Etude de l'influence des déformations de marées sur le déclenchement des séismes

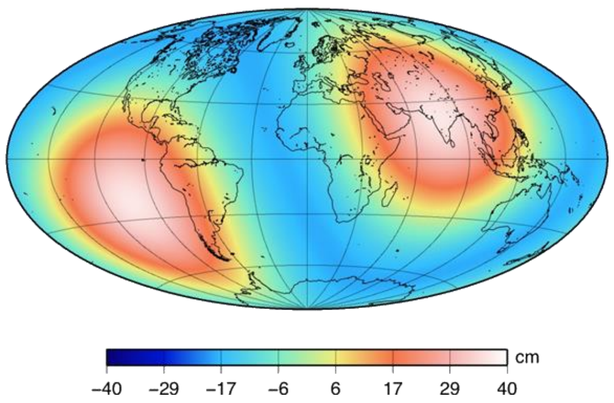
Projet recherche de Arthur COQUÉ et Flora HUIBAN, encadré par Kristel CHANARD et Laurent MÉTIVIER

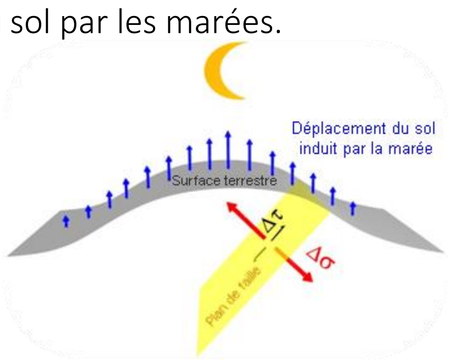
Objectif

Etudier un catalogue de sismicité mondiale et corréler les dates et localisations des évènements avec des modélisations des déformations.

Contexte

Les séismes sont la conséquence de la tectonique globale. Cependant, les mécanismes de déclenchement des séismes restent peu compris.
Il a été montré qu'il existe des corrélations entre les pics de marées solides (déformations de la Terre solide induites par l'attraction luni-solaire) diurnes et semi-diurnes et l'occurrence des séismes à l'échelle mondiale[1]. Pour confirmer cela, nous avons étudié un catalogue de sismicité mondiale que nous avons couplé avec des modèles de déformations du sol par les marées.





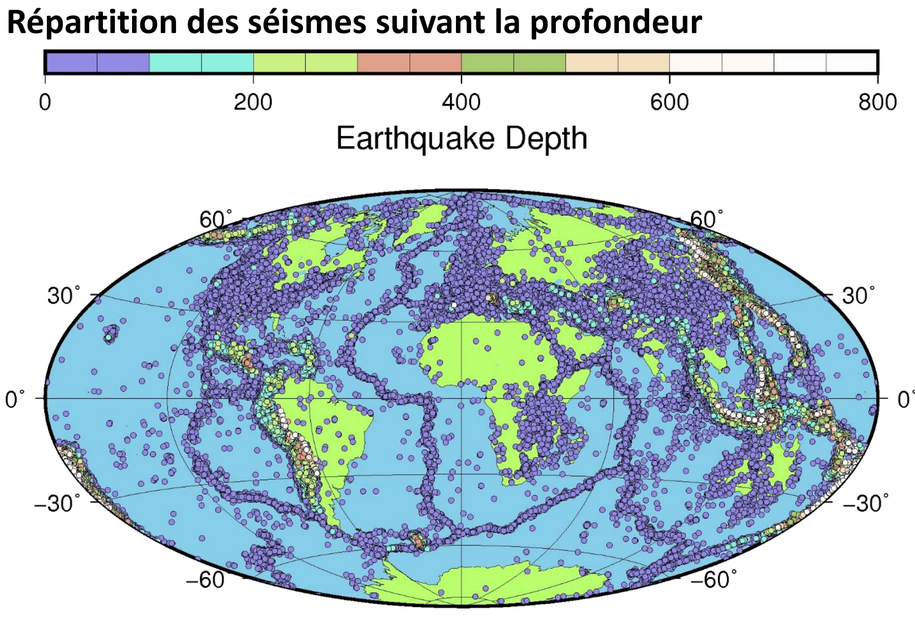
Carte et schématisation de la marée solide

Méthodologie

- Extraction et nettoyage d'un catalogue *(USGS)* de sismicité mondiale du 01/01/1975 au 30/06/2017 (766 094 séismes).
- Etude de la distribution de la sismicité de différentes régions (réalisation de cartes et de coupes afin de mieux comprendre la répartition des séismes) : Japon, Asie du SE, Amérique du sud et Europe (création de sous-catalogues, fonction de la profondeur et de la magnitude).
- Recherche de signaux périodiques dans les catalogues sismiques et corrélation possible avec des périodes caractéristiques de marées grâce au test statistique de Schuster.
- Etude statistique de la significativité de la corrélation entre chaque séisme et le pic de marées le plus proche.

Appropriation et représentation des données

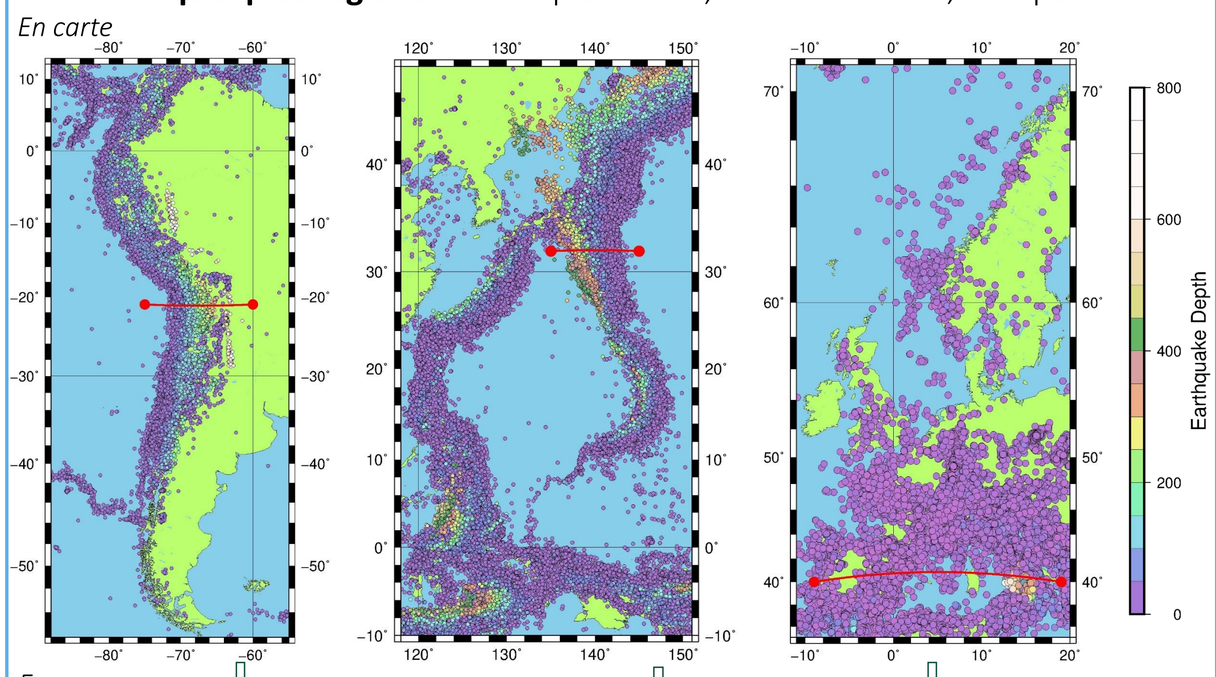
Répartition des séismes suivant la profondeur



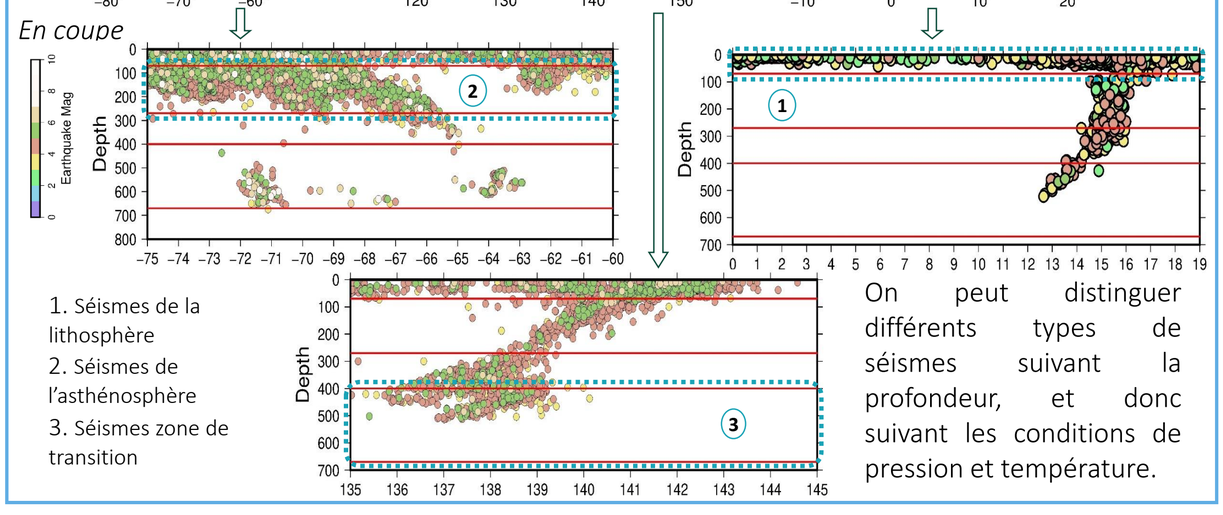
0-70 km : lithosphère (622 039 séismes)
70-270 km: asthénosphère (114 163 séismes)
270-400 km : zone intermédiaire (7309 séismes)
400-670km : zone de transition (22 397 séismes)
670km : début manteau inférieur quasi asismique (186 séismes)

Zoom sur quelques régions : Amérique du sud, Asie du Sud-Est, Europe

En carte



En coupe

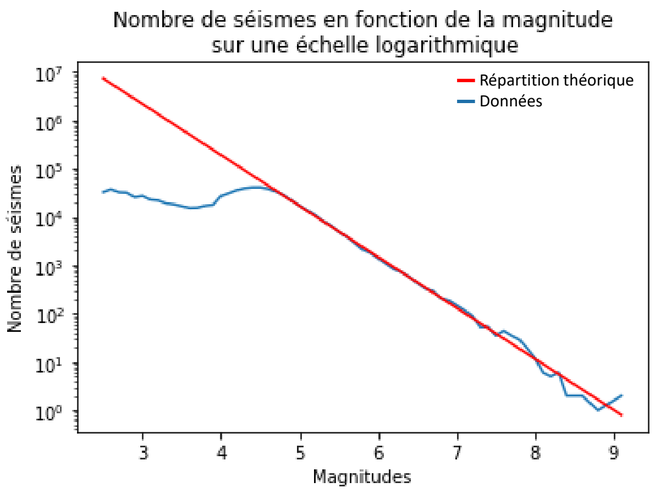


1. Séismes de la lithosphère
2. Séismes de l'asthénosphère
3. Séismes zone de transition

On peut distinguer différents types de séismes suivant la profondeur, et donc suivant les conditions de pression et température.

Résultats des tests et explications

Complétude

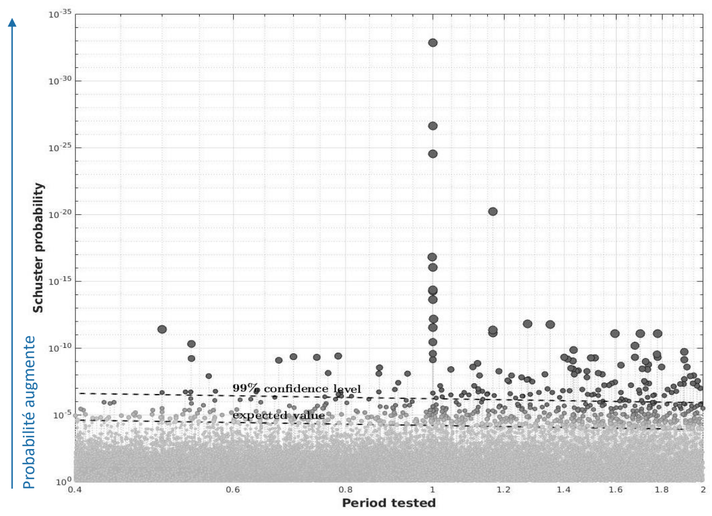


On peut voir que notre jeu de donnée est biaisé et incomplet, puisque dans certaines régions le réseau de sismomètres n'est pas assez dense.

Cependant, on peut avoir un jeu complet : - à une échelle globale en ne considérant que les séismes de magnitude supérieure à la magnitude de complétude du catalogue (ici 4,5, rupture de la pente du graphe).

- à une échelle régionale en sélectionnant des régions bien instrumentées.

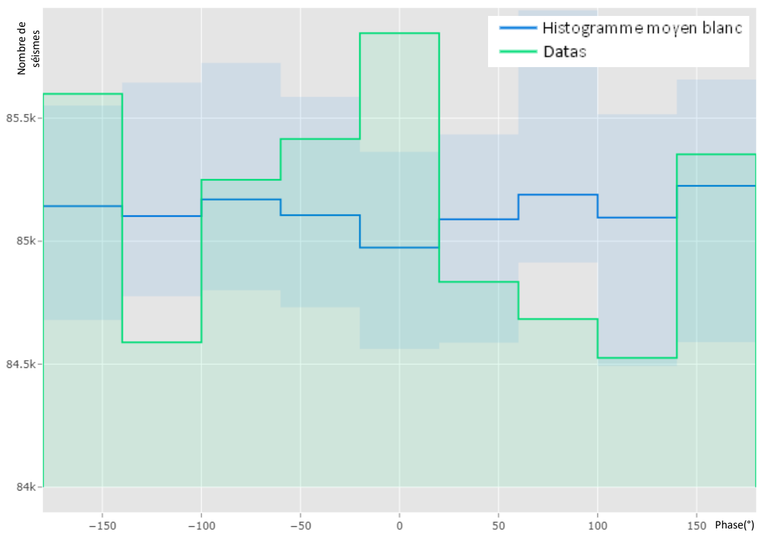
Test de Schuster



Test de Schuster sur le catalogue global

Le test de Schuster permet de détecter des signaux périodiques dans un catalogue sismique en calculant la probabilité que cette périodicité ne soit pas liée à un phénomène aléatoire. Le degré de confiance à 99% d'observer un vrai signal périodique est indiqué sur la figure. On peut donc observer qu'il y a un signal périodique qui apparaît à un jour (on en déduit que c'est lié au phénomène de marée).

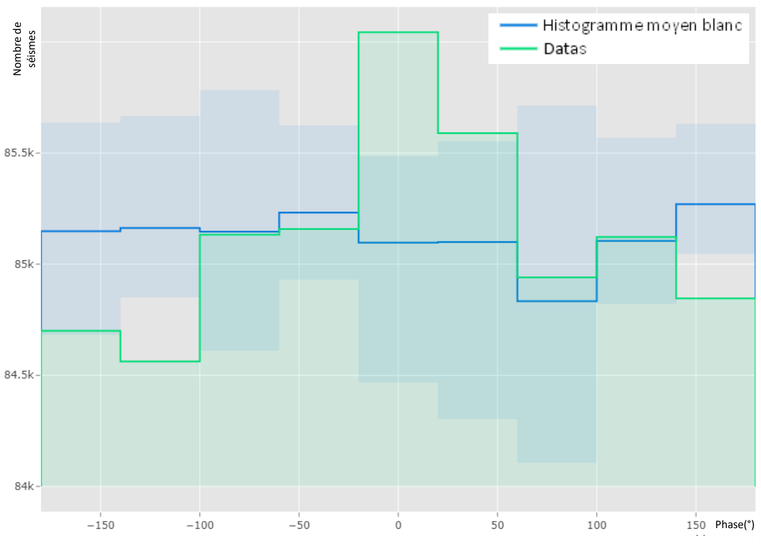
Test de significativité de la corrélation entre marées et séismes



Distribution des séismes en fonction de la phase (marée diurne)

Grâce à un catalogue de marées on étudie le décalage de phase entre chaque séisme et le pic de la marée diurne et/ou semi-diurne la plus proche (à la même date). Pour tester la significativité des résultats nous avons générer des jeux de données blancs (on a mélangé aléatoirement les dates du catalogue complet).

Nos résultats, représenté par les histogrammes, montrent qu'une tendance non aléatoire apparait puisque les histogrammes des données réelles ne correspondent pas à l'histogramme moyen blanc et on retrouve des pics à $\varphi = 0$ et $\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$, ce qui signifie que séismes et marées sont bien en phase.



Distribution des séismes en fonction de la phase (marée semi-diurne)

Conclusion

Nos résultats confirment qu'il existerait un lien entre les marées solides et l'apparition de certains séismes, qui lors d'une contrainte additionnelle de quelques kPa sont déclenchés. Il y aurait donc environ 1,0% des séismes (plus particulièrement les séismes de faibles magnitudes et peu profonds) à l'échelle globale qui sont déclenchés par la déformation causée par les marées solides.

Remerciements

Nous remercions Kristel Chanard et Laurent Métivier pour leur encadrement et leur précieuse aide tout au long du projet.

Références

[1]Evidence of earthquake triggering by the solid earth tides Laurent Métivier et al., 2009
Catalogue de sismicité : http://earthquake.usgs.gov
On Lunar and Solar Periodicities of Earthquakes, Arthur Schuster, Proceedings of the Royal Society of London, Vol. 61. (1897), pp. 455-465.
T.J. Ader, J.-P. Avouac, Detecting periodicities and declustering in earthquake catalogs using Schuster spectrum, application to Himalayan seismicity, Earth Planet. Sci. Lett. (2013)