondrement gravitaire au front de la marge. Le calage des paramètres (perméabilité et frottement sur l'interface, géométrie de l'interface, propriétés mécaniques des matériaux, densité de fracturation et propriétés équivalentes, topographie, état de contraintes, ..), se fera à partir des données de terrains acquises au cours des missions IODP, et de la bibliographie. Les résultats seront comparés aux bilans énergétiques effectués par McBeck et al, 2018, et McBeck et al., 2020 à partir de modélisations numériques et analogiques dans les prismes d'accrétions, ainsi qu'aux observations post-sismiques effectuées dans la zone de Tohoku et au bilan énergétique basé sur le comportement de l'interface proposé par Brodsky et al, 2020.

Le second objectif est de comprendre comment se propage la rupture le long d'une surface complexe, organisée en duplex, et si le comportement observé est identique à vitesse lente, ou élevée. Pour cela l'étudiant.e procèdera à une série d'expériences de cisaillement lents puis rapides sur des géométries de failles en duplex. Ces expériences se feront sur la machine de cisaillement de joint disponible au laboratoire. Cette machine, assez unique en France et remise à neuf en 2020, permet désormais de réaliser des expériences de frottement à variation de vitesse contrôlée, à contrainte normale fixe, mais également à raideur normale contrôlée, ce qui un constitue un réel atout pour comprendre le fonctionnement des failles en milieu confiné. Les géométries seront imprimées en 3D avec un matériau de type sable et liant dont nous maîtrisons toutes les propriétés (e.g. thèse d'Emilio Abi Aad en cours, Jaber et al, 2020).

Enjeux pour le doctorant - Collaborations et conditions de réalisation

Outre les publications scientifiques, l'étudiant.e pourra valoriser ses travaux expérimentaux en géomécanique, ainsi que ses travaux en modélisation numérique auprès de nombreux acteurs scientifiques et techniques (CNRS, universités nationales et internationales). Cette thèse permettra également pour l'étudiant.e d'utiliser des données de forage d'expéditions IODP et d'interagir avec la communauté internationale de forages océaniques, des zones de subduction, et de la sismologie.

L'étudiant.e en thèse se situera au laboratoire GeoRessources, à Nancy. Il / Elle bénéficiera de l'expérience de ses directeurs de thèse en modélisation numérique mécanique (e.g. Conin et al, 2012 ; Jaber

et al, 2020 ; DeSantis et al, 2019 , DeSantis, 2020), en calculs énergétiques (Hauquin et al, 2018), ainsi qu'en travaux expérimentaux sur le cisaillement des failles (e.g. Jaber et al. 2020, Jaber et al. 2021), et sur les données de terrains (M. Conin, et a fait partie des campagnes IODP menées à Nankai et à Tohoku). Par ailleurs, le laboratoire GeoRessources possède une forte expertise en mécanique des roches, reconnue nationalement et internationalement, et s'intéresse depuis longtemps au fonctionnement des failles.

Il/Elle bénéficiera également de de collaborations avec P. Souloumiac (Univ. Cergy) qui travaille sur les bilans d'énergie dans les prismes d'accrétion à partir de modèle en boîte à sables, et N. Cubas (IsteP) qui travaille sur le lien entre la morphologie des prismes, et le couplage mécanique de l'interface de subduction. Il/Elle sera amené.e à discuter régulièrement avec la communauté nationale et internationale travaillant sur ces sujets, et devra présenter ses travaux dans des congrès internationaux. Un comité de suivi de l'étudiant.e se réunira 1 fois par an pour suivre les avancées de la thèse.

Compétences recherchées du / de la candidat.e

Le profil de le ou la candidat.e recherché est celui d'un.e tectonicien.e ou mécanicien.ne des roches. Il est préférable que la personne se sente à l'aise avec les calculs de mécanique des milieux continus (contrainte, déformation), ainsi qu'avec la modélisation numérique et/ou le travail expérimental.

Dossier de candidature

L'étudiant.e devra envoyer un dossier de candidature à Marianne Conin (marianne.conin@univ-lorraine.fr), et Yann Gunzburger (yann.gunzburger@univ-lorraine.fr) comprenant :

1. Un CV
2. Une lettre de motivation explicitant ce qui vous intéresse dans ce sujet, et pourquoi votre parcours est en adéquation avec les compétences recherchées.
3. Si possible 2 personnes à contacter pour recommandation.

La date limite d'envoi du dossier de candidature est fixée au 20 juin 2021.

Un certain nombre de dossiers seront sélectionnés pour une audition qui se déroulera fin juin / début juillet.

N.B. : le laboratoire GeoRessources étant sous le régime de ZRR (Zone à Régime Restrictif), il sera demandé à la/le candidat.e retenu.e de déposer un dossier administratif auprès du Ministère de l'Intérieur pour validation définitif de la candidature.