

Ecole Doctorale des Sciences Fondamentales

Titre de la thèse : Étude multi-paramétrique de l'évolution des systèmes hydrothermaux : apports à la compréhension des systèmes volcaniques en cours de réactivation.

Directeur de thèse : Franck Donnadiou

Unité de rattachement : Laboratoire Magmas et Volcans – OPGC

Équipe : Volcanologie

Établissement de rattachement : Université Clermont Auvergne

Courriel et téléphone : franck.donnadiou@uca.fr / 04.73.34.67.59

Co-encadrant : David Jessop

Unité de rattachement : Laboratoire Magmas et Volcans – OPGC

Résumé :

Les volcans actifs comprennent souvent un système hydrothermal dû à l'interaction de la chaleur remontant du système magmatique profond avec la nappe phréatique, induisant des mouvements de fluides dans l'édifice. Agissant comme un tampon pour les signaux émanant du magma profond et compliquant leur interprétation, le système hydrothermal n'en subit pas moins les effets d'une réactivation magmatique (unrest). L'évolution de l'état du magma et du système hydrothermal se reflète rapidement dans les variations des flux de dégazage, des anomalies thermiques, des circulations de fluides, de la chimie des gaz et des eaux, de la micro-sismicité, mesurables en routine en surface. D'autres changements géophysiques apparaissent progressivement dans la conductivité, l'aimantation et la perméabilité des zones superficielles de l'édifice. **La Soufrière de Guadeloupe**, l'un des volcans les plus étudiés et surveillés au monde, connaît une phase de réactivation depuis 1992, avec une augmentation d'activité depuis 2018. Ce volcan sera donc au cœur du travail de thèse.

Le projet de thèse porte sur l'**étude multi-paramètres de l'évolution des systèmes hydrothermaux**, en particulier la mesure du dégazage, afin d'améliorer notre compréhension des systèmes volcaniques en cours de réactivation.

Le premier volet consistera à améliorer les méthodes de **mesure du dégazage des fumerolles actives, pour mieux contraindre l'état du système en profondeur**. Des méthodes empiriques existent pour déterminer le flux des gaz chaud, toxiques et turbulents mais de nombreux facteurs mal contraints (dimensions et forme du panache, vent, quantité d'eau) sont encore sources importantes d'erreurs. Le doctorant développera une méthodologie numérique d'estimation des flux s'appuyant sur des données de terrain (déjà acquises et à acquérir au cours de la thèse) et sur un modèle de panache existant. Ces travaux consisteront en :

- i. L'analyse des images thermiques, à l'aide d'une base de code existant en Python, afin d'extraire les paramètres de forme, orientation, trajectoire, et température des panaches gazeux.

Ecole Doctorale des Sciences Fondamentales

- ii. Le développement d'un module d'inversion du modèle physique de panache penché par le vent (*Aubry et al., 2017*), en incluant un modèle radiatif. Le modèle et les inversions seront validés par des données synthétiques et d'expériences analogiques (*Carazzo et al., 2014*).
- iii. L'application à la Soufrière de Guadeloupe. Les estimations de flux à partir des images thermiques depuis 2017 seront comparées aux estimations par d'autres méthodes (*Jessop et al., 2021 ; Moune et al., in prep.*), afin d'affiner le paramétrage des modélisations.

Un deuxième volet consistera à **mieux comprendre le fonctionnement du système hydrothermal**. Pour cela, il faudra réaliser et réitérer la **cartographie thermique à haute résolution**, aéroportée par drone des zones actives à la Soufrière de Guadeloupe (D. Jessop, brevet DGAC télépilote drone professionnel). La comparaison aux cartographies des années précédentes (Gaudin et al., 2016 ; Jessop et al., 2021) permettra de **retracer l'évolution spatio-temporelle** des flux thermiques de l'édifice et donc d'**identifier des zones de réactivation**. Ces zones d'activité thermique (soit dégazage actif par des fumerolles actives ; soit passif/diffus par le sol) étant associées à des mouvements de fluides dans l'édifice et à des changements graduels de propriétés physiques du sol (conductivité électrique, aimantation magnétique, perméabilité), nous chercherons à les relier physiquement aux mesures géophysiques (magnétisme, tomographie électrique, Polarisation Spontanée) qui capturent ces évolutions (e.g. *Brothelande et al., 2014 ; Gailler et al., in prep.*). Ces mesures seront effectuées dans les zones identifiées les plus actives par l'étudiant ainsi qu'une équipe du LMVOPGC.

La combinaison des flux de gaz qui seront déterminés dans le 1^{er} volet et des données multidisciplinaires qui seront acquises dans ce 2^{eme} volet permettra d'établir un modèle conceptuel du fonctionnement du système hydrothermal, ainsi que son évolution temporelle, reliant les fluides circulant en subsurface, les forçages externes (pluviométrie) et les émanations en surface. Ce projet de thèse visera à terme à établir un **schéma interprétatif global (4D) d'un système hydrothermal dans un contexte de réactivation**.

Le contexte d'étude est très favorable puisque le doctorant aura de nombreuses images thermiques déjà à sa disposition ainsi qu'un code existant. Il pourra bénéficier de nombreuses données de surveillance (géophysique, géochimie, géodésie et thermique) acquises pendant cette réactivation et des quatre années d'expérience de D. Jessop à l'Observatoire de la Soufrière. Le doctorant sera d'ailleurs amené à travailler en observatoire. Concernant les données à effectuer sur le terrain, le doctorant se focalisera sur les données thermiques (caméra infrarouge sur drone, sonde de température), les flux de gaz (sonde Pitot) ainsi que sur la cartographie PS. Les autres mesures géophysiques seront effectuées par un groupe de chercheurs du LMV-OPGC, le doctorant sera donc intégré dans un projet plus large sur La Soufrière, comprenant de nombreux experts en géophysique et géochimie de qui il gagnera beaucoup d'expérience. Ces mesures de terrain pourront s'adosser aux campagnes de terrain

Ecole Doctorale des Sciences Fondamentales

régulières de D. Jessop pour ses tâches d'observation. Il est important de noter que ce travail pourrait également s'appliquer directement à La Montagne Pelée en Martinique, volcan qui connaît aussi une réactivation depuis 2019.

REFERENCES :

- Aubry, T. J., G. Carazzo, and A. M. Jellinek (2017). "Turbulent entrainment into volcanic plumes: new constraints from laboratory experiments on buoyant jets rising in a stratified crossflow". *Geophys. Res. Lett.* 44.20, pp. 10198–10207. doi: 10.1002/2017GL075069.
- Brothelande, E. et al. (2014). "Fluid circulation pattern inside La Soufrière volcano (Guadeloupe) inferred from combined electrical resistivity tomography, self-potential, soil temperature and diffuse degassing measurements". *J. Volcanol. Geoth. Res.* 288, pp. 105–122. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2014.10.007.
- Carazzo, G. et al. (2014). "Laboratory experiments of forced plumes in a density-stratified crossflow and implications for volcanic plumes". *Geophys. Res. Lett.* 41.24, pp. 8759–8766. doi: 10.1002/2014GL061887.
- Gailler, Labazuy et al. (in prep.), "Hydrothermal dynamics and weakening evolution of La Soufrière volcano (Guadeloupe) revealed by post-reactivation geophysical data".
- Gaudin, D. et al. (2016). "Mass and heat flux balance of La Soufrière volcano (Guadeloupe) from aerial infrared thermal imaging". *J. Volcanol. Geoth. Res.* 320, pp. 107–116. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2016.04.007.
- Jessop, D. E.**, S. Moune et al. (2021). "A multi-decadal view of the heat and mass budget of a volcano in unrest: La Soufrière de Guadeloupe (French West Indies)". *Bull. Volcanol.* doi: 10.1007/s00445-021-01439-2.
- Moune, S., **D. E. Jessop** et al. (in prep.). "Gas monitoring of a hydrothermal-magmatic volcano in a tropical environment: the example of La Soufrière de Guadeloupe (FWI)".