

Ecole Doctorale des Sciences Fondamentales

Titre de la thèse : Modélisation réaliste et Inversion conjointe des déformations et des variations temporelles de la gravité

Directeur de thèse : Valerie Cayol (HDR)

Unité de rattachement : Magmas et Volcans, UMR 6524

Equipe : Volcanology

Etablissement de rattachement : Université Clermont Auvergne

Courriel et téléphone : valerie.cayol@uca.fr, 06 43 28 91 44

Co-encadrant éventuel : Lydie Gailler, Olivier Bodart

Unité de rattachement : Magmas and Volcans, UMR 6524

Etablissement de rattachement : Université Clermont Auvergne

Résumé : Afin de détecter les transferts de magma, la déformation des volcans est surveillée de façon routinière par InSAR sur la plupart des volcans actifs. Les sources de déformation peuvent être diverses allant des magmas, aux fluides hydrothermaux ou aux gaz (Battaglia et al., Geophysics, 2008). Le magma, les fluides hydrothermaux, et les gaz volcaniques ayant des densités différentes, la mesure et l'interprétation des variations temporelles de la gravité peuvent être utilisées pour discriminer la nature des sources de déformation et gravité. L'objectif de ce projet est de développer et de tester une méthode quantitative permettant l'analyse conjointe de la déformation et de la gravité afin de fournir des estimations sur la nature, la position et la géométrie des sources d'activité volcanique en utilisant des modèles de sources et de croûte réalistes. La plupart des analyses conjointes des variations temporelles de la gravité et de la déformation sont basées sur des solutions analytiques où la croûte est supposée être un demi-espace infini, élastique et homogène. Néanmoins, les modèles numériques de déformation et gravité (Currenti et al., GJI, 2017, Charcot et al., G3, 2007) montrent que négliger les topographies ou les hétérogénéités de propriétés mécaniques peut induire des interprétations erronées. Dans ces modèles, les sources sont supposées être de type réservoirs, ce qui est une limitation puisqu'au cours des éruptions, le magma est souvent transporté dans des fractures. Dans ce projet de thèse, nous proposons d'appuyer nos modèles sur des méthodes numériques basées sur une approche de domaine fictif (Bodart et al., SIAM, J. Sci. Comp., 2016) afin de modéliser des sources de types fractures ou réservoirs situées dans un milieu hétérogène, véritablement tri-dimensionnel. La méthode de domaine fictif que nous utilisons est actuellement capable de calculer les contraintes et les déformations d'un milieu élastique hétérogène. Nous devons l'adapter à la modélisation des signaux de gravité, en suivant l'approche indiquée par Bonafede et Mazzanti (JVGR, 1998). Pour caractériser les sources, ces modèles devront être combinés à des inversions. Nous allons comparer deux méthodes d'inversion, une inversion de type proches voisins (Sambridge et al., JGI, 1999a et 1999b) et une inversion de type Markov Chain Monte Carlo seront comparées. Cette approche sera appliquée à la réinterprétation de l'éruption du volcan Piton de la Fournaise de 1998, ainsi qu'aux éruptions qui se sont produites en juin, juillet et août 2019.

Ecole Doctorale des Sciences Fondamentales

Des campagnes de mesures seront aussi effectuées afin soit de réitérer le réseau mis en place en mai 2019, soit de mener des mesures sur un autre volcan. Au Piton de la Fournaise, les éruptions sont associées à des variations de volume du réservoir sommital difficilement détectables, soit par la grande profondeur du système de stockage, soit par la forte compressibilité du magma dans le réservoir. L'éruption de mars 1998 est intéressante à plusieurs égards. Elle s'est produite après une quiescence de 5 ans et elle pourrait être associée à la transmission d'une grande masse de magma dans un réservoir crustal. Des campagnes de microgravité et de GPS ont eu lieu avant et après l'éruption, qui a également été capturée par InSAR (Fukushima et al., JGR, 2010). Le signal microgravimétrique a été analysé (Bonvalot et al., JGR, 2008) en utilisant un modèle analytique qui suppose que les sources sont des fractures (Okabe, Geophysics, 1979) et les réservoirs ponctuels. Ce modèle est combiné à des inversions basées sur des algorithmes génétiques (Goldberg, Adison-Wesley, eds, 1989). Les auteurs ont montré que l'éruption était associée à un dyke, ainsi qu'à un ajout d'une masse au niveau de la mer, qui pourrait être liée à l'apport de nouveau magma. En raison de l'approximation de source ponctuelle, cette masse est de densité inconnue. Afin de rendre ces résultats plus robustes et de déterminer les densités respectives des corps mis en place, et la part de volatiles exsolvés, nous inverseront conjointement les données gravimétriques, GPS et InSAR. En 2019, la problématique est différente. Chaque éruption est associée à un seul dyke. Les 3 éruptions ont résulté en un soulèvement sommital net, tandis que le signal gravimétrique n'indique pas de recharge sommitale. Ce paradoxe devra être analysé.

Cette recherche est novatrice car il n'existe pas à ce jour de modèle numérique adapté aux inversions de gravité et des déformations pour fractures en milieux 3D hétérogènes. A fortiori, aucun modèle numérique de ce type n'a été utilisé dans les inversions. La mesure temporelle du signal gravimétrique est de plus en plus répandue, soit lors de campagnes de mesures gravimétriques (Mt. St Helens, Battaglia et al., AGU, 2015), soit par des stations gravimétriques continues, à l'exemple de l'Etna (Carbone et al., Sci. Rep., 2015; Carbone et al., Frontiers in Earth Science, 2020) ou du Kilauea (Poland et Carbone, JGR, 2016). Enfin, de nouveaux instruments, plus portables se développent laissant entrevoir la possibilité de réitérations plus fréquentes, et de réseaux plus denses, car plus simples à mesurer d'un point de vue logistiques (Carbone et al., Frontiers in Earth Science, 2020). Ces mesures plus denses requerront des analyses plus précises.