

Modélisation numérique des caractéristiques de la rupture de surface observées lors du séisme du Balochistan de 2013 (Mw7.7).

Contexte des travaux

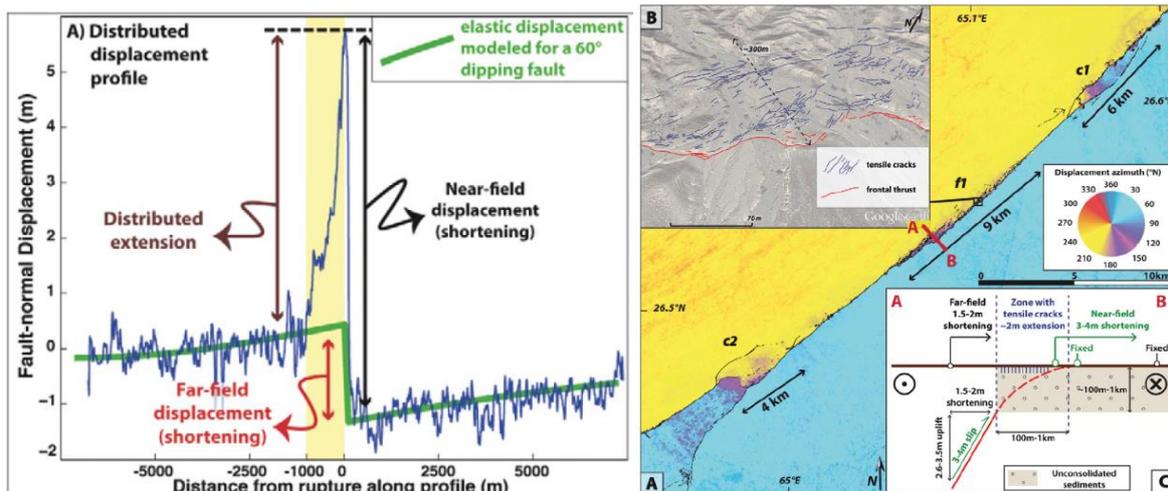
Le développement de la géodésie permet de mesurer de façon précise sur toute la longueur de la faille la rupture de surface lors des séismes. Les grands séismes récents nous indiquent que la quantité de glissement en surface est très variable et complexe (impact de la géométrie des segments, de la nature du sous-sol, de la source sismique, etc.). La rupture en surface constitue une menace pour les infrastructures construites à proximité immédiate d'une faille ainsi qu'un possible facteur aggravant des mouvements du sol. La quantification de l'aléa sismique pour un site situé à proximité d'une faille passe donc par une évaluation du risque de rupture de surface.

Au-delà cet enjeu, le glissement en surface présente l'avantage d'être un observable direct de la rupture. Nous devons comprendre comment les caractéristiques physiques de la rupture et du séisme sont reliées à celles de la rupture de surface afin d'améliorer la connaissance sur les séismes.

En 2013, un grand séisme (M7.7, 250km de rupture) décro-chevauchant a eu lieu au Balochistan. Les ruptures de surface ont été étudiées finement à l'aide de techniques d'imagerie et ont montré une diversité de caractéristiques : relais, modification du rapport entre composantes horizontale et verticale, variations de pendage, variations du taux de déformation en champ proche, etc.

Objectifs du stage

Les travaux d'A. Vallage et al. (2015) ont montré que le déplacement mesuré en champ proche (à proximité de la rupture) s'écartait notablement de la prédiction d'un modèle simple en champ lointain (impact probable de la géométrie de la faille, de la nature des roches). Ces observations uniques sont essentielles pour la validation des modèles prédictifs des déformations et ruptures de surface. Deux situations particulières semblent être à l'origine des observations les plus marquantes : changement de pendage de la faille à proximité de la surface et relié entre deux portions de failles (voir figure ci-dessous). Nous proposons de reproduire ces observations grâce à travers une modélisation numérique du séisme du Balochistan qui fera le lien entre champ de contrainte, géométrie de la faille et processus de rupture. Cela permettra de comprendre quelles caractéristiques physiques (géométrie de la faille, nature des roches, champ de contrainte ambiant, effets dynamiques = surface libre + rupture de surface) permettent d'expliquer les observations. Cette première étape vers la validation des modèles de rupture permettra à terme de mieux anticiper les caractéristiques des ruptures de surface (scénarios possibles et incertitudes associées) qu'il faut quantifier dans les études d'aléa sismique. Dans cette optique également, l'impact spécifique de la rupture de surface sur les mouvements sismiques pourra être étudié et discuté.



Caractéristiques du déplacement mesuré autour de la rupture. Figures extraites de Vallage et al (2015). La figure de droite montre un accroissement de la quantité de déplacement à proximité de la rupture principale. Celle de droite illustre la segmentation apparente de la trace de la rupture.

Tâches principales envisagées

- Prise en main du modèle numérique de rupture dynamique existant (2D et 3D) écrit en f90 + outils de paramétrisation et visualisation en matlab à l'aide de modèles simples;
- Implémentation de plusieurs modèles correspondants à différents cas d'étude (du plus simple au plus complexe – allant de 2D à 3D) : 1) changement de pendage en surface (2D possible), sans puis avec failles secondaires, 2) relai entre segments, 3) modélisation du processus de rupture du séisme complet sur faille courbe;
- Présentation des travaux réalisés sous forme de séminaires d'équipe et rédaction d'un rapport de synthèse.

Méthodes et moyens techniques

L'outil principal du stage est un code de calcul de rupture spontanée de faille 3D dans un demi-espace (technique des éléments frontières et équations intégrales) permettant de modéliser la propagation de la rupture sur des portions de failles préexistantes. L'avantage de cette méthode est de pouvoir modéliser la complexité géométrique 3D des failles, et donc leurs variations de pendage et leurs différents segments. Le candidat devra être intéressé par le calcul numérique (développement de scripts matlab et/ou python, exécution de calculs parallèles).

Modalités pratiques

Le stage se déroulera au sein de [l'équipe d'aléa sismique de l'IRSN](#) (Fontenay-aux-Roses, 92). L'étudiant sera co-encadré à l'IPGP et pourra passer le temps nécessaire à l'IPGP.

Durée souhaitable 6mois (max) – possibilité de démarrer la prise en main du code progressivement avant le stage (à adapter en fonction de l'emploi du temps du candidat).

Contacts : sebastien.hok@irsn.fr , klinger@ipgp.fr

NOTA BENE : le recrutement au sein de l'IRSN est subordonné à un retour favorable de l'enquête de sécurité. Compte tenu des temps nécessaires à la constitution du dossier et au déroulement de l'enquête de sécurité le calendrier prévu est le suivant :

- *Date limite pour le dépôt des candidatures 17 novembre 2017 ;*
- *Entretiens scientifiques deuxième quinzaine de novembre ;*
- *Date limite pour le dépôt du dossier de sécurité 11 décembre 2017 ;*
- *Démarrage du master à partir de février 2018 (date exacte dépendant du retour du dossier de sécurité et du calendrier des formations).*

Bibliographie

Vallage, A., Y. Klinger, R. Lacassin, A. Delorme, and M. Pierrot-Deseilligny (2016), Geological structures control on earthquake ruptures: The Mw7.7, 2013, Balochistan earthquake, Pakistan, *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2016GL070418.

Zinke, R., J. Hollingsworth, and J. F. Dolan (2014), Surface slip and off-fault deformation patterns in the 2013 MW7.7 Balochistan, Pakistan earthquake: Implications for controls on the distribution of near-surface coseismic slip, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 15, 5034–5050, doi:10.1002/2014GC005538.

Vallage, A., Y. Klinger, R. Grandin, H. S. Bhat, and M. Pierrot-Deseilligny (2015), Inelastic surface deformation during the 2013 Mw7.7 Balochistan, Pakistan, earthquake, *Geology*, 43, 1079–1082.

Zhou, Y., J. R. Elliott, B. Parsons, and R. T. Walker (2015), The 2013 Balochistan earthquake: An extraordinary or completely ordinary event?, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 6236–6243, doi:10.1002/2015GL065096.

Jolivet, R., et al. (2014), The 2013 Mw 7.7 Balochistan earthquake: Seismic potential of an accretionary wedge, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 104, 1020–1030.

Avouac, J. P., F. Ayoub, S. Wei, J. P. Ampuero, L. Meng, S. Leprince, R. Jolivet, Z. Duputel, and D. Helmberger (2014), The 2013, Mw 7.7 Balochistan earthquake, energetic strike-slip reactivation of a thrust fault, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 391, 128–134.