



Sujet proposé pour un début de contrat en octobre 2019

TITRE du SUJET :

Etude du dynamisme éruptif du Piton de la Fournaise à partir des observations des réseaux sismologiques et géodésiques

Directrice :

PELTIER Aline, Physicienne-adjointe à l'Institut de Physique du Globe de Paris, en poste à l'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise, peltier@ipgp.fr

Co-directeur :

SHAPIRO Nikolai, Directeur de recherche au CNRS et à l'ISTerre, nshapiro@ipgp.fr

Equipe d'accueil :

IPGP- Equipe de Systèmes Volcaniques – UMR7154

Financement : **Contrat doctoral avec ou sans mission d'enseignement**

*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)

Introduction : Le Piton de la Fournaise (Ile de La Réunion, océan Indien), volcan bouclier intraplaque basaltique, est l'un des volcans les plus actifs au monde. Depuis 1998, le volcan produit en moyenne trois éruptions par an. Ses éruptions effusives peu dangereuses pour la population (97% des éruptions récentes ont lieu au sein d'une caldera inhabitée) et très fréquentes en font un laboratoire naturel idéal pour étudier sa dynamique. Il est l'un des volcans les mieux instrumentés au monde, notamment avec son dense réseau de sismomètres, de stations GNSS, d'inclinomètres, d'extensomètres et de stations de mesures de gaz. La thèse proposée portera sur l'étude des trémors du Piton de la Fournaise et des déformations associées. La plupart des processus volcaniques sont accompagnés d'émissions sismiques diverses, allant de l'essaim sismique au trémor en passant par les séismes volcano-tectoniques et longues périodes. L'étude de ces signaux permet de détecter et d'identifier différentes phases de l'activité volcanique. Les tremors sont des signaux sismiques de basse fréquence (0.5-10 Hz) et de longue durée (plusieurs minutes à mois) avec un caractère émergent. Les mécanismes physiques à l'origine de ces vibrations continues sont encore mal compris et seraient liés à des mouvements de magma à travers des fissures, la fragmentation de fluides sous pression dans le volcan ou la fuite de vapeurs et de gaz sous pression. L'objectif de cette thèse est d'apporter des informations sur le système volcanique du Piton de la Fournaise

grâce à une étude approfondie des trémors sismiques co-éruptifs et des déformations associées. Ces trémors sont un élément clé dans la surveillance des volcans et sont souvent synonymes d'arrivée de magma en (ou proche) surface. Une amélioration de la compréhension de ce phénomène et des mécanismes physiques à son origine permettra de mieux comprendre les processus mis en jeu pendant sa manifestation ainsi que l'état du système magmatique et phréatique. In fine, l'avancée dans la connaissance des tremors pourrait aboutir à une meilleure prédictibilité des éruptions.

Contexte : Les signaux sismiques associés aux processus volcaniques apparaissant souvent comme des signaux très irréguliers dont l'analyse par des méthodes sismologiques standard, basées sur l'identification de phase sismique individuelle, est difficile. Au Piton de la Fournaise, des études ont été menées avec des méthodes basées sur l'utilisation d'amplitudes sismiques (Battaglia and Aki, 2003; Battaglia et al., 2005) et sur l'analyse du rapport des intensités sismiques rayonnées enregistrées à différentes stations lors d'essais sismiques (Taisne et al., 2011). En 2013, Ballmer et al. ont utilisé une méthode basée sur le traitement de données spécifiques développé pour l'interférométrie du bruit sismique et l'ont appliqué au volcan Kilauea (Hawaii). Les formes d'onde des cross-corrélations inter-stations des enregistrements sismiques continues peuvent être utilisées pour caractériser et localiser les sources des trémors. En se basant sur la même approche, Droznin et al. (2015) ont développé deux algorithmes, l'un permettant d'identifier l'apparition des trémors dans les données et de localiser leurs sources, l'autre permettant l'exploration des caractéristiques distinctes des formes d'ondes des cross-corrélations correspondant à une source de trémor en particulier. Seydoux et al. (2016) ont développé une nouvelle méthode consistant à calculer la matrice de covariance de l'ensemble des stations sismiques réparties sur le volcan et d'en analyser les valeurs et vecteurs propres, ceux-ci étant liés à la cohérence spatiale du champ d'onde. Cette méthode a été appliquée sur des données sismiques continues enregistrées sur le groupe volcanique Klyuchevskoy (Russie) et a permis de séparer et de classer différentes sources correspondant à différentes phases d'activité volcanique de plusieurs volcans (Soubestre et al., 2018). Seydoux et al. (2016) ont testé leur méthode sur 3 éruptions du Piton de la Fournaise: leur analyse montre la présence de trois tremors.

Méthodologie : La méthode de Seydoux et al. (2016) repose sur une analyse de la cohérence spatiale du champ d'onde sismique à travers le réseau de stations sismiques, à partir d'un seul paramètre : la largeur de la distribution des valeurs propres d'une matrice de covariance (définie comme la largeur spectrale). Cette matrice de covariance peut être considérée comme l'ensemble des cross-corrélations inter-stations dont les formes sont très sensibles à la localisation et aux mécanismes des sources sismiques (Ballmer et al., 2013; Droznin et al., 2015). La cohérence spatiale des signaux émergents comme le trémor volcanique étant plus importante que le bruit sismique incohérent, elle peut être quantifiée à travers le réseau sismique. Ainsi, la largeur spectrale est utilisée comme un "détecteur de signal" : elle est grande quand elle correspond à du bruit sismique ambiant produit par des sources de bruit distribuées, tandis qu'elle est plus petite lorsqu'elle correspond à un signal spatialement cohérent à l'échelle du réseau produit par une source unique localisée. En complément de cette première méthode, Soubestre et al. (2018) se sont également concentrés sur le premier vecteur propre de la matrice de covariance correspondant à la valeur propre maximale, afin de pouvoir plus facilement distinguer différentes sources de trémors. Ces premiers vecteurs propres sont ensuite regroupés en plusieurs "clusters". Cette méthode sera également appliquée au Piton de la Fournaise afin de séparer et de classer différentes sources correspondant à différentes phases d'activité volcanique. Une analyse de la déformation de l'édifice sera faite à la lumière des résultats obtenus par la première méthode, notamment grâce au réseau d'inclinomètres sensibles à de très faibles déformations et du réseau GPS. En

effet, les trémors sont souvent accompagnés de déformation détectée en surface. Par exemple Oikawa et al. (1991) ont montré que les trémors volcaniques épisodiques étaient accompagnés de faibles déformations du sol au volcan Izu-Oshima, et Koyanagi et al. (1987) observent pour le volcan Kilauea que l'amplitude des trémors au sommet est élevée après des périodes de forts taux de variations d'inclinaisons parfois avec un délai de quelques heures. Nous proposons d'étudier ces relations entre déformation et tremors pour certaines éruptions afin de mieux comprendre la nature de cette relation et de mieux caractériser les mécanismes qu'elle implique. En fonction des résultats, des modèles numériques seront réalisés prenant en compte la topographie réelle et les hétérogénéités de l'édifice volcanique. Ces modèles permettront d'interpréter les données en caractérisant les sources des tremors et des déformations observées et ainsi de mieux caractériser la dynamique du volcan.

Capacité à réaliser la thèse : Les compétences nécessaires pour la réalisation de cette thèse sont premièrement l'ensemble des connaissances solide en volcanologie, sismologie, géodésie et leurs applications dans l'étude des volcans. D'autre part une certaine maîtrise des outils informatiques utiles pour l'analyse des signaux et la modélisation numérique est nécessaire.

Calendrier : 1) 9 mois à l'ISTerre (Grenoble) pour appliquer les méthodes de Droznin et al. (2015), Seydoux et al. (2016) et Soubestre et al. (2018) à toutes les éruptions du Piton de la Fournaise pour lesquelles le suivi sismologique est disponible afin de dresser un catalogue de toutes les sources de tremors sur ce volcan. 2) 18 mois à l'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise afin de travailler sur la comparaison systématique de l'apparition de ces trémors avec les données de déformations. 3) 9 mois à l'ISTerre (Grenoble). En fonction des premiers résultats : des modèles numériques seront réalisés afin de mieux comprendre la source des trémors. En fonction du temps (en prenant en compte la rédaction du manuscrit et des articles scientifiques) : ces méthodes pourront éventuellement être appliquées à d'autres volcans tel que le Kilauea (volcan analogue au Piton de La Fournaise et dont l'observatoire HVO travaille en étroite collaboration avec l'OVPF).