

## **Titre du projet : Soutien collaboration avec l'Equateur : séjour de H. Yepes**

*Volet : Favoriser l'international*

*Porteur du projet : Céline Beauval*

*Laboratoires impliqués : ISTerre*

## **Bilan du projet 2013-2014**

### **Bilan d'activité scientifique**

Grâce au financement du LabEx, nous avons pu financer une partie du séjour de Hugo Yepes à ISTerre en 2013 (thèse de doctorat 2012-2015). Les travaux ont porté sur différents aspects de l'estimation de l'aléa sismique en Equateur.

#### ***Zonage sismo-tectonique du territoire équatorien (Yepes, Audin et al. in preparation)***

Le zonage sismo-tectonique consiste à découper le territoire en zones où le potentiel sismogénique peut être considéré homogène, avec pour objectif d'établir dans chacune des zones un modèle de récurrence des séismes (occurrence dans le temps, en magnitude et dans l'espace : donnée d'entrée du calcul probabiliste). Etablir un zonage implique d'analyser et de combiner les connaissances actuelles sur la tectonique active corticale, la segmentation de la zone de subduction, et les modèles géodésiques, au regard de la sismicité instrumentale et historique.

- *Caractérisation géodynamique* : analyse des mécanismes responsables de la distribution des séismes interfaces et intraplaques (observée dans le catalogue publié par Beauval et al. 2013) : âge, rhéologie, et flexure des plaques qui subductent.
- *Sismo-tectonique de la plaque continentale* : analyse des structures tectoniques responsables de la distribution des séismes crustaux, qui accommodent les mouvements NNE du bloc Nord Andin et SSE du bloc Inca (Nocquet et al. 2014).
- Au total, 19 zones sources sismogènes ont été définies, constituant le zonage sismo-tectonique pour le calcul de l'aléa sismique en Equateur. Ces zones sources sont cohérentes avec le modèle géodynamique, la distribution de la sismicité, et la tectonique active.

#### ***Estimation de l'aléa sismique probabiliste (à l'échelle de Quito, Beauval, Yepes et al. 2014, et du territoire)***

On appelle aléa sismique probabiliste les estimations de probabilité de dépassement de niveaux d'accélération donnés sur des fenêtres de temps futures. Ce calcul probabiliste est la première étape vers l'établissement d'un zonage pour la construction parasismique. Il repose sur deux types de modèles prédictifs : les modèles de sources sismiques décrivant les séismes pouvant se produire sur le territoire, leurs magnitudes et leurs fréquences ; et les modèles du mouvement sol permettent d'estimer les accélérations du sol engendrées par

ces séismes. Les incertitudes jouent un rôle clef, et une partie importante de nos travaux visent à mieux identifier et quantifier ces incertitudes à toutes les étapes du calcul.

- Estimation de l'aléa sismique probabiliste à Quito pour un site générique au rocher (Figs.1 et 2, Beauval, Yepes et al. 2014) : notre étude montre qu'à 475 ans de période de retour, la zone source crustale où se situe Quito contrôle les estimations d'aléa. Les incertitudes sur le modèle de sismicité impactent autant les estimations d'aléa que les incertitudes sur le choix de l'équation de prédiction du mouvement du sol. Selon les modèles sélectionnés, le type de données et les hypothèses sur lesquels ils reposent, les valeurs d'accélération obtenues varient entre 0.3 et 0.7g (au PGA). L'incertitude sur l'aléa sismique est très forte.
- Estimation de l'aléa sismique pour l'ensemble du territoire équatorien : ces travaux sont dans la suite des calculs effectués en 2011, utilisés par le comité Risque Sismique Equatorien pour l'établissement du nouveau zonage (MIDUVI 2011). L'ensemble du modèle de sismicité est actuellement réévalué, à partir du catalogue de sismicité publié en 2013, des récents développements sur la description des sources sismique (Yepes et al. en préparation), et des derniers résultats obtenus en tectonique active (caractérisation des failles) et géodésie (taux de déformation). L'objectif est de proposer des cartes d'aléa fiables pour l'Equateur, représentatives du niveau de connaissance, avec une estimation réaliste des incertitudes.

## Illustrations

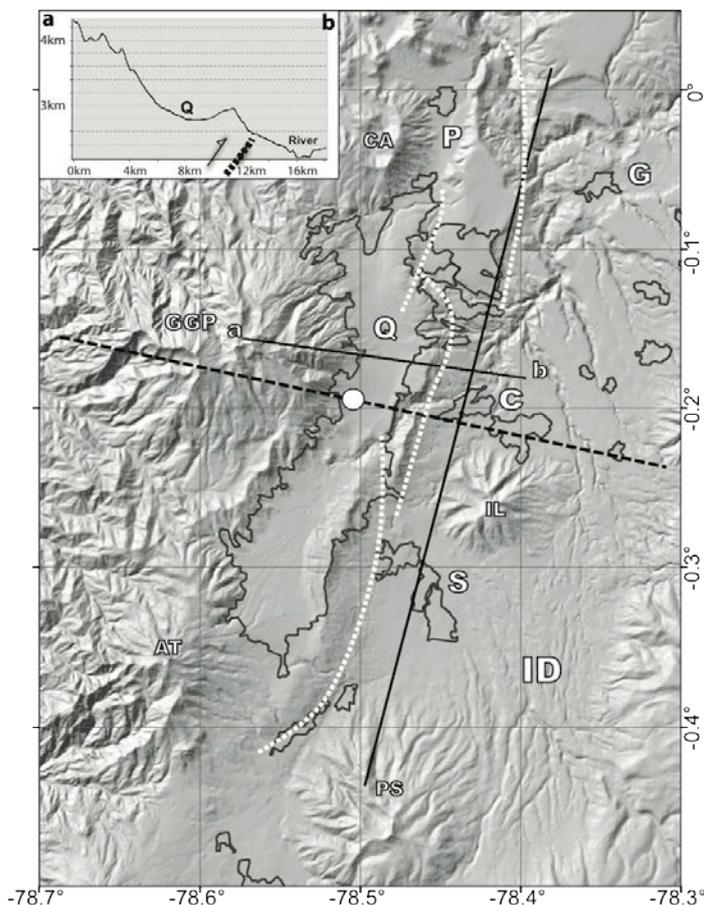


Figure 1. Contexte tectonique et géomorphologique du bassin de Quito. La ville s'est développée dans un bassin sédimentaire, surplombant la faille inverse de Quito. Segment N-S : projection en surface du bord supérieur du plan de faille (modèle simplifié). (Beauval, Yepes et al. 2014)

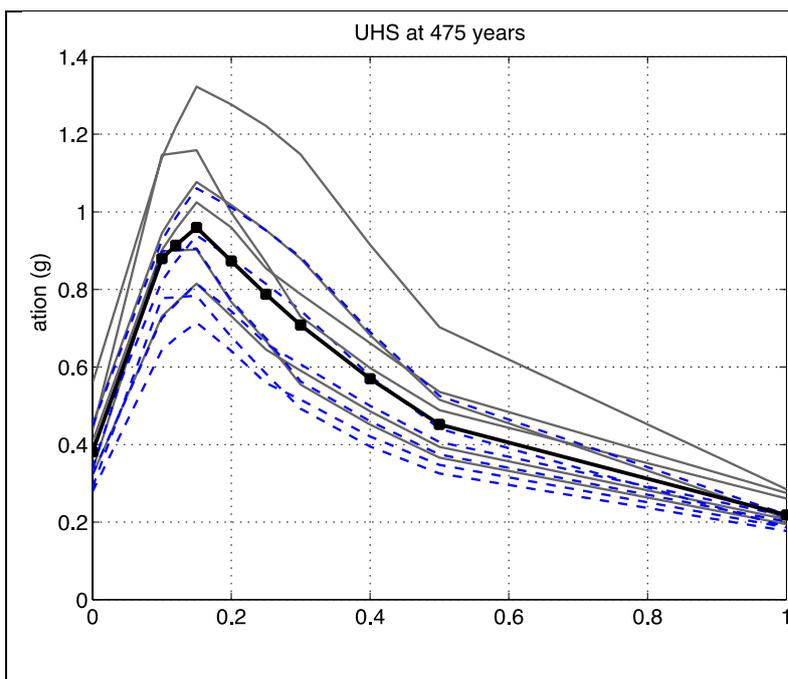


Figure 2. Spectre d'aléa uniforme pour un site générique avec  $V_{S30}$  760 m/s à Quito, et 475 années de période de retour. L'arbre logique inclut deux géométries pour la zone source crustale, deux b-values possibles, et trois équations de prédiction du mouvement du sol (Beauval, Yepes et al. 2014)

## **Production scientifique (2013 et 2014)**

### ***Journaux internationaux à comité de lecture***

- Beauval C., H. Yepes, L. Audin, A. Alvarado, J-M. Nocquet, D. Monelli, and L. Danciu (2014). Probabilistic seismic hazard assessment in Quito, estimates and uncertainties, *Seismological Research Letters*, *in press*.
- Beauval C., H. Yepes, P. Palacios, M. Segovia, A. Alvarado, Y. Font, J. Aguilar, L. Troncoso, and S. Vaca (2013). An earthquake catalog for seismic hazard assessment in Ecuador, *Bull. Seism. Soc. Am.*, v. 103, p. 773-786, doi:10.1785/0120120270.
- Nocquet JM, JC Villegas-Lanza, M. Chlieh, P. Mothes, F. Rolandone, P. Jarrin, D. Cisneros, A. Alvarado, L. Audin, F. Bondoux, X. Martin, Y. Font, M. Regnier, M. Vallee, D.T. Tran, C. Beauval, J. Maguiña Mendoza, W. Martinez, H. Tavera, and H. Yepes (2014). Continental slivers motion and creeping subduction in the Northern Andes, *Nature Geoscience*, v. 7, 4, p. 287-291.
- Yepes, H., Audin, L., Alvarado, A., Beauval, C. and Aguilar, J. Seismogenic sources for Seismic Hazard Assessment in Ecuador, *in preparation*.

### ***Autres productions***

- Beauval C., H. Yepes (2013). Cinq siècles de sismicité en Équateur. Sciences au Sud, 71, Ed. IRD, p. 4.

### ***Stages de M2R***

- Keller E (2014). « Caractérisation de séismes historiques, application sur un grand séisme de subduction en Équateur », Rapport de stage de M2R, IUEM, ENSTA-Brest, 38 pp (encadrants : C. Beauval and H. Yepes).
- Marinière, J., 2014. « Estimation de l'aléa sismique probabiliste (PSHA) dans la Cordillère Équatorienne, le cas de la ville de Riobamba », Mémoire de Master 2, EOST Strasbourg, 31 pp (encadrants: C. Beauval, L. Audin, H. Yepes).

### ***Communications congrès internationaux***

- Beauval, C., Yepes H., Audin, L., Alvarado, A., Nocquet, J.M., Monelli, D., Danciu, L. (2014). PSHA in Quito city, estimates and uncertainties, 2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (ECEES), Istanbul, August 24-29.
- Beauval, C., Yepes, H., Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J.M., Monelli, D., Danciu, L. (2014). PSHA in Quito city, estimates and uncertainties, III Latin Amer. Congress of Seismo., Bogotá, July 23-25.
- Beauval C., H. Yepes, D. Monelli, A. Alvarado, L. Audin (2013). Probabilistic seismic hazard estimates for two cities in Ecuador, analyzing uncertainties, AGU Meeting of



Ce projet est soutenu par le Laboratoire d'Excellence OSUG@2020 (ANR10 LABX56) financé par le programme d'Investissements d'Avenir lancé par l'Etat et mis en oeuvre par l'ANR.



the Americas, Session « Regional and national seismic hazard models: Challenges en Latin-America, Cancun, Mexico », 14-17 May.

- Yepes H., C. Beauval, A. Alvarado, L. Audin (2013). Influencing factors in earthquake distribution in Ecuador, AGU Meeting of the Americas, Session « Regional and national seismic hazard models: Challenges en Latin-America », Cancun, Mexico, 14-17 May.
- Yepes, H., Audin, L., Alvarado, A., Beauval, C., Aguilar, J. (2014). Grijalva Ridge, a major player in the subduction game underneath Ecuador, III Latin Amer. Congress of Seismo., Bogotá, July 23-25.

**Bilan financier succinct** (avec suivant les cas : co-financements éventuels, équipements achetés, missions, recrutements divers, fonctionnements divers...)

Les 10k€ obtenus ont permis de financer plusieurs mois de séjours à ISTERre pour Hugo Yepes en 2013.

Co-financements **2013** (au total 10 mois de séjour à ISTERre, billets d'avion Equateur-France, + cours international de 1 semaine au Danemark en tectonique active + achat Mac portable):

5k€ LMI de l'IRD, Séismes et Volcans dans les Andes du Nord

6k€ Erasmus Mundus program

2k€ AO sud ISTERre

1.2 k€ Représentation de l'IRD à Quito

**Annexes si besoin ou lien sur des sites existants et pérennes jusqu'à la fin du Labex (2020)**

Les publications sont en ligne sur cette page web :

<http://isterre.fr/staff-directory/member-web-pages/celine-beauval/Publications,1027>