



Sujet proposé pour un début de contrat en octobre 2019

TITRE du SUJET : Origines et conséquences des réorganisations tectoniques globales à partir de l'étude des frontières de plaques océaniques

Directeur (trice) :

COLTICE Nicolas, Professeur, nicolas.coltice@ens.fr

Co-encadrant(e) : *choisir éventuellement un.e co-directeur.trice avec HDR ou un.e coencadrant.e sans HDR supprimer les mots inutiles et ceux en italique*

Mathieu Rodriguez, situation en attente pour fin 2019,
mathieu.rodriguez@ens.fr ; Jean-Arthur Olive, CR CNRS, jean-arthur.olive@ens.fr ;
Nicolas Chamot-Rooke, CR CNRS,
rooke@biotite.ens.fr

Equipe d'accueil : à préciser et supprimer la ligne inutile

ENS- Laboratoire de Géologie de l'ENS- UMR 8538

Financement : **Contrat doctoral de l'Ecole Normale Supérieure (CDSN)**

Plus de renseignement voir : <http://ed560.ipgp.fr>, Rubrique : Offres_de_thèse
Il est indispensable de faire acte de candidature sur le site de l'Ecole doctorale

Développement du Sujet : (1 à 2 pages)

Si la tectonique des plaques se manifeste principalement par de longues périodes de mouvement uniforme et continu, des événements géologiques abrupts peuvent entraîner une reconfiguration complète de la géométrie des frontières et de la cinématique des plaques, ceci en l'espace de quelques millions d'années seulement (durée inférieure à 5 Ma). Ces événements sont connus sous le nom d'épisodes de réorganisation globale des plaques (**Global Plate Reorganization Events, GPRE**), et peuvent modifier en profondeur les transferts de chaleur et d'éléments chimiques à la surface de la Terre. Par exemple, la cinématique globale entre 60 et 40 millions d'années montre des changements de configuration des frontières de plaque observables dans tous les océans du globe d'après les reconstructions à grande échelle. Des études récentes suggèrent des liens directs entre la formation des systèmes de rifts et dorsales, les réactions hydrothermales et l'évolution des concentrations atmosphériques en gaz à effet de serre à l'échelle des temps géologiques (Brune et al., 2017).

Bien que ces événements de réorganisation représentent un facteur majeur d'évolution de la planète, les manières dont ils opèrent et leurs causes restent inconnues. Les hypothèses vont de changements de forces au sein de la lithosphère (Rona et Richardson, 1978), à l'impact de panaches provenant de la frontière noyau-manteau (Cande et Stegman 2011), en passant par l'initiation ou l'arrêt de zones de subduction (Matthews et al., 2012). La difficulté de dépasser le stade d'hypothèse provient (a) du

manque de données globales et synchrones documentant finement ces évènements et (b) de la quasi absence de modèle dynamique incorporant la physique de la lithosphère et du manteau terrestre à l'échelle globale. Ce sujet de thèse propose de surmonter ces difficultés afin d'apporter des réponses aux questions des modalités des réorganisations globales et de leurs moteurs.

L'originalité de la démarche est de combiner des observations des fonds marins sur des cas d'études ayant particulièrement bien enregistré les épisodes de GPRE, et des modèles numériques de la dynamique couplée manteau-lithosphère à l'échelle globale. L'équipe encadrante possède cet amalgame unique dans un même environnement : expertise en géophysique marine et collecte de données en mer (Rodriguez et al., 2011, 2018; Delescluse et Chamot-Rooke, 2007), modélisation dynamique à l'échelle régionale des frontières de plaques (Olive et al., 2010), et modélisation dynamique à l'échelle globale (Coltice et al., 2017).

Pour comprendre la sensibilité des frontières de plaques océaniques aux GPRE nous souhaitons donc:

- a) identifier finement les modes de déformation lithosphériques au moment de plusieurs évènements GPRE à partir de nouveaux cas d'études de frontières divergentes et transformantes situées dans l'Océan Indien et l'Atlantique ;
- b) discriminer à l'aide d'étude géologiques et cinématiques détaillées quels épisodes de déformation au niveau d'une frontière dépend de GPRE ou de changements locaux des propriétés mécaniques de la lithosphère océanique ;
- c) caractériser les propriétés mécaniques des lithosphères océaniques impliquées au moment de chaque GPRE pour les frontières étudiées ;
- d) quantifier le lien avec l'écoulement convectif dans le manteau terrestre.

Pour ce projet de doctorat, nous proposons de focaliser le travail sur la sensibilité des océans Indien et Atlantique aux GPRE du Cénozoïque. L'enregistrement géologique de cette période est complet, et couvre ainsi les bordures de l'Eurasie, l'Afrique, l'Inde, l'Indonésie et l'Australie, qui se sont rapprochés à la faveur de la fermeture d'un grand océan zonal (la Néotéthys et ses annexes). Cette histoire à long terme est ponctuée de multiples réorganisations globales (à **105 Ma**, Jolivet et al., 2016; à **74 Ma**, Cande and Patriat, 2015, Rodriguez et al., 2019; à **47 Ma**, Muller et al., 2016 ; à **24 Ma**, Patriat et al., 2008; à **8 Ma**, Chamot-Rooke et al., 1993). La simulation des évènements de réorganisation tectoniques globaux dans les modèles et leur dépendance aux paramètres physiques utilisés aux configurations d'écoulements convectifs permettra de poser un cadre théorique complémentaire des observations en mer. Le doctorant ou la doctorante concentrera l'analyse des modèles sur les GPRE analogues à ceux observés lors du Cénozoïque.

Le premier objectif de la thèse (1ère année de thèse) est de caractériser les modes de déformation lithosphérique mis en jeu lors des GPRE à partir de données inédites de bathymétrie multifaisceaux, de sismique réflexion et de magnétisme, collectées par les membres de l'équipe encadrante sur la dorsale Atlantique (campagne ODEMAR, 2013 - <https://tinyurl.com/y8yqyaix>) et sur la dorsale de Carlsberg et la Transformante d'Owen dans l'Océan Nord Ouest Indien (campagnes VARUNA - <https://tinyurl.com/ydgybplb> et CARLMAG - <https://tinyurl.com/y88chqn3> - acquisition Mars-Avril 2019). Ces données permettront d'identifier des structures tectoniques caractéristiques de l'état thermique, magmatique et rhéologique de la lithosphère à l'axe des dorsales et au niveau des failles transformantes au moment de chaque GPRE (ex. Olive et al., 2010; 2015). Les modes d'évolution structurale de ces deux zones d'étude seront comparés aux autres frontières ayant subi les mêmes GPRE (seule une dizaine de frontières transformantes océaniques suffisamment étudiées à ce jour). La comparaison portera sur des paramètres simples : longueur du système de faille, longueur du décalage accumulé par la faille, âge et épaisseur des lithosphères océaniques impliquées, taux de mouvement relatif au cours du temps, présence ou non de zone serpentinisée.

Le second objectif de la thèse (2^o année) est d'utiliser des modèles globaux de dynamique du manteau présentant une tectonique de surface pour faire un pas en avant sur la compréhension des interactions entre les différents moteurs impliqués lors d'un GPPE, la contribution relative de chacun des éléments restant difficile à évaluer par la seule observation des océans. Les modèles numériques permettent désormais de modéliser des systèmes de Terre théoriques, à l'échelle globale (Mallard et al., 2016 ; Coltice et al., 2017). Ces modèles couplent la convection dans le manteau terrestre et la déformation de la surface. Ils produisent naturellement une tectonique de surface comparable à la Terre. Les modèles sphériques génèrent des réorganisations des limites et des vitesses de plaques, à des rythmes similaires à ceux observés : la fragmentation de plaques, ou des variations de vitesses s'opèrent à la fois régionalement et de manière globale sur des échelles de temps s'étalant entre 5 et 100 millions d'années (Coltice et al., 2017 ; Mallard et al., 2016). La caractérisation de ces épisodes de réorganisation globale dans les modèles permet d'étudier leurs causes à l'échelle globale, et d'apporter ainsi un nouveau regard sur les observations réalisées dans les océans.

Ce projet sera mené dans une équipe multidisciplinaire unique en Europe, mêlant des expertises en géophysique marine et modélisation dynamique à l'échelle globale. Ses travaux seront en partie intégrés aux résultats de campagnes internationales en mer. Le projet permet au doctorant de développer des compétences en analyses de données géophysiques multiples, ainsi qu'en géologie structurale pour interpréter les déformations observées dans un cadre de tectonique globale. Il développera aussi des compétences en modélisation physique et numérique. L'objectif est de construire un profil moderne entre spécialiste de données marines et expert en modélisation numérique. La plupart des outils existant déjà sous une forme avancée, il s'agira pour le doctorant ou la doctorante de se former sur une base saine et solide.

Références :

- Brune, S., Williams, S. E., & Müller, R. D. (2017). Potential links between continental rifting, CO₂ degassing and climate change through time. *Nature Geoscience*, 10, 941.
- Cande, S. C., & Stegman, D. R. (2011). Indian and African plate motions driven by the push force of the Reunion plume head. *Nature*, 475, 47.
- Cande, S., Patriat, P., 2015. The anticorrelated velocities of Africa and India in the Late Cretaceous and early Cenozoic. *Geophysical Journal International* 200, 227.
- Chamot-Rooke, N., F. Jestin, and B. DeVoogd, B. (1993), Intraplate shortening in the central Indian-ocean determined from a 2100-km-long north-south deep seismic-reflection profile, *Geology*, 21, 1043.
- Coltice, N., Gérard, M., & Ulvrová, M. (2017). A mantle convection perspective on global tectonics. *Earth-science reviews*, 165, 120.
- Delescluse, M., & Chamot-Rooke, N. (2007). Instantaneous deformation and kinematics of the India–Australia Plate. *Geophysical Journal International*, 168, 818.
- Jolivet, L., Faccenna, C., Agard, P., Frizon de Lamotte, D., Menant, A., Sternai, P., Guillocheau, F. (2016). Neo-Tethys geodynamics and mantle convection : from extension to compression in Africa and a conceptual model for obduction. *Canadian Journal of Earth Science* 53, 1190.
- Mallard, C., Coltice, N., Seton, M., Müller, R. D., & Tackley, P. J. (2016). Subduction controls the distribution and fragmentation of Earth's tectonic plates. *Nature*, 535, 140.
- Matthews, K. J., Seton, M., & Müller, R. D. (2012). A global-scale plate reorganization event at 105– 100 Ma. *Earth and Planetary Science Letters*, 355, 283.
- Matthews, K. J., Maloney, K. T., Zahirovic, S., Williams, S. E., Seton, M., & Muller, R. D. (2016). Global plate boundary evolution and kinematics since the late Paleozoic. *Global and Planetary Change*, 146, 226.

Olive, J. A., Behn, M. D., & Tucholke, B. E. (2010). The structure of oceanic core complexes controlled by the depth distribution of magma emplacement. *Nature Geoscience*, 3, 491.

Olive, J. A., Behn, M. D., Ito, G., Buck, W. R., Escartín, J., & Howell, S. (2015). Sensitivity of seafloor bathymetry to climate-driven fluctuations in mid-ocean ridge magma supply. *Science*, 350, 310.

Patriat, P., Sloan, H., Sauter, D. (2008). From slow to ultraslow: a previously undetected event at the Southwest Indian Ridge at ca. 24 Ma. *Geology*, 36, 207.

Rodriguez, M., Fournier, M., Chamot-Rooke, N., Huchon, P., Delescluse, M. (2018). The geological evolution of the Aden-Owen-Carlsberg triple junction (NW Indian Ocean) since the Late Miocene, *Tectonics*, 37.

Rodriguez, M., Huchon, P., Chamot Rooke, N., Fournier, M., Delescluse, M., Smit, J., Plunder, A., Calvès, C., Ninkabou, D., Pubellier, M., François, T., Agard, P., Gorini, C. (2019). Successive migrations of the India-Africa transform plate boundary: implications for the emplacement of the Masirah Ophiolites (Oman). *Journal of Asian Earth Sciences*, accepted manuscript.

Rona, P. A., & Richardson, E. S. (1978). Early Cenozoic global plate reorganization. *Earth and Planetary Science*