

Développement et application des nouvelles méthodes de bruit de fond sismique pour la surveillance des volcans et failles actives

Directeurs de thèse : Nikolai Shapiro et Florent Brenguier, équipe de sismologie, IPGP

Cette thèse est ciblée sur l'utilisation du bruit de fond sismique pour le suivi temporel de petites variations des propriétés physiques d'objets géologiques à risque tels que les volcans ou failles. La corrélation de bruit de fond sismique entre différents capteurs permet de reconstruire des sources sismiques virtuelles continues dans le temps et ainsi de dépasser certaines limitations des méthodes de « monitoring » actives. L'application de cette nouvelle technique à l'étude et la surveillance des volcans et zones sismogéniques devrait permettre d'améliorer notre compréhension de ces systèmes et ainsi de participer à la prévention des risques associés à leur activité.

Contexte

Peu de méthodes géophysiques permettent de détecter les variations transitoires fines de la croûte terrestre comme la mise sous pression d'une chambre magmatique en profondeur ou comme le chargement et la relaxation tectonique. Les nouvelles méthodes basées sur le traitement du bruit de fond sismique ouvrent de nouvelles perspectives pour l'imagerie et le suivi temporel de la croûte terrestre (Shapiro and Campillo 2004; Shapiro et al., 2005). Ces méthodes sont basées sur des travaux théoriques et empiriques qui montrent qu'il est possible de reconstruire la réponse impulsionnelle d'un milieu entre deux capteurs passifs sans utiliser de sources actives (Weaver and Lobkis, 2001). En sismologie, la première application de cette méthode a permis de reconstruire la fonction impulsionnelle (aussi appelée fonction de Green) entre deux capteurs à partir de la corrélation des ondes de la coda sismique (Campillo and Paul, 2003).

Cette méthode a été appliquée avec succès aux domaines de l'héliosismologie (Duvall et al., 1993) et de l'acoustique (Weaver and Lobkis, 2001). Suite aux premiers résultats de l'application de cette méthode en sismologie (Shapiro and Campillo, 2004; Shapiro et al., 2005) de nombreux travaux ont permis d'exploiter cette méthode pour imager la croûte terrestre ainsi que le manteau supérieur à une échelle locale ou régionale. Les méthodes d'imagerie sismologique classiques étant principalement basées sur l'enregistrement de séismes, la possibilité d'imager des zones de faible sismicité grâce à l'utilisation du bruit de fond a permis d'obtenir de nouvelles informations structurales sur divers régions dans le monde (e.g., Yao et al., 2006; Yang et al., 2007).

Plus récemment, notre équipe a montré qu'il était possible d'utiliser la stabilité des fonctions de Green obtenues à partir du bruit de fond sismique pour identifier des variations extrêmement fines des temps de trajet des ondes reconstruites et ainsi de mesurer des variations des vitesses sismiques d'un milieu avec une précision meilleure que 10^{-3} . L'application de cette méthode au volcan du Piton de la Fournaise a permis d'identifier à la fois des précurseurs robustes aux éruptions volcaniques mais aussi des variations lentes (plusieurs mois) pouvant être associées au processus de réalimentation magmatique en profondeur (Brenguier et al., 2008)

Nous nous sommes de plus intéressés à l'application de cette méthode en zone sismogénique et avons étudié sept années d'enregistrements sismologiques à Parkfield (faille de San Andreas, Californie). Les résultats nous ont permis de mettre en évidence des variations de vitesses sismiques extrêmement petites (0.02 %) associées à l'occurrence de séismes à plus de 60 km du réseau et d'observer une corrélation entre nos mesures et les mesures de déplacement post-sismique (GPS) et les mesures d'activité des tremors non-volcanique. Ces résultats nous éclairent sur les mécanismes d'endommagement et de relaxation associés aux grands séismes.

Travail de thèse proposé

L'objectif de cette thèse est de développer de nouvelles méthodes basées sur des enregistrements sismiques continus pour pouvoir observer et comprendre de nouveaux phénomènes associés aux transferts de magma, au chargement tectonique et aux processus co- et post-sismiques. Ces travaux auront des implications directes dans les domaines de la prévention des risques volcaniques, sismiques et de glissements de terrain.

L'enjeu méthodologique est d'améliorer la précision des mesures basées sur le traitement du bruit de fond sismique et de localiser les variations de vitesses sismiques observées en 3D dans le milieu étudié.

Les méthodes seront développées à partir de différents jeux de données sismologiques correspondant à différentes échelles et environnements tectoniques. En particulier, nous travaillerons sur les données de réseaux continus et denses comme en Californie ou au Japon. Cette thèse participera de plus à la poursuite des travaux menés à partir des données du réseau sismologique permanent du Piton de la Fournaise (île de La Réunion). Le candidat participera de plus à une future campagne d'acquisition sismologique continue sur le Piton de la Fournaise prévue durant la période 2009-2011. Au cours de ce travail, le candidat participera de plus à l'étroite collaboration existante entre l'IPGP et le Laboratoire de Géophysique Interne et tectonophysique (LGIT, M. Campillo) sur ces thématiques d'analyse du bruit de fond sismique.

References

- Brenguier, F., N. M. Shapiro, M. Campillo, V. Ferrazzini, Z. Duputel, O. Coutant, and A. Nercessian, Towards Forecasting Volcanic Eruptions using Seismic Noise, *Nature Geoscience*, doi:10.1038/ngeo104, 2008.
- Campillo, M., and Paul, A., Long range correlations in the seismic coda. *Science* 299, 547-549, 2003.
- Duvall, T. L., S. M. Jefferies, J. W. Harvey, and M. A. Pomerantz, Time-distance helioseismology, *Nature*, 362, 430 – 432, 1993.
- Shapiro, N.M. and M. Campillo, Emergence of broadband Rayleigh waves from correlations of the ambient seismic noise, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L07614, doi:10.1029/2004GL019491, 2004.
- Shapiro, N.M, M. Campillo, L. Stehly, and M.H. Ritzwoller, High resolution surface wave tomography from ambient seismic noise, *Science*. 307, 1615-1618, 2005.
- Weaver, R. L., and O. I. Lobkis, Ultrasonics without a source: Thermal fluctuation correlation at MHz frequencies, *Phys. Rev. Lett.*, 87, paper 134301, 2001.
- Yang, Y., M.H. Ritzwoller, A.L. Levshin, and N.M. Shapiro, Ambient noise Rayleigh wave tomography across Europe, *Geophys. J. Int.*, 168(1), page 259, 2007.
- Yao H., van der Hilst R.D., and de Hoop, M.V. Surface-wave array tomography in SE Tibet from ambient seismic noise and two-station analysis: I - Phase velocity maps, *Geophysical Journal International*, Vol. 166, 732-744, doi: 10.1111/j.1365-246X.2006.03028.x, 2006.