

Titre du sujet : Impacts des séismes sur les aquifères

Co-directeur & Co-directrice : Jérôme Fortin (CNRS ENS) et Sophie Violette (SU ENS)

Collaborateurs : Benoît Vittecoq & Julie Maury (BRGM), Dominique Bruel (Mines ParisTech)

Équipe d'accueil : Laboratoire de Géologie de l'ENS- UMR 8538

Contexte scientifique

La variation brusque du niveau d'eau mesuré dans des piézomètres en réponse aux séismes est un phénomène observé depuis de nombreuses années au travers le globe dans les régions sismo-tectoniques, sans pour autant que les processus qui en sont à l'origine soient toujours compris (Wang et Manga, 2009). Cependant ces observations traduisent le fait que les propriétés hydrodynamiques des formations saturées (aquifères et aquitards) peuvent évoluer au cours du temps. De ce fait, l'évaluation des ressources en eau et de leur évolution quantitative et qualitative au cours du temps s'avère complexe. En effet, par exemple, plusieurs auteurs ont constaté l'impact d'un séisme sur : les ressources en eau (Chen et al., 2012), l'augmentation du niveau d'eau qui conduit à des inondations (Chen et Wang, 2009), ou encore impacte la sécurité de déchets entreposés en profondeur (Carrigan et al., 1991 ; Roeloffs, 1998). L'étude approfondie de ces processus requiert donc une approche pluridisciplinaire.

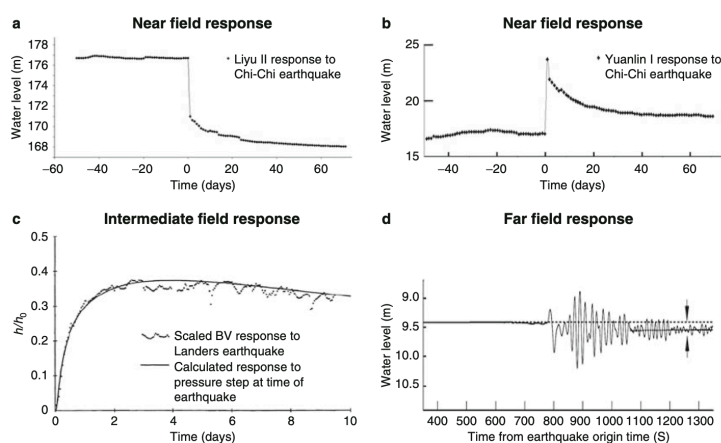


Figure 1 : Différentes réponses hydrodynamiques enregistrées suite à un séisme : a) Abaissement du niveau d'eau observé dans le forage Liyu II au cours du séisme de 5Chi-Chi,1999 Mw7. b) Augmentation du niveau d'eau dans le forage Yuanlin I au cours du séisme de Chi-Chi,1999, Mw7. c) Niveau d'eau normalisé au puits BV en Californie centrale après le tremblement de terre de Landers, 1992, M 7.3 (distance Puits-séismes 433 km). d) Oscillations du niveau d'eau mesuré au puits Grants Pass (Oregon) en réponse au tremblement de terre Denali, 2002, M7.9 (distance Puits-séismes 100 km). Figure tirée de Wang & Manga, 2009, compilée d'après Wang & Chia, 2008 (a & b) ; Roeloffs, 1998 (c) ; Brodsky et al., 2003 (d).



L'observation piézométrique disponible depuis une à deux décennies, dont la précision atteint le *mm et à un pas de temps horaire*, fournit des réponses hydrodynamiques différentes selon la distance considérée entre le lieu du séisme et le point d'observation du niveau d'eau. La figure 1, synthétisée par Wang et Manga (2009) à partir des travaux de plusieurs auteurs, présente différentes réponses attendues selon que le forage est positionné dans le champ proche, le champ intermédiaire ou le champ lointain du séisme. Le type d'aquifère (libre ou captif) et sa nature géologique (meuble ou consolidé) sont des critères qu'il est nécessaire d'intégrer à ce type d'étude. En effet, la réponse hydrodynamique à un séisme d'un aquifère captif présente une amplitude plus marquée que dans un aquifère libre. Les formations meubles ou consolidées présentent des réponses hydrodynamiques différentes lors du passage des ondes, qui dépendent principalement de leurs propriétés poro-mécaniques (modules élastique drainés, non drainés, porosité...).

Dans les Antilles française, le risque sismique est important et plusieurs dizaines de séismes majeurs ont été recensés depuis 1702, dont sept d'une intensité supérieure à VII. Ces séismes sont liés à la subduction des plaques Nord et Sud Amériques sous la plaque Caraïbe. Depuis 2004, le BRGM a mis en place en Martinique, un réseau piézométrique (Vittecoq, 2005) et une trentaine de forages, de 30 à 100 m de profondeur, ont été réalisés dans les différents aquifères qui composent l'île (Vittecoq et al., 2015 ; Vittecoq et al., 2019). Ces forages permettent de mesurer en continu les niveaux d'eau dans ces différents aquifères (fréquence d'acquisition : une donnée par heure). Le 29 novembre 2007, un séisme proche mais profond (160 km) de magnitude 7,4 a largement été ressenti par la population. Parmi les différents effets induits par ce séisme, des variations significatives de niveaux piézométriques (jusqu'à une quarantaine de cm) ont été enregistrées (Lachassagne et al., 2011 ; Vittecoq et al., 2011). Depuis, d'autres événements ont été enregistrés et ont affecté les niveaux piézométriques à des degrés divers.

L'objectif de la thèse proposée est de comprendre et de quantifier l'impact des séismes sur les propriétés des aquifères et aquitards qui composent l'île de Martinique en s'appuyant sur le réseau d'observation des piézomètres mis en place et gérés par le BRGM.

Méthodologie

Au cours de cette thèse, il est proposé : i) de développer une méthodologie robuste fondée sur l'analyse de données, ii) d'acquérir des données in-situ sur les propriétés hydrodynamiques des aquifères, et iii) d'utiliser des outils analytiques et numériques pour modéliser les processus et quantifier l'évolution des propriétés hydrodynamiques au cours du temps. Pour quantifier l'évolution temporelle des propriétés hydrodynamiques, une attention particulière sera portée sur l'impact de la marée terrestre et océanique sur les chroniques piézométriques (amplitude et déphasage).

Après la nécessaire prise en main des concepts théoriques et des outils analytiques développés autour de ces questions, le-la candidat-e devra analyser les chroniques climatologiques, piézométriques et des événements sismiques pour identifier les événements ayant entraîné une perturbation des niveaux d'eau mesurés.

Des essais de débit seront conduits sur les ouvrages le permettant, afin d'obtenir une estimation locale des propriétés hydrodynamiques. La mise en œuvre de solutions analytiques et de modèles hydro-mécaniques permettra de comprendre les processus impliqués dans la modification des propriétés hydrodynamiques et d'expliquer leur intensité.



Collaborations

Ce travail de thèse s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entretenue depuis plusieurs années entre le BRGM, l'ENS et Mines ParisTech. Elle garantit l'accès aux données, aux ouvrages sur le terrain et à la mise en œuvre des essais de débit, ainsi qu'aux moyens numériques.

Chaque collaborateur et collaboratrice du projet possède des compétences complémentaires indispensables pour aborder de façon pluridisciplinaire cette thématique et apporter l'expertise nécessaire pour l'encadrement de la thèse.

Compétences

Le-la candidat-e devra disposer de compétences en hydrogéologie, mécanique des roches, modélisation et avoir suivi un cursus en géosciences et/ou hydrosciences et/ou en sciences de l'ingénieur. La motivation pour l'expérimentation sur le terrain et la modélisation numérique sera un plus.

Co-financement

Le BRGM apportera un co-financement, notamment pour la partie expérimentale in-situ.

Références

- Brodsky EE, Roeloffs E, Woodcock D, Gall I, Manga M (2003) A mechanism for sustained groundwater pressure changes induced by distant earthquakes. *J Geophys Res* 108:2390. doi:10.1029/2002JB002321
- Carrigan CR, King GCP, Barr GE, Bixler NE (1991) Potential for water-table excursions induced by seismic events at Yucca Mountain, Nevada. *Geology* 19:1157–1160
- Chen J, Wang C-Y (2009) Rising springs along the Silk Road. *Geology* 37:243–246. doi:10.1130/G25472A.1
- Chen J, Wang C-Y, Tan H, Rao W, Liu X, Sun X (2012) New lakes in the Taklamakan Desert. *Geophys Res Lett* 39:1–5. doi:10.1029/2012GL053985
- Lachassagne P, Leonardi V, Vittecoq B, Henriot A (2011) Interpretation of the piezometric fluctuations and precursors associated with the November 29, 2007, magnitude 7.4 earthquake in Martinique (Lesser Antilles). *CR Geosci* 343:760–776. <https://doi.org/10.2016/j.crte.2011.09.002>
- Roeloffs EA (1998) Persistent water level changes in a well near Parkfield, California, due to local and distant earthquakes. *J Geophys Res* 103:869–889
- Vittecoq B. (2005) Suivi piézométrique 2004 de Martinique. BRGM/RP-53778-FR
- Vittecoq B. (2011) Interpretation of the piezometric fluctuations associated to the november 29, 2007 7.4 earthquake in Martinique. 19th Caribbean Geological Conference 2011. 21-26 Mars 2011. Le Gosier – Guadeloupe.
- Vittecoq, B., Reninger, P. A., Violette, S., Martelet, G., Dewandel, B., and Audru, J. C. (2015) Heterogeneity of hydrodynamic properties and groundwater circulation of a coastal andesitic volcanic aquifer controlled by tectonic induced faults and rock fracturing – Martinique Island (Lesser Antilles – FWI), *J. Hydrol.*, 529, 1041–1059, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.09.022>



Vittecoq, B., Reninger, P. A., Lacquement, F., Martelet, G., & Violette, S. (2019) Hydrogeological conceptual model of andesitic watersheds revealed by high-resolution heliborne geophysics. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23, 2321– 2019. <https://doi.org/10.5194/hess-23-2321-2019>

Wang C-Y, Chia Y (2008) Mechanism of water level changes during earthquakes: near field versus intermediate field. *Geophys Res Lett* 35, L12402. doi:10.1029/2008GL034227

Wang, C.-Y., Manga, M., 2009. *Earthquakes and Water*. Springer, pp. 225 p