



Sujet proposé pour un début de contrat en octobre 2019

TITRE du SUJET : Développement d'un nouveau traceur en volcanologie : les isotopes stables du chlore pour quantifier l'activité magmatique et/ou hydrothermale des volcans

Directeur:

AGRINIER Pierre, Physicien, agrinier@ipgp.fr

Co-encadrante :

BONIFACIE Magali, CR, bonifaci@ipgp.fr

Equipe d'accueil :

IPGP- Equipe de Géochimie des Isotopes Stables – UMR7154

IPGP- Observatoire Volcanologique et Sismologique de Guadeloupe – UMS 3454

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

1. Intérêt scientifique et état de l'art

La prévision des éruptions volcaniques est une question d'intérêt général en Sciences de la Terre, tant pour la recherche fondamentale que pour la protection des populations. Longtemps limitée à la seule détection des précurseurs géophysiques (sismiques, géodésiques) de l'ascension des magmas, cette prévision s'appuie aussi de plus en plus sur le suivi des signaux géochimiques véhiculés par la phase gazeuse. Ceci grâce au développement de nouveaux outils de télémessure, de nouveaux traceurs géochimiques, et d'une meilleure compréhension/modélisation des processus de dégazage des magmas. Sur les volcans à conduit ouvert, le suivi des gaz volcaniques de haute température permet ainsi de caractériser et détecter de vrais précurseurs géochimiques des éruptions, qui souvent même précèdent les premiers signaux géophysiques. Par contre, sur les volcans dormants à activité hydrothermale, la problématique est plus complexe : les gaz qui s'échappent des réservoirs magmatiques en profondeur interagissent avec les roches encaissantes et les systèmes hydrothermaux, ce qui modifie leur composition chimique et isotopique (processus dit de « scrubbing »). Pour pouvoir isoler et caractériser l'évolution des apports purement magmatiques dans le temps il faut donc se doter de traceurs géochimiques permettant de décrypter ces interactions et les mélanges entre fluides d'origines différentes (magma, eau météorique ou marine, encaissant, air). Mais cela reste très difficile à quantifier sur la base seule des éléments volatils majeurs, notamment SO₂, H₂S,

CO₂, affectés par de nombreux autres processus, et constitue un enjeu majeur en volcanologie.

Le chlore (Cl), principalement émis sous forme de HCl, est l'élément halogène majeur dans les fluides volcaniques. Bien qu'il ne représente que la plus faible proportion des éléments volatils émis par les volcans actifs ou dans les magmas silicatés (comparé à H₂O, CO₂, et S), son comportement dans les magmas peut apporter des informations cruciales pour la compréhension des processus de dégazage. Notamment, le chlore dégazé à faible profondeur, offre la possibilité d'étudier le dégazage magmatique à proximité de la surface et la possibilité de fractionnements chimiques (et/ou isotopiques) liés à la séparation gaz/liquide silicaté. Ainsi les concentrations en chlore sont depuis récemment de plus en plus mesurées dans les panaches et les gaz volcaniques. En plus de ces propriétés partagées avec la plupart des autres volatils majeurs émis par les volcans, la très haute solubilité du Cl dans l'eau lui confère la spécificité de permettre de quantifier les interactions gaz-eau, une opération encore difficile à effectuer précisément.

Il est à noter que de plus en plus d'études utilisent les compositions isotopiques stables en chlore ($\delta^{37}\text{Cl}$) pour contraindre l'origine des magmas d'arcs et les sources mantéliques en étudiant les laves émises, ou les inclusions vitreuses. Cependant, malgré leur fort potentiel de traçage de l'activité magmatique et hydrothermale d'un volcan décrit ci-dessus, les $\delta^{37}\text{Cl}$ restent largement sous-exploités. Sur la base de données $\delta^{37}\text{Cl}$ préliminaires acquises sur la Soufrière de Guadeloupe, nous anticipons que les isotopes stables du chlore représentent le premier index *quantitatif* du processus de scrubbing (piégeage partiel des espèces gazeuses par les fluides et les roches).

2. Stratégie et objectifs de la thèse

La thèse proposée s'articule autour de 2 axes :

(i) l'application à la Soufrière de Guadeloupe comme premier objet d'étude pour deux raisons principales : (i) ce volcan présente un système hydrothermal très actif, et dont la caractérisation fait actuellement l'objet de plusieurs projets de recherche multi-outil menés en parallèle, (ii) et la phase d'augmentation d'activité et de l'accroissement du chlore dans les gaz actuellement observée sur ce volcan liée à des injections importantes de gaz magmatiques sollicitant le système hydrothermal. Il est aussi à noter que nos résultats de $\delta^{37}\text{Cl}$ seront intégrés dans un contexte plus global d'interprétation des variations des autres éléments volatils (majeurs et mineurs) mesurés mensuellement dans les gaz de la Soufrière (collaboration avec les collègues à l'Observatoire de Guadeloupe, OVSG).

ii) le deuxième objectif de cette thèse, sera d'appliquer les $\delta^{37}\text{Cl}$ à des volcans à conduit ouvert et en activité éruptive, pour lesquels l'effet de "filtre/modification" des compositions en éléments volatils par le milieu environnant avant émission est minimal ou nul. Le fait de conduire ce deuxième volet en parallèle du premier permettra d'élargir l'applicabilité de l'outil $\delta^{37}\text{Cl}$ en volcanologie. Les volcans-cibles choisis seront alimentés par des magmas riches en halogènes et de composition basaltique (ex. : Etna, Stromboli) à andésitique (cible à déterminer en fonction des opportunités d'accès et des conditions d'activités).

Plus largement, nous anticipons que la thèse aura d'autres implications *indirectes* importantes. Notamment, parce que le « scrubbing » du chlore dérivé du magma dépend du flux de gaz magmatique par rapport à la taille, la température et la fraction vapeur/liquide du système hydrothermal, nous anticipons que les signatures $\delta^{37}\text{Cl}$ des gaz volcaniques pourraient retracer de façon inimitable ces changements progressifs des

interactions eau-gaz et l'évolution d'un système vers des conditions «plus sèches» avant les éruptions magmatiques et ainsi tracer la transition de l'activité hydrothermale à l'activité magmatique à réveil des volcans dormants.

Profil du candidat : Le candidat devra avoir de solides connaissances en géochimie isotopique et/ou en volcanologie et un intérêt certain pour le travail d'analyse en laboratoire et de terrain (des missions en Guadeloupe sont prévues). La thèse demandera un investissement analytique important, même si toutes les techniques sont aujourd'hui opérationnelles. Une expérience en modélisation des interaction gaz-liquide est un plus.

Ce projet bénéficiera d'un soutien financier issu de fonds propres pour les missions en Guadeloupe. Pour les missions sur les volcans à conduits ouverts, des collaborations et demande de financement au consortium de networking EUROVOLC (H2020) sont en cours.

Transmission des candidatures : bonifaci@ipgp.fr